

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

СБОРНИК ТЕЗИСОВ УЧАСТНИКОВ

II научной конференции

профессорско-преподавательского состава,

аспирантов, студентов и молодых ученых

«ДНИ НАУКИ КФУ им. В.И. ВЕРНАДСКОГО»

г. Симферополь 2016 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»

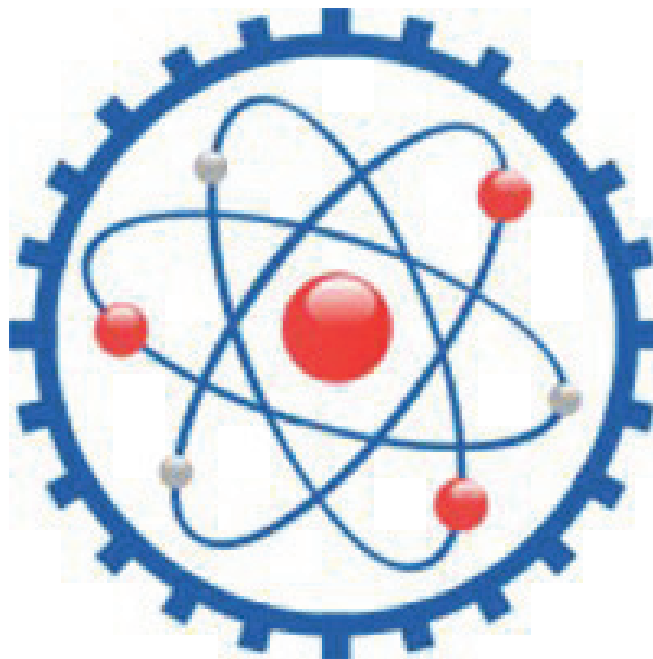
Дзюба А.Н.
Пичугин В.С.
Соколенко Б.В.
Шафиева А.Г.
Шостка Н.В.

Под общей редакцией проректора по научной деятельности Федоркина С.И.

II научная конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского» (Симферополь, 2016), сборник тезисов участников. Симферополь, 2016. Т.7. – 121 с.

В сборник включены доклады участников II научной 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.



ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СЕКЦИЯ КАФЕДРЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНЖЕНЕРИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

(наименование секции)

АВТОМАТ С МАГАЗИННОЙ ПАМЯТЬЮ В СИНТАКСИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ТЕКСТА

Бурдин Д.В.

студент кафедры компьютерной инженерии и моделирования

Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н. Парменов О.И.

burdin-d96@mail.ru

Автоматы с магазинной памятью играют важную роль при построении автомато-лингвистических моделей различного назначения, связанных с использованием бесконтекстных (контекстно-свободных) языков. В частности, такие устройства используются в большинстве работающих программ для синтаксического анализа программ, написанных на различных языках программирования, которые во многих случаях можно рассматривать как бесконтекстные.

Целью работы являлось исследовать применение автоматов с магазинной памятью (далее МП-автомат), в частности, для организации простейшей проверки синтаксиса текстов программ.

Магазинный автомат подобен конечному автомату, но в отличие от последнего имеет рабочую память — магазин (стек), в который записываются символы из еще одного алфавита — алфавита магазинных символов. Каждое движение магазинного автомата определяется в зависимости от текущего состояния управления, входного символа или независимо от него — так называемые ε -движения и от верхнего символа магазина. Реализация автоматов с магазинной памятью отличается от конечных автоматов тем, что текущее состояние автомата сильно зависит от любого предыдущего.

Модель магазинного автомата состоит из:

- входной ленты
- устройства управления
- вспомогательной ленты, называемой магазином или стеком.

Как и любой другой автомат, МП-автомат имеет свои особенности:

- память работает как стек
- может распознать любой контекстно-свободный язык
- в чистом виде автоматы с магазинной памятью используются крайне редко
- текущее состояние автомата сильно зависит от любого предыдущего
- существуют детерминированные и недетерминированные МП-автоматы

Единственная операция, которую МП-автомат может реализовать с магазином, состоит в следующем: верхний символ Z магазина заменяется некоторой цепочкой γ магазинных символов. При этом если цепочка γ непустая, то она записывается в первых m ячейках, где $m=|\gamma|$ (длине цепочки γ), так, что ее первый символ становится верхним символом магазина. Если до замены Z цепочкой γ под верхней ячейкой (т.е. в ячейках, начиная со второй) была записана какая-то цепочка a , то после замены она сдвигается "в глубь" магазина и оказывается записанной уже в ячейках, начиная с $(m+1)$ -й.

Если же верхний символ Z заменяется пустой цепочкой λ , то после такой замены

верхним символом магазина становится первый символ цепочки α (записанной под верхней ячейкой магазина), т.е. цепочка α "поднимается" на одну ячейку.

В случае, когда α — пустая цепочка, замена верхнего символа магазина пустой цепочкой γ приводит к опустошению магазина (ни в одной из ячеек магазина не записан магазинный символ). Заметим, что, по определению, с пустым магазином МП-автомат не может производить никаких операций.

Поскольку память автомата работает как стек, то есть для чтения доступен последний записанный в неё элемент (принцип «последний пришел» - «первый ушел»), областью применения таких автоматов является, в первую очередь, контроль правильности скобочных выражений.

Кроме того, МП-автоматы используются для контроля группируемых программных блоков типа if-then-else begin-end, т.п., а также в преобразовании текстов, к примеру, предтранслятором.

В результате работы были определены особенности МП-автоматов и варианты их программной реализации; разработана система проверки синтаксиса BASIC-подобного программного текста на предмет анализа синтаксической корректности использования основных элементов языка.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДВЕСА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Филиппов Д.М.¹, Козик Г.П.², Фурсенко А.В.²

¹ *доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирование
Физико-технического института*

² *старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии и моделирование
Физико-технического института*
filippov.dm@cfuv.ru

Введение. Системы подвешивания транспортных средств, основанные на принципе электродинамического взаимодействия бортовых постоянных магнитов с вихревыми токами проводящего путевого трека, обладают рядом преимуществ по сравнению с системами других типов. Данные системы позволяют достигать достаточно больших воздушных зазоров (до 80 мм), что снижает требования к качеству магистральных сооружений, они являются саморегулируемыми и не требуют наличия какой-либо бортовой электроники для управления левитацией.

Целью настоящего исследования является разработка математической модели трёхмерного квазистационарного электромагнитного поля системы подвеса, эффективного численного алгоритма, а также осуществление экспериментальной проверки предложенной модели.

Результаты исследований. Рассмотрим движение постоянного магнита 1 над участком L трека 2 (рис.1).

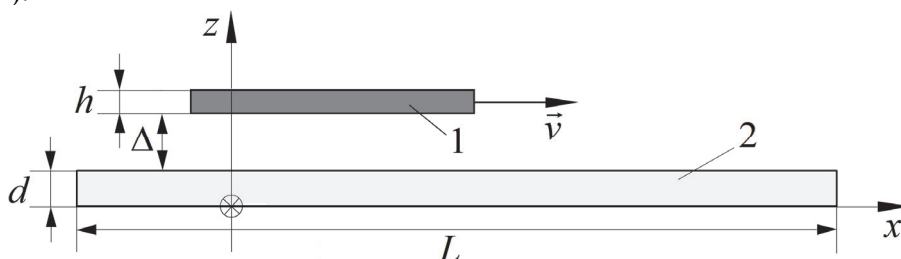


Рис. 1. Модель электродинамического подвеса

Электромагнитные процессы в рассматриваемой системе описываются следующей системой интегро-дифференциальных уравнений:

$$\bar{\delta}(M, t) + \frac{\gamma \mu_0}{4\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_V \bar{\delta}(N, t) \frac{dV_N}{r_{MN}} = \frac{\gamma}{4\pi \varepsilon_0} \oint_S \sigma(P, t) \frac{\vec{r}_{PM}}{r_{PM}^3} dS_P - \gamma \frac{\partial \vec{A}_0(M, t)}{\partial t}; \quad (1)$$

$$\sigma(Q, t) - \frac{1}{2\pi} \oint_S \sigma(P, t) \frac{(\vec{r}_{PQ}, \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^3} dS_P = -\frac{\varepsilon_0 \mu}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_V \frac{\bar{\delta}(N, t) \vec{n}_Q}{r_{QN}} dV_N - 2\varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{A}_0(Q, t), \vec{n}_Q). \quad (2)$$

В (1), (2) $\bar{\delta}(M, t)$ — мгновенная плотность вихревых токов в объёме трека; $\sigma(Q, t)$ — плотность электрических зарядов на поверхности трека; $\vec{A}_0(M, t)$ — векторный потенциал движущегося магнита.

Система уравнений решена численно методом коллокаций.

Проверка результатов моделирования осуществлена с помощью разработанной экспериментальной модели, показанной на рис.2.

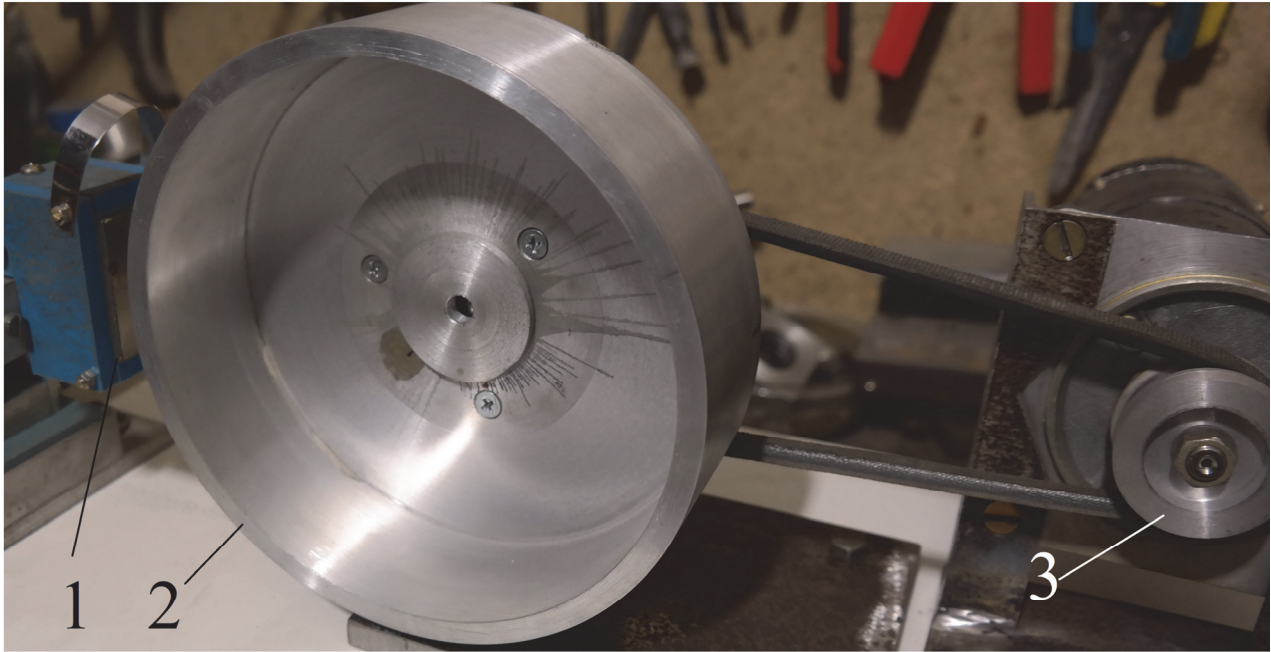


Рис. 2. Экспериментальная установка

Параметры экспериментальной модели следующие. Постоянный магнит серии Ne-Fe-B представлял собой параллелепипед со следующими размерами: вдоль оси x — 50 мм, вдоль оси y — 25 мм, вдоль оси z — 35 мм (рис. 1). Намагниченность магнита составила 1033,5 кА/м. Масса магнита равна 0,392 кг. Внешний диаметр цилиндра равен 183 мм. Толщина стенки цилиндра — 7,9 мм. Высота цилиндра — 51 мм.

На рис. 3 приведены зависимости от линейной скорости сил левитации и электродинамического торможения, полученные экспериментальным и расчётным путём для различных величин зазора

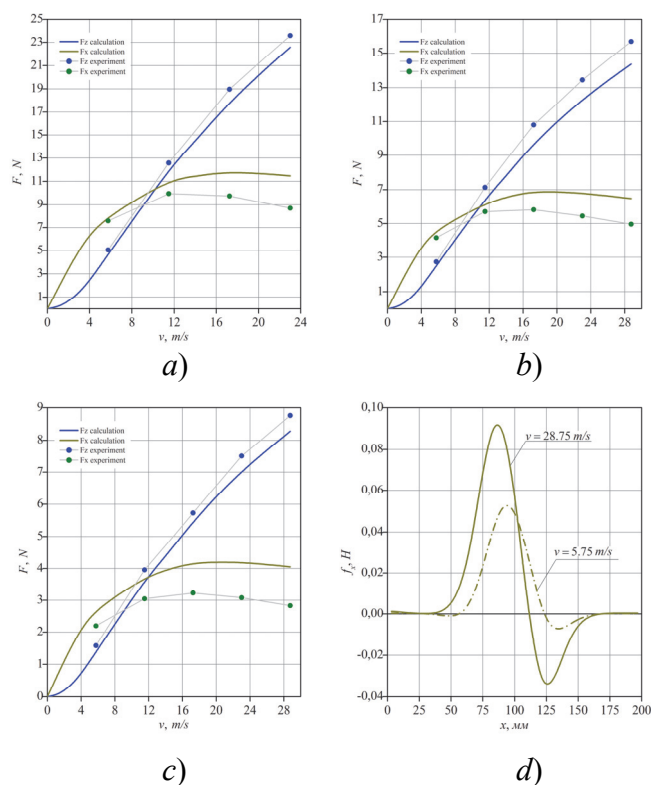


Рис. 3. Зависимости силы левитации (F_z) и силы торможения (F_x) от линейной скорости при зазорах 11,15 мм (a)); 16,15 мм (b)); 21,15 мм (c)), а также распределение плотности тормозного усилия вдоль оси x трека при зазоре 21,15 мм (d))

Выводы. Разработанные математическая и численная модели позволяют проводить теоретический 3D анализ электродинамических процессов в системе вихретокового подвеса на постоянных магнитах. Эксперимент показал удовлетворительную точность математической модели (это выражается в хорошем соответствии левитационных характеристик). Однако, наблюдаемая высокая погрешность расчёта силы электродинамического торможения обусловлена несовершенством экспериментальной модели.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ПЛОСКОСТИ ПУТЕМ СЕГМЕНТАЦИИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Карсаков П.В.¹

¹магистр кафедры компьютерной инженерии и моделирования физико-технического института Таврической академии КФУ им. В.И. Вернадского

научный руководитель: доцент, к.т.н. Руденко М.А.

sophiaal@mail.ru

Введение. При воспроизведении цветных оригиналов способами высокой, трафаретной и офсетной (традиционной) плоской печати путем растрового построения репродукции применяется синтез цветов аддитивным (сложение цветов) и субтрактивным (вычитание цветов) способами. Такой синтез называется **автотипными** широко используется в классической цветной репродукции оригиналов, где в создании цветной репродукции участвуют 16 разноокрашенных микроштрихов (растровых элементов): одинарные (основные, базовые печатные краски), бинарные и тройные наложения основных печатных

красок, их четырехкратное наложение друг на друга и бумага. Воспроизведения полутоновых оригиналов на оттиске путем преобразования полутонного изображения в растровое (микроштриховое) осуществляется при помощи полиграфических растровых алгоритмов и специальных компьютерных программ. Это направление хорошо представлено как в отечественной, так и зарубежной практике. Всё развитие технологий преобразования изображений было направлено на увеличение разрешающей способности и расширение спектра цветовой палитры. Однако есть целый ряд новых задач, связанных с преобразованием монохромных и цветных изображений, который требует обратных преобразований, направленных на ограничение количества градаций цвета и увеличения цветового кластера путем (сегментации) изображения и выделения областей с пикселями одного цвета. К таким задачам относится воспроизведение изображений на поверхностях, для которых невозможно использовать традиционные способы плоской печати, а также реализация цветной 3-D печати.

Цели и задачи. Целью исследования является разработка методики построения репродукции исходного изображения для воспроизведения красками на больших поверхностях с целью минимизации затрат на красочные материалы. Для достижения поставленной цели необходимо исследовать теоретические основы и принципы кластеризации и сегментации изображения для формирования замкнутых областей одного цвета, разработать алгоритмы поглощения и преобразования оттенков цветов к выбранным (разрешенным) градациям без заметной потери качества разработать методики проектирования. Разработать алгоритм оптимизации количества сегментов и градаций цветов для минимизации затрат и репродукции исходного изображения с заданными критериями качества. Разработать программное приложение, позволяющее строить репродукции исходного изображения для воспроизведения заданными (предложенным) красками на больших поверхностях.

Методы исследования: метод K –средних, метод Оцу и модель Мамфорда–Шаха.

Результаты исследований. В современной области автоматического анализа и распознавания цифровых изображений одной из наиболее критичных проблем является так называемая «проблема сегментации». С практической точки зрения она состоит в разработке робастных алгоритмов разделения пикселей изображения на *сегменты* из связанных пикселей или *кластеры* из не обязательно связанных пикселей, отвечающие изображенным объектам. В общем случае, при заранее не заданных объектах, требуется в результате сегментации выделить все объекты, имеющиеся на изображении. Но тогда нуждается в формальном уточнении постановка задачи создания робастного алгоритма, который, с одной стороны, не пропускает объектов, а, с другой стороны, для изменчивого изображения дает приблизительно одинаковые разбиения. Стандартной оценкой качества разбиения в кластерном анализе является суммарная квадратичная ошибка, которая описывает отличие изображения от своего кусочно–постоянного (ступенчатого) приближения. Хотя современные компьютеры позволяют получать разбиения цифровых изображений, реально близкие к оптимальным по критерию суммарной квадратичной ошибки, однако эта возможность используется пока недостаточно, отчасти в силу недостатка аналитического обоснования сегментации (кластеризации) пикселей. Классифицируемыми элементами служат пиксели цветового или мультиспектрального изображения, которые составляют мультимножества, т. е. могут повторяться и в обсуждаемом контексте не образуют линейного пространства. Далее изображения обрабатываются предложенными методами в результате чего получаем расчетные данные. Посредством имеющейся структуры данных актуально, в первую очередь, решить следующие задачи:

1. Оценить перспективы применения K –метода вместо метода K –средних в задачах обработки изображений;
2. Программно реализовать сегментацию многомерных цветовых и мультиспектральных изображений;

3. Исследовать признаки пикселей в системе яркостей оптимальных приближений изображения;
 4. Изучить возможности разложения перекрывающихся разбиений в систему иерархических разбиений (в терминах динамических деревьев Слэйтора–Тарьяна).
- Особый интерес представляет дальнейшее развитие аналитического аппарата К–метода в процессе решения перечисленных задач.

Вывод. В ходе работы были решены следующие задачи: исследованы существующие методы обработки изображений, реализовано программное приложение использующий полученную в итоге методику построения репродукции изображения. Полученные результаты показали эффективность в решении поставленной задачи и достижения конечной цели.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ

Михерский Р.М.¹, Милюков В.В.², Сосновский Ю.В.³

¹*доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института КФУ*

²*заведующий кафедрой компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института КФУ*

³*доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института КФУ*

mrm03@mail.ru

Искусственный интеллект является одной из наиболее развивающихся и перспективных технологий. Наиболее часто системы искусственного интеллекта строятся на основе нейронных сетей, однако для их построения иногда используются и другие методы, например, генетические алгоритмы. Одним из наиболее интересных подобных подходов являются искусственные иммунные системы.

Целью данной работы явилось построение искусственной иммунной системы способной решать задачу классификации данных.

Предполагается, что на вход данной системы подаются кортежи бит, называемые «вирусами». Вирусы взаимодействуют с кортежами бит, называемых «лимфоцитами». Длина кортежей лимфоцитов совпадает с длиной кортежей вирусов. Задачей системы является определение, к какому классу относится данный вирус. Для этого на первом этапе систему необходимо обучить. С этой целью создается два массива: массив вирусов, представляющий собой набор различных вариантов обрабатываемых данных относящихся к одному классу и массив лимфоцитов, на начальном этапе представляющий набор кортежей случайных чисел. В процессе обучения кортежи вирусов, для которых известно, к какому классу они относятся, побитно сравниваются с кортежами «лимфоцитов». Обобщенной мерой характеризующей близость кортежей вирусов и лимфоцитов в подобных системах чаще всего является расстояние Хэмминга. Вероятность взаимодействия обычно зависит от этого расстояния: чем оно меньше, тем выше вероятность взаимодействия. В данной работе была предложена другая формула расчета вероятности p взаимодействия:

$$p = \frac{\log_2(2^{n_1} + 2^{n_2} + \dots + 2^{n_k})}{n} \quad (1)$$

где, $n_1, n_2, \dots, n_k$ - длины последовательностей совпадающих элементов вируса и лимфоцита, n - длина кортежа вируса и лимфоцита.

В частности если все элементы вируса и лимфоцита совпадают, вероятность взаимодействия $p = 1$. Если же совпадают не все элементы, то $p < 1$. В случае если между вирусом и лимфоцитом происходит взаимодействие, данный экземпляр вируса уничтожается, а лимфоцита размножается. В рассматриваемой системе коэффициент размножения лимфоцитов равнялся 10. В случае если взаимодействие не происходит, производится мутация тех элементов лимфоцита, которые не совпадают с соответствующими элементами вируса с вероятностью $p_1 = \frac{1}{n}$. Процесс происходит до тех пор, пока в массиве вирусов остается, хотя бы один элемент.

В случае если ни одного элемента в массиве не осталось, процесс обучения лимфоцитов для распознавания вирусов данного класса можно считать законченным.

Аналогичным образом получаются массивы лимфоцитов для всех классов вирусов, которые нужно распознавать.

Пусть теперь на вход системы подается вирус, о котором нет сведений, к какому классу он относится. На первом этапе проводится клонирование этого вируса для того что бы создать массив таких вирусов. Далее из каждого ранее полученного массива лимфоцитов отбирается одинаковое их количество в новый массив. Лимфоциты из этого нового массива взаимодействуют с вирусами до полного их уничтожения. На последнем этапе производится подсчет лимфоцитов, и определяется, лимфоциты какого класса размножались наиболее успешно. Соответственно, считается, что вирус принадлежал именно к этому классу.

Таким образом, разработанная искусственная иммунная система позволяет проводить устойчивую классификацию данных.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ СТАНДАРТНЫМИ МЕТОДАМИ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Милюков В.В.¹, Сосновский Ю.В.², Михерский Р.М.³

¹доцент, заведующий кафедрой компьютерной инженерии ФТИ КФУ

²доцент кафедры компьютерной инженерии ФТИ КФУ

³доцент кафедры компьютерной инженерии ФТИ КФУ

milyukov.vv@cfuv.ru

Введение. Анализ сложных негармонических сигналов представляет собой чрезвычайно актуальную проблему, поиск методов решения которой насчитывает много десятков лет. В случае негармонического сигнала, как правило, предлагается приведение сигнала к псевдогармоническому и, после этого, использование известных методик, таких как преобразование Фурье, метод быстрого преобразования Фурье и т.п.

В случае невозможности приведения негармонического сигнала к гармоническому, одной из основных методик анализа является применение вейвлет-функций и разложение на частотные коэффициенты. С одной стороны, это позволяет выполнить аппроксимацию сложного негармонического сигнала, с другой – не дает достаточных инструментов для анализа нестационарных процессов в таких сигналах. Данная методика имеет ограниченные возможности идентификации изменения ряда параметров – например, частоты сигнала.

Цель и задачи исследований.

Цель – выявить область применения стандартных методов обработки гармонических сигналов, в частности быстрого преобразования Фурье (БПФ) в применении к нестационарным негармоническим сигналам.

Задачи:

- выполнить эмпирический анализ условной чувствительности стандартных методов, в частности БПФ, в применении к нестационарным негармоническим сигналам;
- выявить области, где оправданно применение стандартных методов анализа сложных сигналов для негармонических и сложных последовательностей;

Методика исследований. Для выполнения задачи генерации негармонических периодических последовательностей был разработан стенд-имитатор, генерирующий компоненты прямоугольного, треугольного, гармонического сигнала, а также сигнала-шума. Для каждой из компонент задаются основные параметры. Так, для прямоугольной компоненты задается частота, скважность, коэффициент заполнения. Для треугольной компоненты – аналогичные параметры. Для гармонической компоненты – амплитуда и частота, для шумового сигнала – амплитуда. Распределение функции плотности вероятности шума соответствует экспоненциальному. Результирующий сигнал, отображаемый модулем визуализации, является суммой исходных компонент.

Целью практических опытов было выделение областей соотношений параметров сигналов, когда возможна визуальная идентификация факта изменения параметров того или иного компонента композитного сигнала.

В работе не учитывается возможность изменения частот сигналов для обработки посредством изменений параметров дискретизации ввиду рассматриваемой возможности наличия компонент, существенно отличающихся по частотным параметрам в рамках одного композитного сигнала.

Результаты исследований. Уровень достоверности P идентификации основной частоты простого прямоугольного сигнала с помощью БПФ возрастает от 0 до 1 в диапазоне частот 0 – 5 Гц, далее при неизменных остальных параметрах остается на одном уровне. В тоже время, уровень достоверности демонстрирует сильную зависимость от скважности импульсов, достигая максимума при значении скважности равном 2.

Уровень достоверности P выделения основной частоты простого треугольного сигнала с помощью БПФ становится выше критических значений 0,3 с частоты 3 – 5 Гц, далее при неизменных параметрах сигналов остается на одном уровне.

Для композитного сигнала, состоящего из полезного и фоновых шумов, имеющего экспоненциальное распределение, достоверность идентификации частоты полезного сигнала близка к 1 до значений соотношения сигнал/шум (SNR), равных 1 (в ситуации прямоугольного сигнала со значением скважности равным 2). График значений уровня достоверности P в зависимости от соотношения мощностей сигнала показан на рисунке 1. При уменьшении данного соотношения, соответственно, падает достоверность. Так, при SNR равном 0,01 сохраняется возможность идентификации частоты прямоугольного сигнала, однако оценка уровня достоверности выделения частоты сигнала для данной ситуации составляет 0,3.

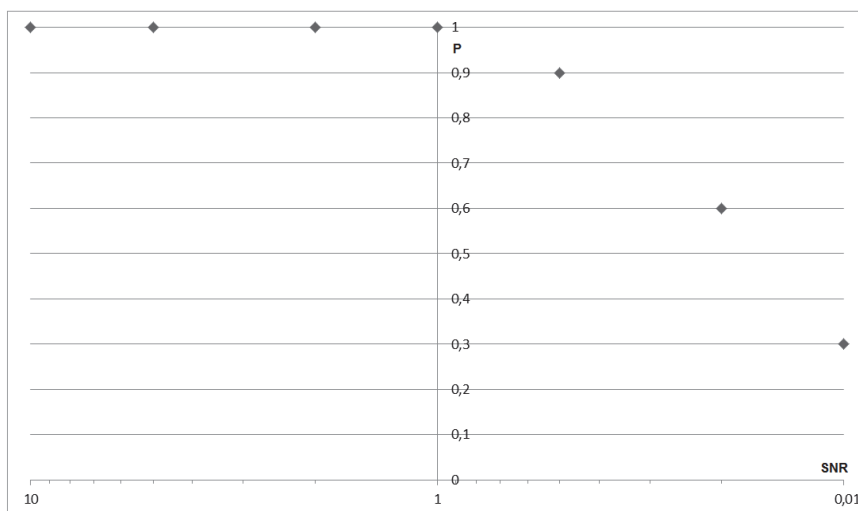


Рис. 1 – Значения уровня достоверности P выделения основной частоты по первому максимуму БПФ в зависимости от соотношения сигнал/шум (SNR, параметры сигнала – частота 5 Гц, скважность = 2)

Выводы. Применение методик БПФ позволяет идентифицировать достаточно уверенно сигналы, состоящие из прямоугольных импульсов, треугольных и прочих. Однако, ввиду того, что классические методы, цифровые фильтры и БПФ рассчитаны на анализ гармонических сигналов, лучшим образом идентифицируются те последовательности негармонической природы, которые имеют некое подобие гармоническому сигналу. При нарушении подобия достоверность выявления частот или самих сигналов резко падает. Так, к примеру, максимальный уровень достоверности распознавания частоты прямоугольного сигнала достигается при скважности, равной 2, а для треугольного сигнала – с коэффициентом заполнения 50%.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Ожегов А.Ю.

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

Aleksandr.Ozhegov@kimkfu.ru

научный руководитель: к.т.н., доцент Парменов О.И.

Распознавание образов является одной из наиболее актуальных задач в современных информационно-коммуникационных системах. Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой весьма эффективный инструмент для анализа информации, при котором нередко возникает необходимость в распознавании образов с «накоплением» опыта успешного распознавания. Часто потребность в распознавании образов возникает при анализе информации, полученной при взаимодействии пользователя с компьютером, при выполнении не вполне детерминированного поиска по базе данных, т.п. Поисковые запросы могут подразумевать под собой как поиск текста по текстовому запросу, так и, к примеру, поиск по текстовому запросу специфических изображений, с определенными «включениями», что требует использования намного более совершенных искусственных нейронных сетей, чем в первом случае. Существующие методы поиска на основе совпадений

не всегда дают желаемый результат при поиске текста, а при поиске изображений практически невозможно добиться цели без использования систем распознавания образов.

Целью работы является анализ потенциала использования искусственных нейронных сетей для распознавания образов, изучение и обобщение существующих методов распознавания образов, выявление проблем и путей их решения. В работе были использованы аналитический и литературно-описательный методы исследования.

Было установлено и продемонстрировано применение ИНС в системах распознавания образов, а именно: в системах анализа текста, изображений (как монохромных, так и цветных), видеофайлов (представляющих, по сути, набор изображений), распознавания речи. Часто распознавание образов с применением искусственных нейронных сетей встречается в поисковых системах, прежде всего для поиска по нечеткому запросу, поиск по изображениям. Сопоставление графической и текстовой информации позволяет, к примеру, переводить рукописный текст в электронную форму. Различные системы распознавания образов существенно облегчают взаимодействие человека с компьютером, что позволяет не только увеличить продуктивность работы, но и расширяет целевую аудиторию для тех или иных коммерческих и некоммерческих продуктов.

На основе ИНС-подхода была реализована обучаемая система распознавания простейших символьных изображений арабских цифр и их перевода в текстовую форму, продемонстрировавшая достаточно хорошие результаты. Однако при решении более комплексных задач, например, при анализе изображения на предмет наличия определенного объекта, распознавании жестов, лиц и мимики возникают проблемы, связанные, прежде всего, с недостаточным или неправильным обучением сети. Пути решения возникающих проблем являются, во-первых, создание больших баз данных образов, во-вторых, разработка более универсальных и менее затратных алгоритмов распознавания и, в-третьих, увеличение вычислительной мощности компьютеров, занимающихся распознаванием образов.

ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ КЛИЕНТСКОГО JAVASCRIPT ПРИЛОЖЕНИЯ

Парменов О.И.¹, Тютюнник А.А.²

¹*к.т.н., доцент, Физико-технический институт КФУ, кафедра компьютерной инженерии и моделирования*

²*программист-стажер, компания «Яндекс»*

В настоящее время существует огромный выбор инструментов для разработки веб-приложений, в том числе - около двадцати фреймворков для разработки приложений с архитектурой Single Page (SPA) и около сотни - для других целей, однако подбор оптимальных инструментов для разработки зачастую носит проблемный характер. Фреймворк определяет структуру системы, диктуя правила построения архитектуры приложения.

Основными задачами исследования являлись определение критериев для выбора инструментов разработки JavaScript клиентского приложения и выработка рекомендаций по оптимизации архитектуры приложения. Следует отметить, что даже авторитетные исследования, в частности - Эдди Османи и Себастьяна Порто, не приводят подробного сравнения функциональных характеристик и не охватывают тот набор фреймворков, которые были нами проанализированы.

Критериями первичного отбора фреймворков для их последующего анализа были функциональность, обеспечивающая эффективное построение основы приложения и удобную работу с ним, большое сообщество, гарантирующее достаточное количество различных примеров пользовательских интерфейсов, наличие документации, позволяющее уменьшить время изучения фреймворка и стабильная версия, гарантирующая устойчивую

работу приложения на production-серверах в будущем. Таким критериям в полной мере, на наш взгляд, удовлетворяют AngularJS, CanJS, Backbone.js, Ember.js и KnockoutJS.

Далее было проведено сравнение важнейших характеристик – производительности и отказоустойчивости, для чего использовалась разработка 2016 года компании Яндекс – Hermione, являющийся надстройкой над Selenium и WebDriverIO; для оценки характеристик были разработаны покрывающие тесты, позволившие установить основные характеристики функциональности фреймворков.

Как установлено в ходе тестирования, неэффективный на малом числе элементов Ember.js дает существенный рост удельной эффективности при усложнении задачи; он также оказался наиболее стабильным фреймворком. Это может быть объяснено тем, что Handlebars шаблоны у Ember.js кэшируются, механизм работы сборщика мусора оптимизирован лучше, чем у других фреймворков, что предотвращает проблемы с утечкой памяти.. Фреймворки Backbone.js и AngularJS демонстрируют одинаковое ухудшение производительности на больших задачах. Следует отметить, что фреймворк KnockoutJS, вне зависимости от количества элементов показывает высокое быстродействие, демонстрирует стабильную работу с вполне приемлемыми средними показателями отказоустойчивости и является вполне надежным для большинства проектов с большой функциональностью.

На основании результатов тестирования для различных браузеров и операционных систем можно сформулировать следующие рекомендации по выбору фреймворка. При необходимости создания богатого по функциональности приложения, которое будет работать с большими объемами данных, предпочтительно выбирать AngularJS. Если проект требует реализации в сжатые сроки и не предполагает сложной логики, не критичен к времени исполнения, можно рекомендовать Backbone.js. К более активному использованию мы рекомендуем фреймворк KnockoutJS, который позволяет обеспечить функциональность, быстродействие и отказоустойчивость приложений. У него имеются недостатки — это и недостаточная гибкость, и создание для каждого элемента страницы своего механизма связывания. Однако, он имеет четкое разделение доменных данных, компонентов отображения и отображаемых данных и не нуждается в сторонних библиотеках. Пути повышения быстродействия приложений, созданных с его использованием стандартны – это оптимизация операций и типов циклов, уменьшение количества переменных и числа замыканий, использование DocumentFragment в качестве промежуточного буфера.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ, КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

Руденко М.А.

*доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института «КФУ им. В.И.Вернадского»
maridigit@mail.ru*

Введение. Развитие технологий в области информационных систем, средств телекоммуникаций, вычислительной и микропроцессорной техники в настоящее время реализуются на основе комплексного подхода, который включает в себя в качестве одного из составляющих пунктов переход от увеличения производительности технических систем к повышению эффективности, качества и надежности обработки и передачи информации. Особенно это актуально для поддержки принятия решений в сложных системах управления, где от оперативности и точности анализа и оценки состояния зависит устойчивость и развитие системы. Такой подход является основой для развития информационных сетей и систем, а также увеличение услуг телекоммуникаций и обуславливает возможность

реализации задач управления сложными социально-экономическими системами на всех уровнях организации.

Цели и задачи. Основной целью развития данного направления является исследование, разработка и использование научно обоснованных подходов, принципов и методов анализа, оценки и прогнозирования эффективности, качества и надежности обработки информации в сложных системах для принятия решений на всех уровнях управления.

Одной из важных задач развития информационных систем является создание методов и алгоритмов прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности обработки информации, что будет способствовать решению проблем синтеза различных автоматизированных систем управления и развитию теории их оптимизации.

Методы исследований, которые необходимы для решения поставленных задач, включают основные положения и модели из теории информационных систем и сетей, теории моделирования сложных систем, теории марковских случайных процессов, теории надежности, а также методы аппроксимации математических функций и математическое моделирование.

Вместе с тем, следует отметить, что в условиях разнообразия информационных и телекоммуникационных технологий, их быстрого прогресса и конвергенции, конкуренции на рынке информационных систем и телекоммуникаций, возникают новые задачи, связанные с построением систем управления с гарантированным уровнем эффективности, качества и надежности обработки и передачи информации для поддержки устойчивости и производительности функционирования сложных систем. Большое значение приобретают методы и алгоритмы моделирования сценариев развития событий, прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности обработки информации, и их влияние на оперативность и результативность принятия решений в системах управления. Результаты оценки эффективности на уровне анализа и прогнозирования необходимы для установления и решения научных проблем и прикладных задач оптимизации управления, связанных с синтезом надежных, эффективных и гибких структур управления и контроля их эффективности.

Результаты исследований. Для достижения поставленной цели были определены основные задачи, методы и модели их решения. Обоснован выбор методов и методик оценки надежности и эффективности информационных систем, алгоритмов и критериев эффективности алгоритмов.

Определены основные принципы формализованной постановки задач оценки фактического уровня надежности, планирование технического обслуживания и определения необходимого качества технического обслуживания. Предложена эффективная математическая модель объектов диагностирования и определения минимального числа точек контроля, а также методика составления тестов диагностирования и их оптимизации.

На базе теории полумарковских процессов разработана методика определения показателей надежности и эффективности информационных систем, что позволяет добиться повышения точности и однозначности при принятии решений. Предложенный математический аппарат позволяет аналитическими методами исследовать характеристики надежности и эффективности обработки информации и принятых на их основы решений.

Разработанный на основании кортежа критериев метод моделирования сценариев событий и практических процедур экспертного оценивания и прогнозирования позволит принимать гибкие адаптированные управляющие решения, особенно в условиях неопределенности. Системная методология применения методов анализа в разработке сценариев поведения сложных систем различной природы, функционирующих под влиянием нелинейных явлений на всех этапах жизненного цикла позволяет учитывать и оценивать взаимные влияния и связи между ними.

Выводы. Модификация методов и способов диагностики, прогнозирования и контроля надежности и эффективности управляющих информационных систем с учетом

неопределенности информации дает возможность решить задачу составления эффективной математической модели функционирования и развития сложных систем.

Разработка методов повышения надежности и качества обработки информации в условиях существенных неопределенностей позволит проектировать эффективные компьютерные системы, гибко и эффективно определять режимы функционирования в условиях влияния многих факторов и уровней риска.

Предложенные алгоритмы прогнозирования эффективности, качества и надежности обработки и передачи информации осуществляют поддержку принятия решений в инновационном развитии сложных систем.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И СЕРВИСОВ

Руденко М.А.¹, Фурсенко А.В.², Покрова С.В.³

*¹доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института «КФУ им. В.И.Вернадского»*

*²старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института «КФУ им. В.И.Вернадского»*

*³старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института «КФУ им. В.И.Вернадского»*

maridigit@mail.ru

Введение. Облачные вычисления фокусируется на предоставлении надежных, безопасных, отказоустойчивых сетевых сервисов для интернет-приложений на основе устойчивой и масштабируемой инфраструктуры. Эти приложения имеют различный состав, конфигурацию и требований к развертыванию. Эффективность планирования и политики распределения облачной инфраструктуры (аппаратные средства, программное обеспечение, услуги) для различных моделей приложений и услуг при различной нагрузке, производительность энергии (потребляемая мощность, тепловыделение), и размер системы является чрезвычайно сложной проблемой для решения. Для повышения эффективности облачных структур на этапах проектирования и эксплуатации необходимо разработать обобщенную и расширяемую платформу имитационного моделирования, которая позволит осуществлять бесшовное моделирование процессов, возникающих в облачных вычислительных инфраструктурах и оптимизировать управление сервисами.

Цели и задачи. К основным задачам для имитационного моделирования облачных структур относятся следующие функции: моделирование и конкретизация крупномасштабной инфраструктуры облачных вычислений, в том числе центров обработки данных на одном физическом узле; оценка эффективности платформы для центров обработки данных; моделирование услуг и планирование политики выделения ресурсов; моделирование создания и управления несколькими виртуализированными службами на узле центра обработки данных; моделирование гибкого переключения между различными режимами разделения времени и распределения процессорных ядер для виртуализированных услуг.

Результаты исследований. Новые облачные приложения, такие как социальные сети, игровые порталы, бизнес-приложения, доставка контента, а также поддержка научных и производственных процессов работают на самом высоком уровне архитектуры. Фактически модели использования многих реальных приложений изменяются со временем непредсказуемым образом. Эти приложения имеют различное качество обслуживания (QoS) и требования в зависимости от времени, критичности и паттернов взаимодействия пользователей (онлайн / оффлайн). Разработчики с инновационными идеями для новых

интернет-сервисов могут сократить большие капитальные затраты на аппаратную и программную инфраструктуры для развертывания своих приложений и управления ими.

К традиционным облачным приложениям можно отнести социальные сети, веб-хостинг, доставка контента, а также обработка данных в режиме реального времени. Каждый из этих типов приложений имеет различный состав, конфигурацию и требований к развертыванию. Использование реальных испытательных стендов, таких как Amazon EC2, ограничивает эксперименты по шкале стендового компьютера и делает воспроизводство результатов чрезвычайно трудной задачей, так как условия, преобладающие в интернет-среде, находятся вне контроля тестера.

Альтернативой является использование инструментов имитационного моделирования, которые открывают возможность оценить эффективность проекта или сервиса перед разработкой программного обеспечения в среде и воспроизвести тесты. В частности, в случае облачных вычислений, где доступ к инфраструктуре связан с материальными затратами, имитационные подходы дают значительные преимущества, поскольку они позволяют клиентам облака проверить свои сервисы в повторяемой и контролируемой среде, свободной от оплаты, а также для настройки производительности и анализа узких мест перед развертыванием на реальных облаках. Со другой стороны, имитационное моделирование позволяет провести оценку различных видов лизинговых ресурсов и сценариев при различных распределениях нагрузки и ценообразования. Такие исследования могли бы помочь провайдером оптимизировать стоимость доступа к ресурсам с акцентом на повышении прибыли. При отсутствии таких имитационных платформ клиенты и поставщики облачных сервисов должны полагаться на теоретические или неточные оценки, которые приводят к низкой производительности услуг и высоким рискам получения доходов.

Еще один аспект, связанный с облачными технологиями, и который следует учитывать, заключается в том, что научные исследования и разработки в области облачных вычислительных систем, приложений и услуг находятся на начальной стадии. Есть целый ряд важных вопросов, которые требуют детального исследования вдоль стека программного обеспечения. Темы, представляющие интерес для разработчиков, включают в себя экономические стратегии для предоставления виртуализированных ресурсов на запросы входящего пользователя, планирование приложений, обнаружение ресурсов, связи между облаками и так далее. Для поддержки и ускорения исследований, связанных с облачными вычислительными системами, приложениями и сервисами, важно, чтобы необходимые программные средства для имитационного моделирования были разработаны и включены в перечень сервисов для помощи исследователям и разработчикам.

Выводы. С целью создания единой платформы для имитационного моделирования облачной инфраструктуры были сформулированы основные принципы, задачи и критерии оптимизации для моделирования облаков следующего поколения. Предложенная платформа является полностью настраиваемым инструментом, который позволит расширить возможности и определить эффективные политики во всех компонентах программного стека, что сделает его полезным в качестве исследовательского инструмента для моделирования различных сценариев. В будущем планируется предложить платформу для моделирования как встроенную поддержку для имитации имеющихся в настоящее время облаках.

ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ДИФРАКЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА НЕОДНОРОДНЫХ СТРУКТУРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОПОТОЧНОСТИ

Таран Е.П.¹, Тимофеева С.В.², Зуев С.А.¹

¹доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ

²старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ

Воздействие электромагнитного излучения на пленочные наноструктурные элементы приводит к развитию необратимых тепловых и деградационных процессов в этих структурах. Экспериментально проанализировать характер и причины развития данных процессов в динамике достаточно сложно.

С теоретической точки зрения необходимо решать как задачу дифракции электромагнитного излучения на пленочно-неоднородной структуре (ПНС), так и тепловую задачу. Аналитически данные задачи решить возможно только качественно и с определенными ограничениями. Поэтому необходимо разработать численную модель, которая включает как дифракционную часть, так и тепловую часть.

Разработка численной модели в динамике основана на методе конечных элементов во временной области (в литературных источниках метод известен, как FDTD). Обоснованность применения данного метода обусловлена необходимостью решать самосогласованную задачу в динамике: решение дифракционной задачи предполагает получение исходных данных для тепловой задачи, результаты решения которой позволяют пересчитывать задачу дифракции и т.д. Поскольку метод FDTD является явным, а при построении численной модели используется неоднородная адаптивная сетка, то процесс численного моделирования занимает достаточно большие временные ресурсы. Поэтому для ускорения процесса расчета необходимо использовать многоядерность современных процессоров.

Целью работы является разработка программного пакета расчета электромагнитных полей на неоднородных структурах с использованием принципов многопоточности.

Предлагаемый программный пакет «The multi-threaded application for simulating electromagnetic fields» (MTASEF) включает в себя следующие модули:

1. модуль формирования моделируемой области;
2. модуль пространственно-неоднородной дискретизации моделируемого пространства;
3. модуль определения входных электромагнитных потоков;
4. модуль формирования многопоточности для численного решения задачи дифракции;
5. модуль моделирования процесса распространения электромагнитного излучения через ПНС;
6. модуль формирования результатов моделирования.

При разработке программного пакета используется метод FDTD в 3-х мерном пространстве. Данный метод позволяет в динамике моделировать процесс распространения электромагнитной волны. Поскольку при численном решении для одного временного шага используются вложенные циклы (3-х мерное пространство), то для повышения эффективности расчета вначале было осуществлено преобразование вложенных циклов в один. Затем этот цикл был распределен на несколько потоков. Таким образом, на каждом временном шаге расчет электромагнитных полей производился с использованием нескольких потоков. Это позволило значительно повысить эффективность процесса моделирования.

Апробация программного пакета была проведена в лаборатории телекоммуникационных технологий и СВЧ-связи Физико-технического института КФУ. В качестве моделируемой области использовался прямоугольный волновод (34x72 мм) с ПНС (рис.1). Входные электромагнитные потоки задавались на входе 1.

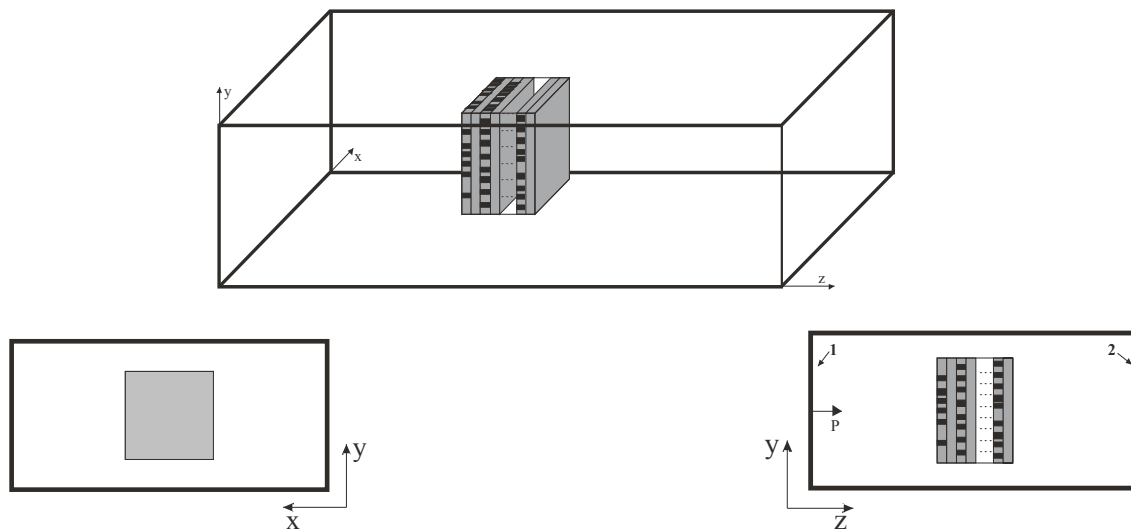


Рис.1 Моделируемая область (прямоугольный волновод) со ПНС.

Полученные распределения электромагнитных полей на ПНС достаточно хорошо коррелируют с результатами расчетов, полученных с применением стандартных пакетов программ.

Пространственно-неоднородная сетка имела 844800 ячеек (96x80x110). Временной шаг составлял 10^{-16} с, количество временных шагов в процессе моделирования – 10^7 . Был проведен анализ эффективности использования многopotчности для численного решения задачи дифракции электромагнитного излучения на ПНС. На рис.2 представлен график зависимости времени расчета от количества используемых ядер.

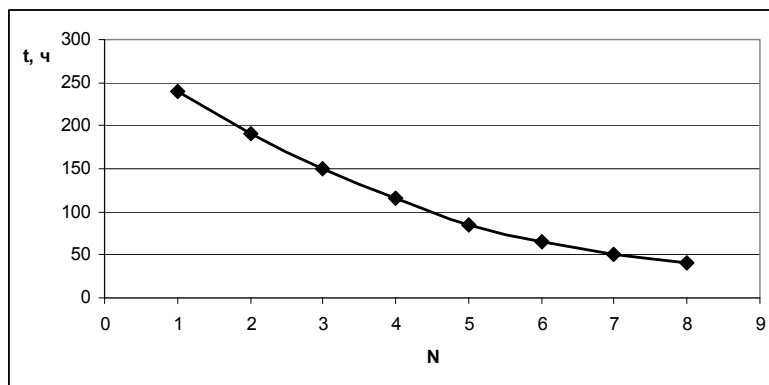


Рис.2 Зависимость времени расчета от количества используемых ядер.

Полученная зависимость показывает, что для данного количества разбиений (844800 пространственных ячеек) при использовании 8 ядер время расчета уменьшилось в 6 раз. При этом зависимость времени расчета от количества используемых ядер носит нелинейный характер.

Сравнение результатов работы последовательного алгоритма метода FDTD с результатами, полученными с использованием параллельного расчета, показали адекватность разработанного пакета MTASEF. Это позволяет использовать разработанный пакет при численном моделировании процесса распространения электромагнитного излучения с применением принципов многopotчности.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕБ-КЛАСТЕРА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Юрчук С.А.

*магистр кафедры компьютерной инженерии и моделирования физико-технического
института Таврической академии КФУ им. В.И. Вернадского*

научный руководитель: доцент, к.т.н. Руденко М.А.

sophiaal@mail.ru

Введение. Современное общественное развитие тесно связано с процессом совершенствования информационных и компьютерных технологий. Планирование и оптимизация компьютерных систем и сетей, которые обеспечивают предоставление запрашиваемых услуг с требуемым качеством обслуживания на основе фактических данных является очень сложной научно-технической и экономической проблемой, без которых невозможно создать информационную инфраструктуру, которая отвечает потребностям развитого общества. Решение этой проблемы базируется на решении задач анализа и синтеза компьютерных систем и сетей. Развитие области информации влечет за собой ряд и других проблем. Одной из таких проблем является то, что при растущей доле потребителей информационных услуг увеличиваются требования к компьютерным комплектующим, к серверному и сетевому оборудованию, необходимому в целях поддержания должного уровня качества обслуживания. Другой проблемой для современных технических систем является обеспечение заданного уровня надежности и устойчивости компьютерной системы. Все обозначенные проблемы при проектировании требуют проведения сложных расчетов на основе экспериментальных данных. Проведение натурных экспериментов для компьютерных систем требует больших материальных и временных затрат, единственным путём решения задач проектирования эффективных КС является использования методов имитационного моделирования.

Цели и задачи. Целью исследования является разработка методики проектирования компьютерных систем на основе имитационного моделирования её характеристик. Для достижения поставленной цели необходимо исследовать теоретические основы и принципы проектирования КС методами имитационного моделирования, проанализировать применение имитационного моделирования для проектирования КС, разработать методики проектирования компьютерной системы на основе имитационного моделирования её характеристик, провести имитационные эксперименты для анализа зависимостей характеристик компьютерных систем, оптимизировать характеристики компьютерных систем по заданным критериям на основе имитационного моделирования.

Методы исследования: случайный анализ, системы массового обслуживания, имитационное моделирование, теория проведения экспериментов.

Результаты исследований. Появление новых задач при проектировании современных распределенных КС позволяет использовать методы имитационного моделирования на всех этапах проектирования КС и процессов обработки и передачи информации в глобальных сетях, таких как имитационное моделирование гипертекстового представления запросов к интернет-серверу БД, имитационное моделирование явления синхронизации в однородных КС со слабой связью, имитационное моделирование веб-кластера с применением динамической дисциплины. Проанализировав модель функционирования веб-кластера, можно сделать вывод, что веб-кластер относится к многоканальным неоднородным СМО с индивидуальной очередью для каждого канала, к СМО с динамической нагрузкой, случайным распределением интервала поступления заявок в рамках диапазона планируемой нагрузки, дисциплина обслуживания зависит характеристик КС, включенной в кластер и может варьироваться в большом диапазоне. Алгоритмы функционирования распределителя нагрузки бывают статическими и динамическими. В динамических алгоритмах

распределитель анализирует существующие сервера и отправляет запрос к наилучшему серверу по некоторым критериям. Если при поступлении потока заявок отслеживается длинная заявка, которая продолжительное время занимает сервер, она не будет направлена на этот сервер. Динамические алгоритмы приводят к накладным расходам, которые связаны со сбором данных с серверов.

В результате проведенного исследования были разработаны и реализованы алгоритмы функционирования веб-кластеров с различными режимами распределения заявок. Проведены модельные эксперименты, имитирующие различные режимы поступления и обработки заявок. Проанализированы показатели эффективности для различных целей работы кластера и возможности гибкой настройки. Предложенная методика и алгоритмы позволяют проектировать эффективные системы, состоящие из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов (серверов, рабочих станций, клиентов и др.). Имитационные модели решают проблему анализа и оценки сложных математических и вычислительных процессов (алгоритмов), которые применяются самой КС для выполнения задач управления. Сложные современные компьютерные системы могут быть разбиты и проанализированы на уровне отдельных подсистем (кластеров, зерен), и отконфигурированы оптимальным способом для достижения общей цели выполняемой задачи обработки информации. Необходимость функционирования в условиях различной нагрузки при воздействии случайных факторов на систему с заданным уровнем надежности и устойчивости требует проведения большого количества испытаний и оценки результатов. Применение имитационного моделирования, имитационных экспериментов, позволило спроектировать веб-кластер для хранения интернет документов с заданными параметрами пропускной способности и надежности.

Вывод. В ходе работы были решены следующие задачи: исследованы теоретические основы и принципы проектирования компьютерных систем методами имитационного моделирования, изучены существующие методы имитационного моделирования, представлены этапы создания методик имитационного моделирования. Полученные результаты показали эффективность применения методов имитационного моделирования при проектировании КС и сетей различного назначения.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ МОТОР-КОЛЕСА С ПОВЫШЕННЫМ УДЕЛЬНЫМ МОМЕНТОМ

Филиппов Д.М.¹, Чабанов В.В.², Козик Г.П.³

*¹ доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирование
Физико-технического института*

*² ведущий специалист кафедры компьютерной инженерии и моделирование
Физико-технического института*

*³ старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии и моделирование
Физико-технического института
filippov.dm@cfuv.ru*

Введение. Мотор-колесо представляет собой управляемый электропривод, который встраивается в колесо транспортного средства (автомобиля, велосипеда, инвалидной коляски и т.п.).

Сегодня актуальной научной задачей является поиск технических решений, позволяющих увеличить вращающий момент при сохранении габаритов и массы электропривода мотор-колеса. Резервы для решения этой задачи сосредоточены в конструкции электромагнитной системы.

Целью настоящего исследования является разработка компьютерной модели, позволяющей проводить электромагнитные расчёты и оптимизировать на их основе конструкцию приводов мотор-колёс.

Методика исследований. В работе используется метод вторичных источников в формате подхода разработанного в работе: Стадник И. П. Метод СЛАУ расчёта статических плоскопараллельных полей в кусочно-однородных средах (вторичные источники: простой слой токов; кусочно-линейная аппроксимация) / И. П. Стадник, Д. М. Филиппов // Техническая электродинамика. — 2008. — № 5. — С. 12—17.

Результаты исследований. В качестве прототипа было рассмотрен электропривод колеса велосипеда, изображенный на рис.1.



Рис. 1. Электропривод велосипедный, бесколлекторный.

Параметры электродвигателя следующие: внешний диаметр ротора — 222 мм; внутренний диаметр ротора — 204 мм; толщина слоя магнитов — 3 мм; число магнитов — 46; воздушный зазор — 0,6 мм; число зубцов/пазов статора — 51; внешний диаметр статора — 197 мм; внутренний диаметр статора — 159 мм; ширина зубцов — 7 мм; ширина пазов — 5 мм; число витков в пазу — 55; ток — 35 А; вращающий момент — 48 Н·м. Магниты изготовлены из материала NdFeB.

Задача оптимизации решалась из условия сохранения внешних габаритов ротора и статора.

В результате оптимизации были найдены следующие параметры двигателя: число магнитов — 24; зубцов/пазов статора — 54; ширина зубцов — 5 мм; ширина пазов — 6,3 мм;

число витков — 71. Момент, развиваемый двигателем при указанных параметрах, составил 63 Н·м.

На рис.2. приведено распределение индукции магнитного поля в зазоре двигателя.

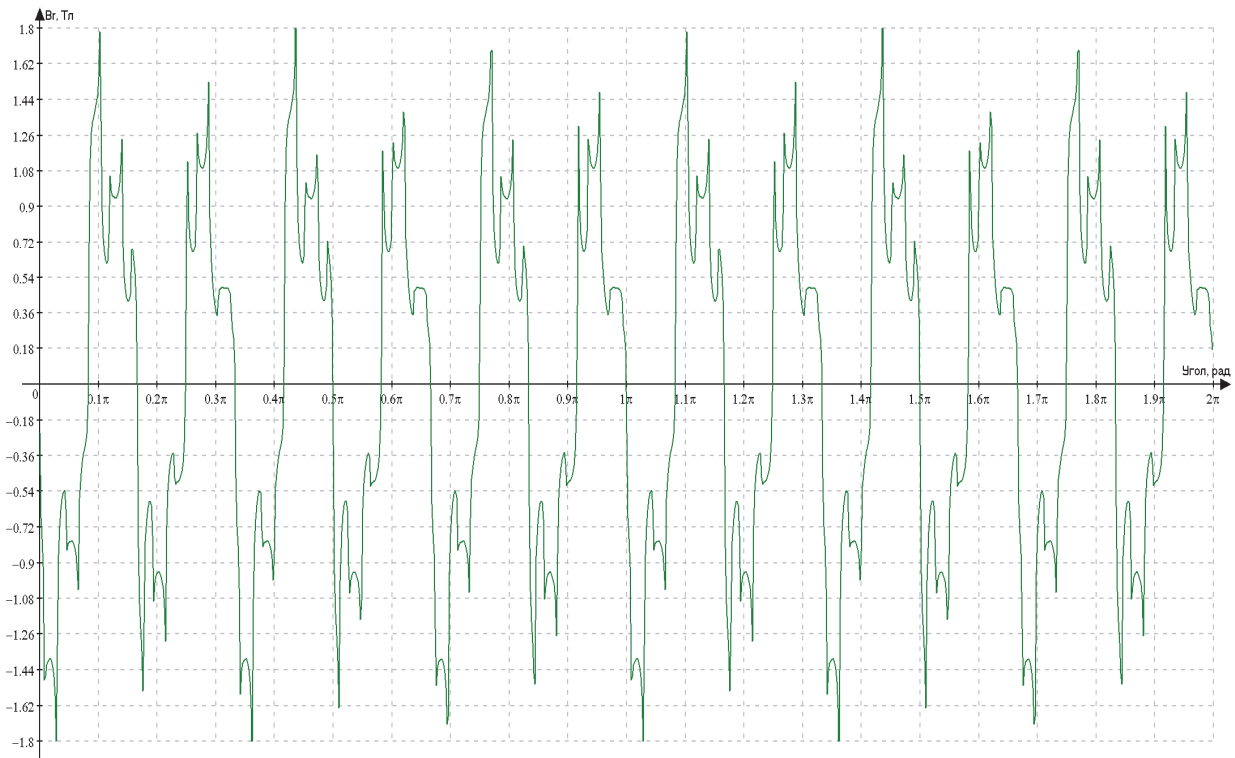


Рисунок 2. распределение индукции магнитного поля в зазоре двигателя.

Выводы. Результаты оптимизации параметров электропривода мотор-колеса велосипеда позволили увеличить вращающий момент, при сохранении габаритов и питаемого тока, на 24%.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕТАБОЛИЗМА ЦИКЛА ОКСИДА АЗОТА В ЭНДОТЕЛИИ СОСУДОВ ПРИ НИТРАТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Савицкий И.В.¹, Мясковская И.В.², Григорьев П.Е.³, Якушкин Е.Ю.², Слюсарь А.А.²

¹ *Зав. кафедрой общей и клинической патологической физиологии Одесского национального медицинского университета, г. Одесса, Украина.*

² *Студенты Одесского национального медицинского университета, г. Одесса, Украина.*

³ *Зав. кафедрой медицинской физики и информатики Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»²*

научный руководитель: д.мед.н., профессор Савицкий И.В.

farmakod@rambler.ru

Введение. Хроническая нитратная интоксикация приводит к неуклонному росту патологий сердечно-сосудистой системы. Одним из ключевых звеньев влияния нитратного повреждения является гемическая гипоксия, вызванная метгемоглобинемией. Также продуктами преобразования нитратов в организме являются пероксинитриты и нитрозамины. При этом одним из важнейших звеньев патологии сердечно-сосудистых заболеваний является эндотелиальная дисфункция.

Цель и задачи. Общей целью работы является исследование нитратной нагрузки на эндотелиальную дисфункцию, как пускового механизма негативного воздействия нитратной интоксикации на организм, изучение механизмов биохимического преобразования нитратов и вызываемых ими патологических процессов. Исследование компенсаторного действия L-аргинина при нитратной интоксикации. Конкретными задачами данного исследования явились исследования маркеров выбора: малонового диальдегида (МДА), каталалы, супероксиддисмутазы (СОД), ассиметрического диметиларгинина (АДМА), L-аргинина, нитрозатиолов, суммы эндогенных нитратов и нитритов.

Материалы и методы. Исследования были выполнены на 20 половозрелых белых крысах-самках линии Вистар, массой 140-180 г. Контрольная группа – животные, находившиеся на стандартном лабораторном пищевом рационе.

- 1 группа – с хронической нитратной нагрузкой (0,03% раствор нитрата натрия в свободной питьевой форме вместо воды);

- 2 группа получала аналогичную нитратную нагрузку на фоне применения L-аргинина. Определение МДА крови проводилось методом флуориметрии.

Определение активности СОД основывалось на реакции окисления кверцетина. Концентрацию определяли с помощью жидкостного хроматографа LC 5000 (фирма INGOS, Чехия), длина волны 340 нм, в изократическом режиме. Для твердофазной экстракции (очистка и концентрирование) применяли картриджи Absolut Nexus (фирма Variun). Уровень L-аргинина определяли с помощью скоростной хроматографии. Нитрозатиолы определяли спектрофлуориметрическим методом. Нитраты+нитриты определяли при набора реактивов total NO производства RDS (Be).

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью однофакторного дисперсионного анализа и последующего применения апостериорного критерия Шеффе для выявления значимости различий между показателями в выборках попарно – для каждого показателя между разными группами животных.

Результаты.

1. Малоновый диальдегид.

Контрольная группа – 5,188 мкМ/л; 1 группа эксперимента (с применением нитратов) – 13,018 мкМ/л; 2 группа эксперимента (нитрат натрия + L-аргинин) – 8,876 мкМ/л. По результатам однофакторного дисперсионного анализа установлены высоко значимые статистически различия между значениями признака в группах ($p < 10^{-3}$). По критерию Шеффе также попарные различия между всеми выборками высоко значимы ($p < 10^{-3}$). Резко увеличивается уровень МДА при недостаточной активации ферментов антиоксидантной защиты (супероксиддисмутаза и каталаза). В группе с применением экзогенного L-аргинина отмечается его компенсаторное действие – повышение выражено, но менее значительно, чем в группе без его применения.

2. Супероксиддисмутаза и каталаза – ферменты антиоксидантной защиты.

СОД. Контрольная группа – 11,166 у.е./л; 1 группа эксперимента (с применением нитратов) – 15,558 у.е./л; 2 группа эксперимента (нитрат натрия + L-аргинин) – 16,44 у.е./л.

Каталаза. Контрольная группа – 23,898 мкМ/л; 1 группа эксперимента (с применением нитратов) – 30,388 мкМ/л; 2 группа эксперимента (нитрат натрия + L-аргинин) – 30,996 мкМ/л.

Отмечается существенное различие между группами эксперимента и группой контроля ($p < 10^{-3}$). Различия между экспериментальными группами (с и без применения L-аргинина) незначительны и статистически не значимы. Поэтому можно судить об отсутствии повышения активизации СОД на фоне приема L-аргинина.

3. Асимметрический диметиларгинин.

Контрольная группа – 19,264 мкМ/л; 1 группа эксперимента (с применением нитратов) – 69,972 мкМ/л; 2 группа эксперимента (нитрат натрия + L-аргинин) – 49,576 мкМ/л. В данном случае различия между всеми группами попарно являются статистически значимыми ($p < 10^{-3}$). Содержание АДМА в группе с применением L-аргинина несколько снижено в сравнении с результатами группы, в которых он не применялся. Различия статистически значимы.

4. L-аргинин.

Контрольная группа – 365,138 мкМ/л. 1 группа эксперимента (с применением нитратов) – 175,162 мкМ/л. 2 группа эксперимента (нитрат натрия + L-аргинин) – 398,116 мкМ/л. Различия между всеми группами попарно являются статистически значимыми ($p < 10^{-3}$). Содержание аргинина при его экзогенном поступлении (экспериментальная группа, что получала L-аргинин на фоне хронической нитратной интоксикации) приближается к контрольному, повышается продукция оксида азота (о чем свидетельствует уровень нитрозатиолов).

5. Нитрозатиолы и сумма нитратов и нитритов.

Нитрозатиолы. Контрольная группа – 3,524 мкМ/л; 1 группа эксперимента (с применением нитратов) – 1,068 мкМ/л; 2 группа эксперимента (нитрат натрия + L-аргинин) – 2,55 мкМ/л.

Сумма нитратов и нитритов. Контрольная группа – 40,418 мкМ/л; 1 группа эксперимента (с применением нитратов) – 22,098 мкМ/л; 2 группа эксперимента (нитрат натрия + L-аргинин) – 37,056 мкМ/л.

Различия между всеми группами попарно являются статистически значимыми ($p < 10^{-3}$). Значительно снижается продукция оксида азота, о чем свидетельствует уменьшение содержания нитрозотиолов и суммы нитратов и нитритов. Как известно, оксид азота играет важную роль в обеспечении нормальной функции эндотелия. Отмечается менее выраженное снижение данных маркеров в группах с применением L-аргинина.

Выводы.

1. Хроническая нитратная интоксикация приводит к развитию окислительного стресса, о чем свидетельствуют резкое повышение активности малонового диальдегида на фоне снижения активности ферментов антиоксидантной защиты.
2. Значительно снижен синтез оксида азота, о чем свидетельствует уменьшение содержания нитрозатиолов и суммы нитратов и нитритов. В группе с применением L-аргинина отмечается субкомпенсация уровня нитрозотиолов и суммы эндогенных нитратов и нитритов. Снижение уровня отмечается, но менее выражено.
3. Отмечается увеличение уровня ассиметричного диметиларгинина, что является следствием влияния окислительного стресса и еще одним фактором, подтверждающим возникновение эндотелиальной дисфункции на фоне хронической нитратной нагрузки.
4. Подтверждается ранее выявленное нами защитное воздействие L-аргинина на сосуды при хроническом нитратном воздействии.

ОЦЕНКА СИНХРОНИЗАЦИИ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Соколов М.В.¹, Побаченко С.В.², Григорьев П.Е.³

¹ магистрант кафедры космической физики и экологии радиофизического факультета национального исследовательского Томского государственного университета

² к.б.н, доцент кафедры космической физики и экологии радиофизического факультета национального исследовательского Томского государственного университета

³ д.б.н. зав. кафедрой медицинской физики и информатики физико-технического института Крымского федерального университета им. В.И.Вернадского

maxs0707074@mail.ru

Флуктуации фоновых магнитных полей, возникающие в периоды магнитных бурь, либо вызванные тем или иным техногенным агентом или проявляющиеся в местах активных геологических разломов могут являться причиной выраженных нарушений функционирования основных регуляторных систем организма человека, таких, как нервная и сердечно-сосудистая система. Это, в свою очередь, может приводить к снижению резистентности организма к различным заболеваниям. Так, в зонах масштабных геомагнитных аномалий, таких, как Курская магнитная аномалия в России, где напряженность геомагнитного поля по вертикали превышают среднемировые значения в 3-4 раза, наблюдаются повышенные уровни заболеваемости населения по сравнению с близлежащими районами вне магнитной аномалии.

Таким образом, есть основания полагать, что при пребывании человека в зонах с аномальными значениями магнитного поля могут возникать структурно-функциональные изменения в динамике показателей нейрорегуляторной активности, которая является наиболее чувствительной к воздействию внешних факторов, в том числе, электромагнитной природы. Для проверки данного предположения в 2013 и 2014 году были организованы и проведены экспедиционные исследования динамики показателей функционального состояния мозга человека в естественных условиях пространственно неоднородного магнитного поля в зоне эпицентра землетрясения на территории республики Горный Алтай.

Измерения параметров функционального состояния волонтеров проводились в автономном режиме выборочного мониторингирования. Представлены результаты записи ЭЭГ, проводимых в следующей временной последовательности: фоновая запись ЭЭГ в течение пяти минут за пределами аномальной зоны, затем волонтер заходил в зону с аномальным градиентом магнитного поля и находился там пятнадцать минут, затем покидал её пределы.

Ранее в работе «Особенности влияния пространственно неоднородных магнитных полей естественного происхождения на характеристики электрической активности мозга человека // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 8/3. С. 279-282.» нами была показана неспецифическая реакция активации при непосредственном влиянии градиентного магнитного поля, данная реакция характеризуется увеличением амплитудных характеристик ЭЭГ. Кроме того установлено, что изменение амплитуды не равномерно по каналам ЭЭГ и наиболее выражение изменения амплитуды зафиксировано для отведений левого полушария. На данном этапе работы решено рассмотреть структурно-функциональные изменения, в связи с этим были рассчитаны значения функции когерентности (φ^2).

Функция когерентности рассчитывалась по следующей методике: для всех экспериментальных серий исходные данные были разбиты на два интервала, из них один интервал соответствует нахождению в зоне с пространственно неоднородным магнитным полем, второй интервал соответствует пребыванию волонтеров в нормальных условиях. Затем по каждому интервала с частотой дискретизации 5 секунд рассчитывалась значения φ^2 для всех отведений по отдельности. После чего проводилось усреднение значений функции когерентности по всем экспериментальным сериям и для всех волонтеров.

На рисунке 1а) представлено отношение средних значений φ^2 в пределах зоны с модифицированным магнитным полем (φ^2_m) к соответствующим значениям в нормальных условиях (φ^2_n) для диапазона частот 0.3-4.0 Гц.

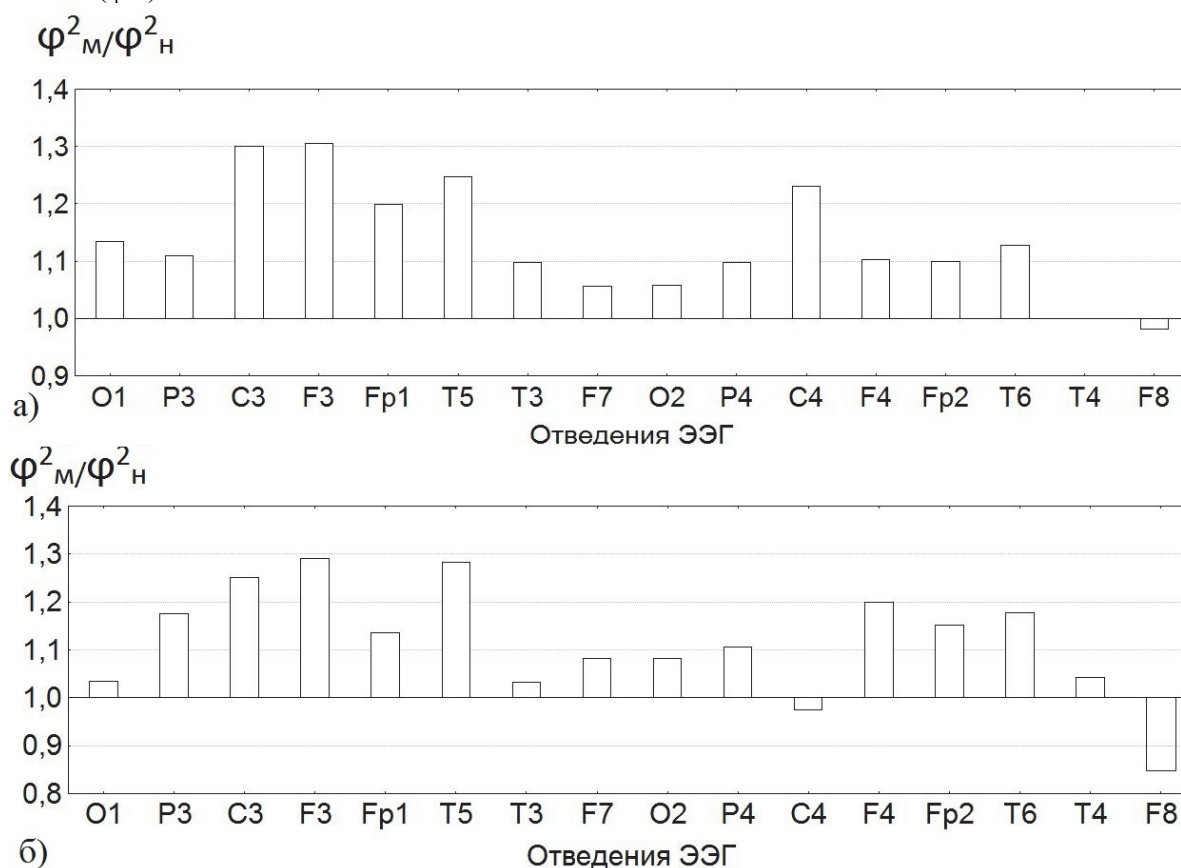


Рисунок 1. Относительное распределение значений функции когерентности по 19 отведениям: а) в диапазоне частот 0.3-4.0 Гц.; б) в диапазоне частот 8.0-13.0 Гц.

В данном диапазоне частот фиксируется эффект увеличения значений φ^2 для всех отведений кроме C4 и F8. Представленное распределение позволяет отметить отведения с наиболее выраженным увеличением значений функции когерентности (C3, F3, T5). Следует

отметить, что отведения СЗ, F3 и Т5 относятся к левому полушарию. Таким образом, так же как и в случае распределения амплитуд, в диапазоне частот 0.3-4.0 Гц. для отведений левого полушария фиксируются более выраженное увеличение значений ϕ^2 чем для соответствующих значений правого полушария.

В диапазоне частот 8.0-13.0 Гц. фиксируются аналогичные эффекты (Рисунок 1б.).

Таким образом, по расчетам значений функции когерентности выявлены изменения в синхронизации мозговой активности отдельных областей внутри и межполушарных связей при непосредственном влиянии пространственно неоднородного магнитного поля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-01-00001.

АМПЛИТУДНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЙ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ ПО ВЫБОРКЕ ВОЛОНТЕРОВ

Бурова В.Ю.¹, Побаченко С. В.²

¹магистрант кафедры космической физики и экологии радиофизического факультета национального исследовательского Томского государственного университета

²к.б.н, доцент кафедры космической физики и экологии радиофизического факультета национального исследовательского Томского государственного университета

Veronika.burova94@mail.ru

Интенсивное использование электромагнитной и электрической энергии в современном обществе привело к тому, что в последней трети XX века возник и сформировался новый значимый фактор загрязнения окружающей среды - электромагнитный. К его появлению привело развитие современных технологий передачи информации и энергии, дистанционного контроля и наблюдения, некоторых видов транспорта, а также развитие ряда технологических процессов. На сегодняшний день, согласно ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения) все постоянные пользователи мобильных телефонов относятся ко II категории риска (класс канцерогенности 2B). Не смотря на это, четких механизмов действия излучений мобильных телефонов на мозг человека однозначно не известно. Ранее, при изучении влияния электромагнитных излучений мобильного радиотелефона (МРТ) стандарта GSM на функциональную активность мозга человека был выявлен факт значимого повышения уровня спектральной мощности в параметрах электроэнцефалографии(ЭЭГ) в диапазоне частот 2 – 4 Гц, 4 – 8 Гц и 8 –13 Гц при активации дозвона. Однако в большинстве случаев были представлены индивидуальные данные. В связи с этим, в рамках настоящей работы было проведено исследование общих закономерностей динамики амплитудных и временных параметров в основных функциональных диапазонах электрической активности мозга человека при воздействии излучений мобильных телефонов на репрезентативной выборке волонтеров.

Исследования проводились в лабораторных условиях. Для проведения мониторинга состояния нейродинамической системы организма человека, использовался электроэнцефалограф Мицар-ЭЭГ-03/35-201, позволяющий регистрировать параметры спонтанной электрической активности головного мозга человека. Для оценки воздействия излучений МРТ использовались телефоны стандартного серийного ряда.

В исследовании принимали участие 15 волонтеров. Каждый испытуемый находился в расслабленном состоянии в затемненном помещении. Все звуки и прочие способы индикации входящего вызова на телефоне были отключены, таким образом испытуемые не знали о начале и продолжительности звонка. Общая длительность эксперимента составляла

15 минут. За это время было произведено три звонка минутной продолжительности. Воздействие продолжалось в течение одной минуты, после чего делалась отметка об окончании воздействия и продолжалась запись ЭЭГ без внешнего воздействия, которая составляла также 3 минуты.

Для анализа закономерностей изменений ЭЭГ при воздействии излучений МРТ для всей выборки волонтеров был использован метод наложения эпох, в качестве нулевой точки выбрано начало дозвона.

Анализ полученных данных по динамике изменения амплитудных значений в параметрах ЭЭГ при включении сотового телефона позволяет констатировать наличие достаточно выраженных закономерностей, характеризующихся активацией электрической активности мозговых структур для всех исследуемых диапазонов частот.

На протяжении первых минут эксперимента существенных отличий в показателях ЭЭГ активности не отмечается. В момент активации сотового телефона наблюдается повышение амплитудных значений. После звонка уровень ЭЭГ активности возвращается приблизительно на исходные значения (рис. 1 а).

Сравнительная характеристика амплитудных изменений по трем функциональным диапазонам ЭЭГ позволяет отметить, что во время начала дозвона, разность потенциалов дельта диапазона в среднем увеличивается в 3.3 раза, тета диапазон – в 2,08 раза, альфа – в 2.13 раза (рис. 1 б).

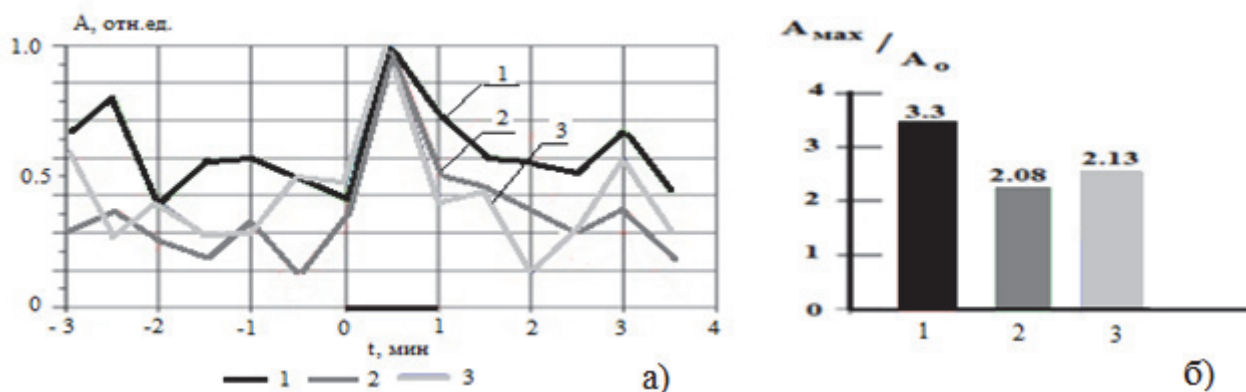


Рисунок 1. а) Динамика нормированных усредненных значений амплитудных показателей ЭЭГ при минутной активации мобильного телефона (эпоха 0–1); б) отношение максимальных значений амплитуд к фоновым для основных диапазонов ЭЭГ, 1 – дельта, 2 – тета, 3 – альфа диапазоны ЭЭГ активности

Общий анализ полученных результатов позволяет отметить, что для всех тестируемых диапазонов ЭЭГ характерно наличие положительного тренда увеличения амплитудных значений после активации телефонного вызова. По критерию сравнения средних значений амплитуд после звонка статистически достоверно отличаются от фоновых. Кроме того, можно отметить стабилизацию амплитуд в течение 3-х минут после активации мобильных телефонов. Оценивая динамику изменения амплитудных показателей ЭЭГ во время непосредственного воздействия излучений мобильных телефонов, можно отметить, что наибольшая реактивность проявляется в самом низкочастотном диапазоне (Δ - периодика). Значение наиболее вероятного периода времени между началом воздействия и возрастанием амплитудных значений находится в интервале приблизительно от 5 секунд для Δ - активности до 15 секунд для остальных функциональных диапазонов.

В свою очередь, максимума амплитуда достигает через 40 секунд для дельта и тета – активности, в то время как для альфа периодик, максимум достигается на 45 секунде включения в работу мобильного телефона. Вероятно, что подобные временные закономерности обусловлены нейрофизиологическими особенностями проявления мозговой

активности в исследуемых диапазонах, поскольку известно, что каждой периодике ЭЭГ свойственна определенная функциональная значимость.

Таким образом, на основе проведенных экспериментальных исследований и анализе объединенных экспериментальных данных по выборке из 15 волонтеров получено:

1. При воздействии излучений мобильного телефона выявлена общая тенденция в динамике показателей наводимой электрической активности мозга человека, которая проявляется в увеличении амплитудных показателей ЭЭГ, при этом в Δ - диапазоне в среднем увеличение происходит в 3,3 раза, в θ - диапазоне в 2.08, а в α - диапазоне в 2,13 раза.

2. Значение наиболее вероятного периода времени между началом воздействия и возрастанием амплитудных значений находится в интервале от 5 секунд для Δ - активности до 15 секунд для остальных функциональных диапазонов. Максимум амплитуды наблюдается через 40 секунд для дельта и тета – активности, в то время как для альфа периодик, максимум достигается на 45 секунде включения в работу мобильного телефона.

СЕКЦИЯ КАФЕДРЫ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

(наименование секции)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМУЩЕННОГО ПУЧКА БЕССЕЛЯ-ГАУССА СФОРМИРОВАННОГО КОНУСОМ ВОЛНОВЫХ ВЕКТОРОВ

Акимова Я. Е. ¹

¹ студентка кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.ф.-м. наук, доцент Егоров Ю. А.

yana_akimova_1994@mail.ru

Введение. На сегодняшний момент в сингулярной оптике большое внимание уделяется изучению свойств пучков Бесселя-Гаусса. Интерес к данным пучкам вызван непосредственно из-за их широкого применения в оптической микроманипуляции, т.е. подобные пучки применяются для захвата, вращения и перемещения частиц. Помимо всего прочего они обладают спиральным волновым фронтом. Существует целый ряд работ направленных на изучение пучков Бесселя-Гаусса с целочисленным зарядом при прохождении анизотропной среды. Более подробнее эволюция структуры таких пучков вдоль оси кристалла, была рассмотрена профессором Фадеевой Татьяной Андреевной в 2010 году. Таким образом, нами было принято решение рассмотреть поведение данных пучков в свободном пространстве при слабых возмущениях, переносящим при этом дробный топологический заряд. То есть мы решили рассмотреть, как будет вести себя пучок Бесселя-Гаусса при смещении оси компьютерно-синтезированной голограммы относительно оси пучка. Именно в таком направлении и была построена данная работа.

Целью исследования явилось экспериментальное исследование возмущенного Бесселя-Гауссова пучка сформированного конусом волновых векторов, переносящего дробный топологический заряд.

Для достижения поставленной цели использовалась экспериментальная установка, представленная на Рис.1.

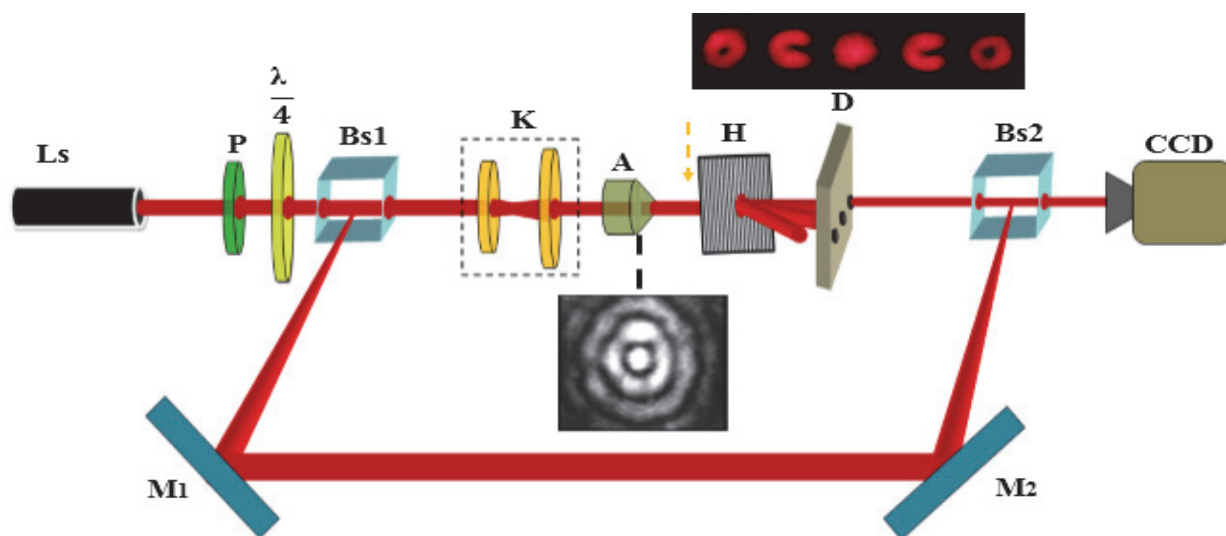


Рис. 1. Ls – лазер; P – поляризатор; $\lambda/4$ – четвертьволновая пластинка; Bs – делительный кубик; H – голограмма; D – диафрагма; K – коллиматор; A – аксикон; M – зеркало; CCD – камера.

Данная схема позволяет получить пучок Бесселя-Гаусса, при помощи аксикона, т.е. конической линзы. После чего, за счет движения КСГ мы изменяли местоположение Бессель-Гауссова пучка. Диафрагмой выделяли вихрь с дробным топологическим зарядом $l=-0.5$ и на экране монитора наблюдали интерференционную картину, описывающую траектории движения топологических зарядов в сердцевине Бессель-Гауссова пучка.

Для этих целей была разработана методика исследования траектории топологических зарядов и ее суть заключалась в том, что мы изменяли местоположение оси компьютерно-синтезированной голограммы относительно Бессель-Гауссова пучка. При проведении эксперимента нами было сделано шесть измерений с шагом 100 микрон. По мере того как мы передвигались наша интерференционная картина меняла свою структуру. Стоит отметить, что мы следили не за всем пучком, а только за его сердцевинкой. На эксперименте четкие кольца не получаются. Каждое кольцо это фактически вырожденная кольцевая дислокация, которая распадается на симметричный квадруполь. Исходя из полученной интерференционной картины, на плоскости отображается знак заряда и его место месторасположение.

На рис. 2 представлена траектория движения топологических зарядов и соответствующие ей картины интерференции.

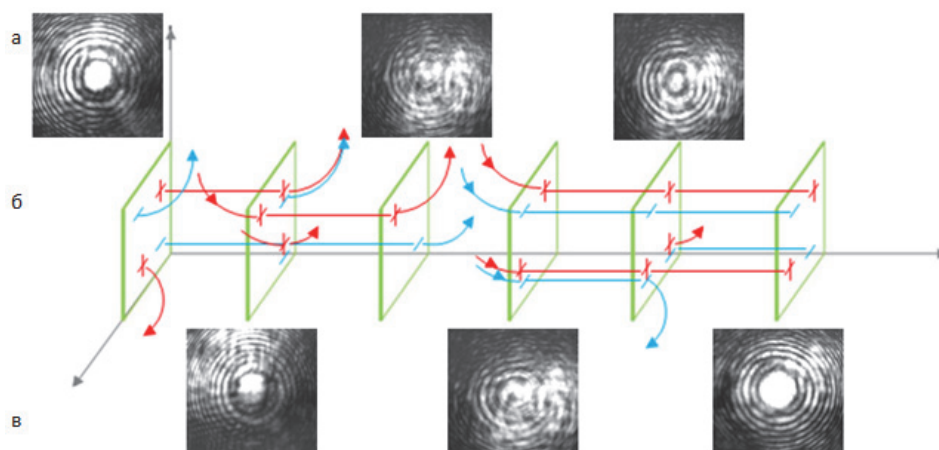


Рис. 2. Траектория топологических зарядов Бессель-Гауссова пучка при ($f = 3$ мм) (б), интерференционные картины данной динамики (а, в).

Линии на данном слайде показывают траектории движения топологических зарядов. По мере того как мы передвигаемся, на нашей картине интерференции «рождаются» и «уничтожаются» дополнительные заряды. Таким образом, происходит взаимодействие первоначальных зарядов с новообразовавшимися, что тем самым приводит к рождению новых вихрей или к их аннигиляции. Но как только мы пересекаем провал интенсивности, наша картина приобретает первоначальный вид. Образуется четыре заряда, два положительных и два отрицательных, что говорит о том, что закон сохранения топологического заряда работает.

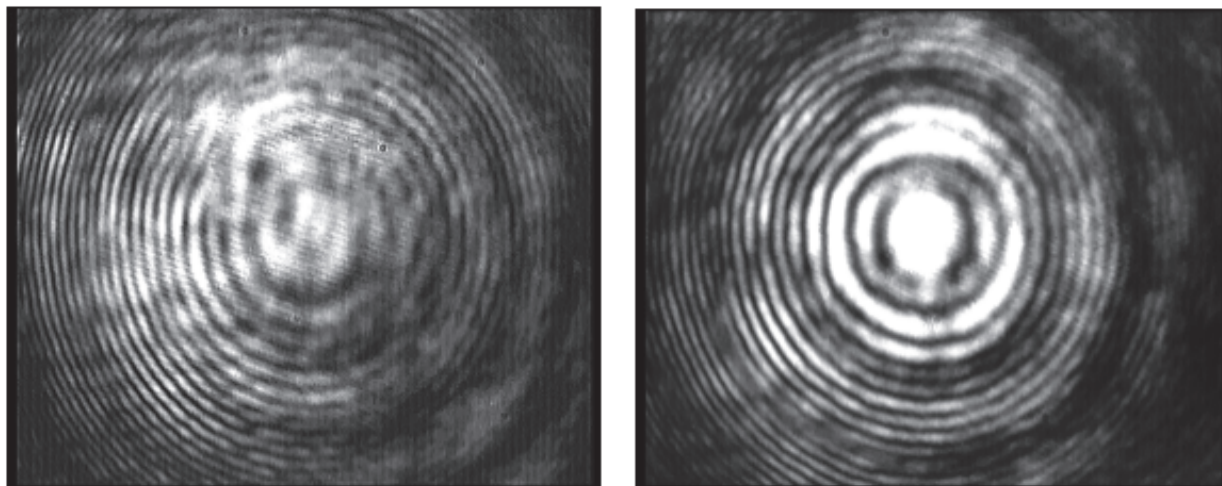


Рис. 3. Очистка поля.

Также стоит отметить, что различные фокусировки позволяют делать поле пучка регулярным, т.е. происходит очистка поля, при которой без потерь энергии мы добиваемся регулярного поля, меняя внутренний параметр динамической системы (рис.3).

Вывод. Проведенные исследования позволяют заглянуть в перед, т.е. дают возможность изучить, как будет себя вести возмущенный Бессель-Гауссов пучок в анизотропной среде. А так же дают возможность управление массивом, который очищается от зарядов в возмущенном пучке.

ГИРОТРОПНЫЙ ЭФФЕКТ В КРИСТАЛЛЕ КВАРЦА

Бибка А.А.

студентка кафедры общей физики Физико-технического института КФУ
научный руководитель: Лапаева С. Н., к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики

Введение. Большой интерес в оптике вызывают исследования, связанные с распространением и преобразованием структуры световых пучков в оптических кристаллах.

Современная оптика имеет дело не только со световыми пучками в оптических системах, но и исследует поведение электромагнитных волн в различных средах, а именно оптически прозрачных кристаллах. Особый интерес представляют такие кристаллы, в которых существует неоднородное распределение показателя преломления вдоль различных направлений.

Целью данной работы является измерения распределения поляризации в кристалле.

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Ознакомление с теоретической частью вопроса.
2. Получение коноскопической картины.
3. Определить постоянную вращения.

Результаты исследования:

Оптическая гиротропия - совокупность оптических свойств среды, имеющей, по крайней мере, одно направление, не эквивалентное обратному, связанных с проявлением эффектов пространств.

Для прозрачных немагнитных сред и плоских монохроматических можно записать уравнение:

$$D = \epsilon E + [g \nabla, E] = \epsilon E + i[gk, E],$$

где g - псевдотензор гирации 2-го ранга, k - волновой вектор.

Такой вид уравнений означает, что ответ среды - индукция D - на внешнее возмущение - поле E - зависит не только от поля в рассматриваемой точке, но и от поля в некоторой окрестности радиуса a , т. е. учитывается нелокальность связей между векторами поля.

Для возникновения гиротропии необходимо:

1) заметное изменение фазы световой волны на характеристическом расстоянии, а молекулярного взаимодействия, создающего пространственную дисперсию (параметром, а могут быть: размеры молекул, межмолекулярные расстояния, постоянная кристаллическая решётки, длина свободного пробега электронов, экситонов и т. д.);

2) наличие в рассматриваемом объекте диссимметрии (хиральности) - прежде всего отсутствие центра симметрии. Гиротропия может быть как естественной, так и индуцированной.

Световой луч, падающий на прозрачную гиротропную среду, испытывает в ней эллиптическое двойное лучепреломление: с разной скоростью и по разным направлениям в ней распространяются две волны, поляризованные эллиптически. Оси эллипсов взаимно перпендикулярны, однако векторы индукции в них не точно ортогональны. В общем случае двуосного кристалла при падении на него линейно поляризованного света в нём имеет место эллиптическое двупреломление.

В одноосных кристаллах линейно поляризованный луч, идущий вдоль оптической оси, испытывает вращение плоскости поляризации вследствие разницы скоростей волн с правой и левой поляризации. В других направлениях имеет место эллиптическое двупреломление, как и в двуосных кристаллах.

Световой пучок можно представить в виде набора плоских волн, распространяющихся под различными углами к оси преимущественного распространения пучка. В кристалле такие волны разбиваются на две волны - обыкновенную и необыкновенную, имеющие различные фазовые скорости распространения. В результате каждый луч, характеризующий нормалью исходной плоской волны, приобретает свое значение состояния поляризации, в общем случае эллиптическую поляризацию.

Для увеличения точности измерений положение сингулярностей было определено тремя различными способами - по распределению интенсивности, по распределению состояний поляризации (по параметрам Стокса) и по интерференционной картине. Соответственно, экспериментальная установка включала в себя три узла позволяющих одновременно производить независимые измерения.

На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки для наблюдения коноскопической картины вдоль оптической оси одноосного кристалла кварца.

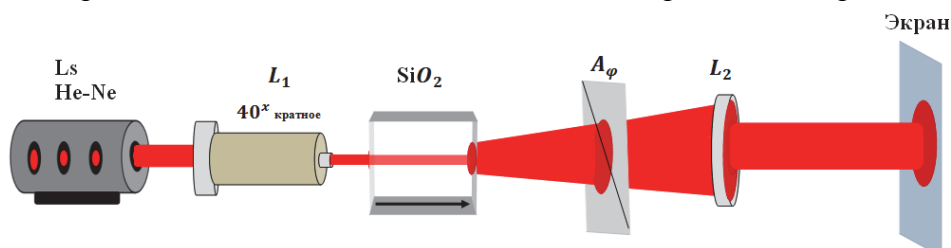


Рис.1. Схема экспериментальной установки для наблюдения коноскопической картины вдоль оптической оси одноосного кристалла кварца

Интерференционную картину наблюдаем в фокальной плоскости линзы L_2 на экране, после анализатора. Интерференционная картина обладает аксиальной симметрией и имеет вид концентрических светлых и темных окружностей. Светлые будут соответствовать выходу и пластинки волн, поляризованных так, что они создают результирующие колебания с поляризацией, совпадающей с главным направлением анализатора. А минимумы соответствуют волнам, результирующий вектор которых перпендикулярен плоскости анализатора. Такая картина называется коноскопической.

На рисунке 2 представлена коноскопическая картина одноосного кристалла $LiNeO_3$ вдоль оптической оси.

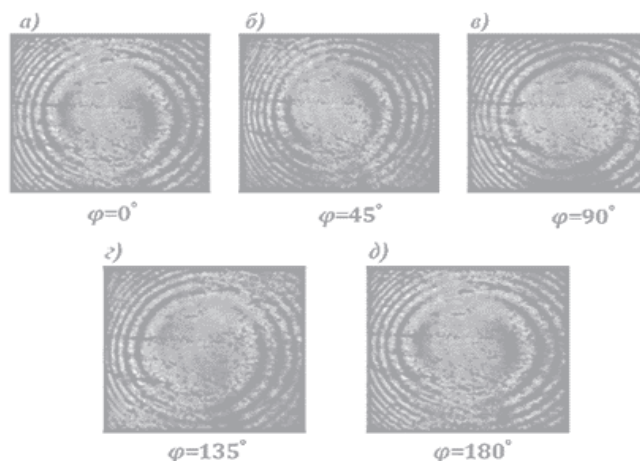


Рис. 2. Экспериментальные данные, демонстрирующие вид коноскопических картин одноосного кристалла кварца под разными ориентациями анализатора относительно лабораторных осей.



Рис. 3. Коноскопическая картина одноосного кристалла $LiNeO_3$ вдоль оптической оси

Как видно из фотографий, в центре коноскопической картины наблюдается 2 диполя, эта картина характерна для одноосных кристаллов. Данные сингулярности формируются при прохождении циркулярно поляризованного света внутри самого кристалла, эти диполи рассмотрены в кристалле $LiNeO_3$ и представлены на рисунке 1.3.

Заключение: Получена коноскопическая картина кристалла кварца при распространении циркулярно поляризованного пучка. В центре коноскопической картины наблюдалось 2 диполя, «вытянутые» вдоль гиротропной линии, и определена постоянная вращения для кристалла SiO_2 . На длине волны $\lambda=0,6328$ мкм, постоянная вращения составила $\alpha=15,8$ град/мм.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕМУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ПО ДЛИНАМ ВОЛН, УПЛОТНЕННОГО ПУЧКАМИ ЛАГГЕРА-ГАУССА, ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ МАЛОМОДОВОГО ВОЛОКНА

Халилов С.И.¹, Ибрагимов А.Э.², Ильясова А.А.³

¹ студент кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

² студент кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

³ студентка кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.ф.-м. наук, доцент Рыбась А.Ф.

server.khalilov.94@mail.ru

Введение. Скорость передачи данных в оптических системах связи приближается к пределам традиционных методов мультиплексирования. Орбитальный угловой момент (ОУМ) в оптических вихревых пучках, который не зависит от длины волны и поляризации, дают новую степень свободы в увеличении на порядок количества каналов и обеспечивает новый уровень защиты информации в волокне. Мы экспериментально продемонстрировали новый метод идентификации входного вихревого пучка после прохождения волокна и увеличили количество каналов в волокне в 8 раз, используя только 2 длины волны, 2 состояния поляризации и 2 значения ОУМ вихревого пучка (± 1).

Целью исследования явилось экспериментальное исследование процесса демультиплексирования суперпозиции циркулярно-поляризационных оптических вихрей с $l=\pm 1$ на двух длинах волн.

Методом исследования процесса демультиплексирования явилось получение карт распределения поляризации и интерференции для волокна, после разделения по длинам волн.

Исследование проводилось на экспериментальной установке, представленной на Рис.1.

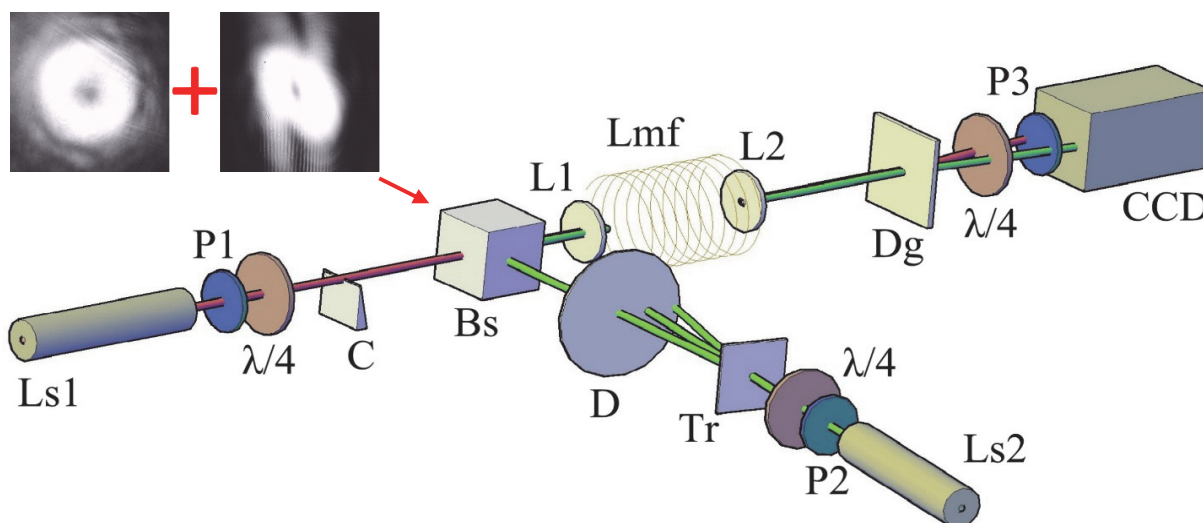


Рис.1. Схема экспериментальной установки: (Ls) лазер ($\lambda_1=0.6328$ мкм. и $\lambda_2=0.51$ мкм.), (P) поляризатор, ($\lambda/4$) четвертьволновая пластина, (C) диэлектрический клин, (Tr) фазовая решетка, (D) диафрагма (Bs) делительный кубик, (L) 8x микрообъектив, (Lmf) маломодовое оптическое волокно, (Dg) дифракционная решетка, (CCD) камера.

Пучки света, излучаемые источниками света (Ls1) и (Ls2) имеющие ортогональные поляризационные компоненты $\sigma_1=-1$ и $\sigma_2=+1$, с помощью диэлектрического клина (C) и фазового транспаранта (Tr) генерируют топологические заряды $l_1=-1$ и $l_2=+1$, соответственно. Далее полученные два вихревых пучка собираем на делительном кубике

(Bs) и с помощью линзы (L1) соосно проецируем в торец маломодового оптического волокна (Lmf).

В эксперименте использовалось изотропное волокно, с градиентным показателем преломления, имеющий круглую сердцевину и оболочку, с радиусами $r_1=3.46$ мкм. и $r_2=57.5$ мкм., соответственно. Волноводный параметр, для источника света с длиной волны λ_1 составил 3.8, а для излучения $\lambda_2=0.51$, таким образом в волокне реализуется 12 мод для двух длин волн. Длина волокна составила 1.5 м., где 1.1 м. волокна было скручено на кварцевую трубку с диаметром 0.01 м. При такой навивки, в волокне создается наведенная анизотропия, которая приводит к тому что, не вихревые моды высвечиваются, а HE_{11} мода смещается к оболочке, при этом вдоль оси распространяются вихревые моды.

После прохождения волокна пучок, попадая на дифракционную решетку (Dg), являющейся демультиплексором, разделяется на два пучка с различными длинами волн (λ_1 и λ_2) и результат фиксирует CCD камера Рис.2.

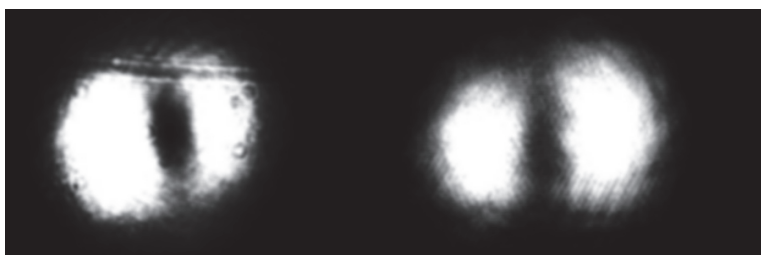


Рис.2. Распределение интенсивности поля волокна после разделения по длинам волн (слева, поле волокна излучающий лазером Ls2, справа Ls1.)

Как видно из интерферограммы Рис.3. (б) и (г), знак поля волокна после разделения по длинам волн, соответствует знаку пучка на входе в волокно.

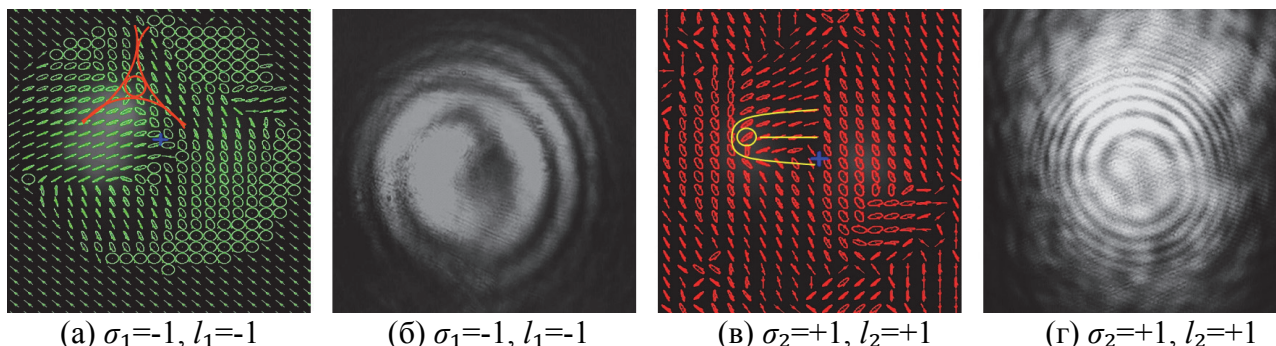


Рис.3. (а), (в) - карты распределения поляризации поля волокна; интерференционные картины поля волокна с Гауссовым пучком представлены на рис. (б), (г).

Для того чтобы определить остальные виды уплотнения, необходимо было проанализировать тонкую структуру каждого из пучков. Для этого, излучение пропусклось через Стокс-поляриметр и далее с помощью дифференциального поляриметра строились карты распределения поляризации Рис.3. (а) и (в). Как было замечено, поляризационная сингулярность типа «звезда» присутствует у входного пучка с топологическим зарядом $l=-1$, сингулярность типа «лимон» у входного пучка с топологическим зарядом $l=+1$, а знак С-точек данной сингулярности, указывает на входной знак поляризации.

Выводы. Таким образом измерив поляризацию поля волокна после разделения по длинам волн, мы можем идентифицировать каждый из пучков по поляризационным сингулярностям, где тип сингулярности указывает на знак и величину заряда, а знак С-точек на входной знак поляризации.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДОВОГО СОСТАВА ПОСЛЕ ДВЕНАДЦАТИМОДОВОГО ВОЛОКНА

Ибрагимов А.Э.¹, Халилов С.И.²

¹ студент кафедры общей физики Физико-технического института

² студент кафедры общей физики Физико-технического института

научный руководитель: к.ф.-м. наук, доцент Рыбась А.Ф.

server.khalilov.94@mail.ru

Введение. При современно расчете большинства физических процессов, протекающих в оптике, широко используются компьютерное моделирование. Все численные расчеты целесообразно проводить, используя компьютер: точное решение задач дифракции, прохождение гауссовых пучков через различные оптические системы, точный расчет процессов возбуждения, распространения и излучения света из оптических волокон.

Целью работы явилось разработать программу на языке программирования C#, моделирующую основные моды и их модовые комбинации, полученные после прохождения изотропного двенадцатимодового волокна с градиентным профилем показателя преломления.

Теоретическое описание построение (а) интенсивности и (б) поляризационной картины для LP_{11} моды.

(а) Поле LP_{11} модовой комбинации получается при сложении HE_{21} и TM_{01} или TE_{01} мод. Четная x -поляризованная на входе LP_{11} мода имеет следующий вид:

$$E_x = F_1(R) \cos \varphi \cos(\delta\beta_{21}z) \exp(i\tilde{\beta}z) \quad E_y = iF_1(R) \sin \varphi \sin(\delta\beta_{21}z) \exp(i\tilde{\beta}z) \quad (1)$$

где $\delta\beta_{21}$ -полуразность постоянных распространения HE_{21} и TM_{01} , $\tilde{\beta}$ -полусумма постоянных распространения HE_{21} и TM_{01} мод, для упрощения описания радиальной функции воспользовались приближением параболического профиля показателя преломления, тогда

$$F_1(R) = R^l \exp\left(-\frac{VR^2}{2}\right), \quad R = r / \rho, \quad \tilde{\beta} = kn_{co} \left\{ 1 - \frac{4\Delta}{V} (2 + l - 1) \right\}, m=1, \quad l=1. \quad \text{Распределение}$$

интенсивности в случае векторного поля равно нулевому параметру Стокса: $I \equiv S_0 = |E_x|^2 + |E_y|^2$. Поскольку в основных объектно-ориентированных языках программирования нет полной поддержки комплексных чисел, то поля удобно разбить на действительную и мнимую части. Для поля LP_{11} моды: $E_{xr} = F_1(R) \cos \varphi \cos(\delta\beta_{21}z)$, $E_{xi} = 0$, $E_{yr} = 0$, $E_{yi} = F_1(R) \sin \varphi \sin(\delta\beta_{21}z)$. Тогда интенсивность можно представить в виде: $I = S_0 = |E_x|^2 + |E_y|^2 = E_{xr}^2 + E_{xi}^2 + E_{yr}^2 + E_{yi}^2$;

(б) Согласно формуле (1), поле LP_{11} модовой комбинации в каждой точке поперечного сечения в волокне полностью поляризовано. В общем случае в произвольной точке поле имеет эллиптическую поляризацию. Как известно, поляризация характеризуется следующими параметрами: интенсивностью I , степенью эллиптичностью Q и углом наклона ψ , большей полуоси к оси x лабораторной системы координат. Степень эллиптичности определяется как $Q = \pm b/a$, где знак «+» берется, если электрический вектор вращается по часовой стрелке в плоскости наблюдения (свет движется на нас). Данные параметры однозначно определяются параметрами Стокса:

$$I = S_0, \quad \psi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{S_2}{S_1}\right), \quad Q = \tan\left(\frac{1}{2} \arcsin\left(\frac{S_3}{S_0}\right)\right), \quad (1)$$

$$S_0 = |E_x|^2 + |E_y|^2 = E_{xr}^2 + E_{xi}^2 + E_{yr}^2 + E_{yi}^2, \quad (2)$$

$$S_1 = |E_x|^2 - |E_y|^2 = E_{xr}^2 + E_{xi}^2 - E_{yr}^2 - E_{yi}^2, \quad (3)$$

$$S_2 = E_x^* E_y + E_x E_y^* = 2(E_{xr} E_{yr} + E_{xi} E_{yi}), \quad (4)$$

$$S_3 = i(E_x^* E_y - E_x E_y^*) = 2(E_{xr} E_{yi} - E_{xi} E_{yr}). \quad (5)$$

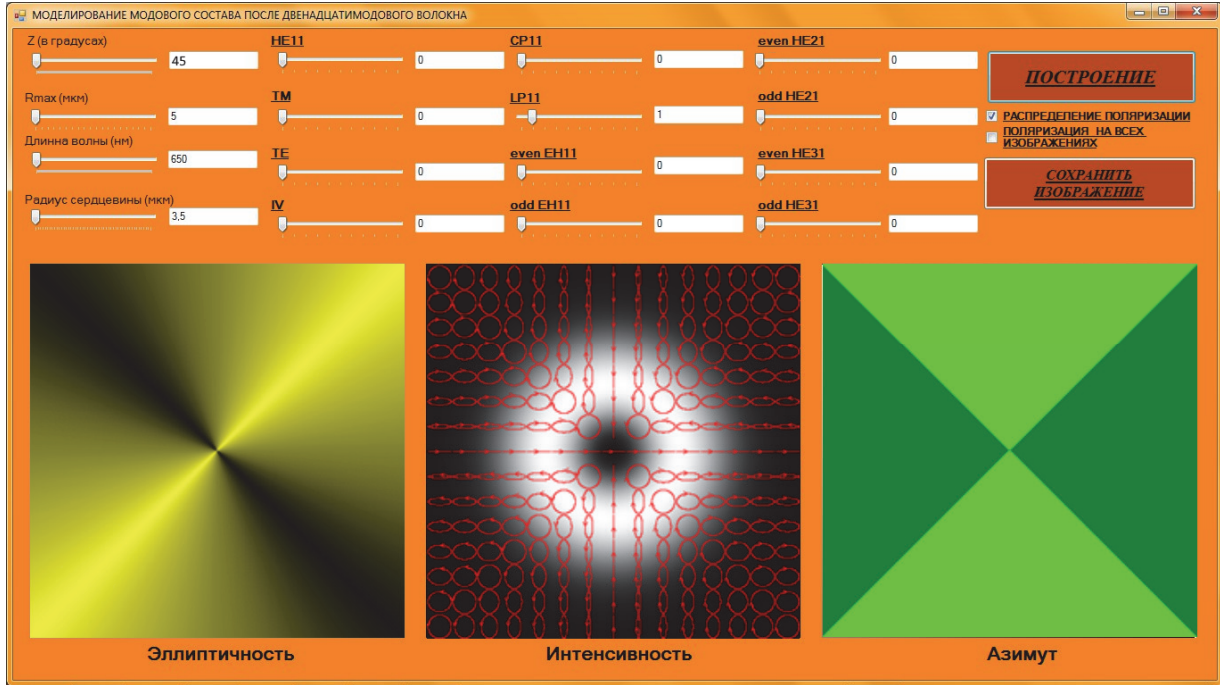


Рис.1. Вид выполненной программы, с построенной LP_{11} моды.

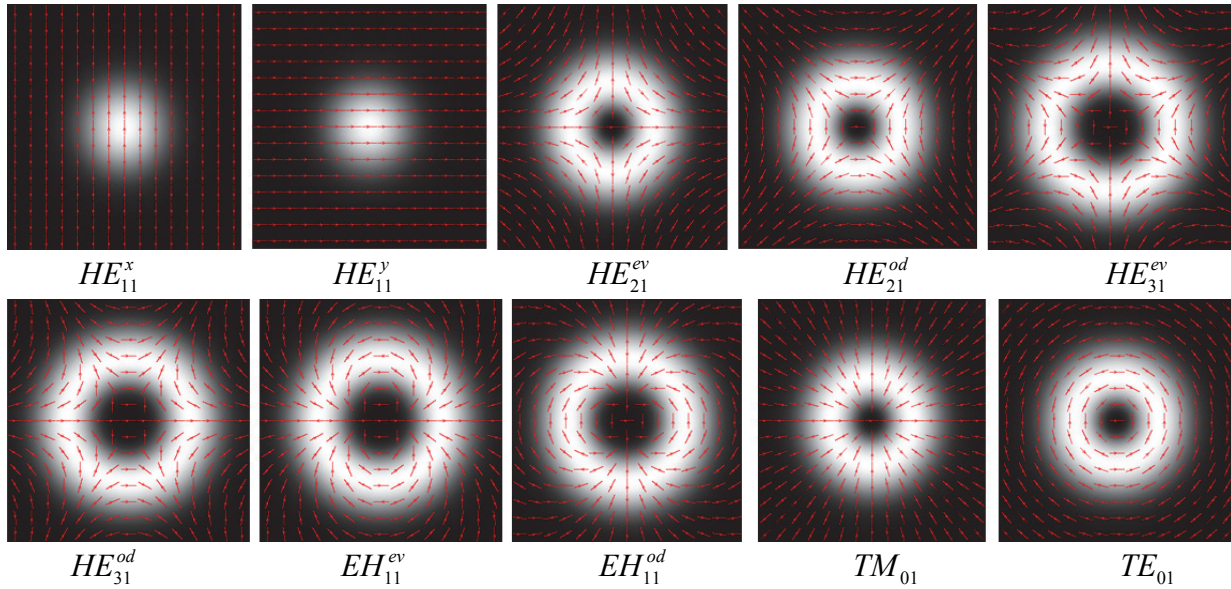


Рис.2. Собственные моды волокна для $V=3.8$.

Вывод. В результате выполненной работы была написана программа, позволяющая моделировать модовый состав двенадцатимодового изотропного волокна Рис.2., а также их комбинации. Программа позволяет строить распределение поляризации, эллиптичность и азимут Рис.1. Полученные модели позволяют определять модовый состав излучения, полученный в ходе эксперимента.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ В МАЛОМОДОВОЕ ВОЛОКНО

Ильясова А.А.¹, Халилов С.И.²

¹ студентка кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

² студент кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Рыбась А.Ф.

arife-ilyasova@mail.ru

Введение. Передача информации в волокне с помощью оптических вихрей является одной из наиболее перспективных технологий увеличения скорости передачи данных. Как известно, существует несколько способов увеличения пропускной способности систем по оптическим линиям связи. Технологии мультиплексирования и демultipлексирования сигналов в оптическом волокне позволяют увеличить пропускную способность оптических волокон. Ранее в данных методах использовались стандартные, Гауссовы пучки. Объектом же нашего исследования являются пучки Лагерра-Гаусса. Такие параметры пучков Лагерра-Гаусса как: длина волны излучения, тип поляризации и орбитальный угловой момент пучка позволяют нам более полно исследовать процесс сложения сигналов в оптическом волокне.

Цель работы: экспериментально исследовать процесс мультиплексирования сложного сигнала, подаваемого пучками с различными типами поляризации и различными топологическими зарядами.

Результаты и обсуждение. Как было уже ранее показано, что в дальнейшем после дифракции фундаментального гауссова пучка на краю диэлектрического клина формируется цепочка оптических вихрей. Физический механизм рождения оптического вихря при дифракции довольно простой. Необходимо, чтобы гауссов пучок падал на поверхность прозрачного диэлектрического клина таким образом, что одна его половина проходит по свободному пространству, а другая через клин. Пучки Лагерра - Гаусса распространяющиеся в волокне, обладают спин-орбитальным взаимодействием, благодаря которому имеют разные постоянные распространения, это существенно позволяет увеличить количество каналов для передачи информации в волокне.

Таким образом, принцип экспериментального исследования заключается в том, что после разделения линейно поляризованного сигнала на два, имеющих различное состояние поляризации и различный знак топологического заряда, мультиплексировать сигнал. И на выходе волокна, проанализировав суперпозицию пучков по модовому составу, мы уже можем различить входной сигнал.

Разделение пучков по орбитальным угловым моментам (по топологическим зарядам оптических вихрей) осуществляется интерферометрическими методами. Идентификация пучков по состоянию поля, возможна при измерении состояний поляризации с помощью поляризационных фильтров. Основная проблема заключается в том, что в волокне из-за спин-орбитального взаимодействия угловых моментов пучков, состояние топологических зарядов оптических вихрей и состояние поляризации пучков, смешиваются. Для решения этой проблемы использовали Стокс-поляриметр.

Для того что бы определить какие поляризационные процессы протекают в волокне мы воспользовались Стокс – поляриметром, который позволил измерить распределение поляризации, которое соответствует каждому пикселю изображения и вывести соответствующую поляризационную карту на экран монитора. Расчет параметров Стокса осуществлялся по следующим формулам:

$$\begin{aligned} S_0 &= I_r + I_l & S_1 &= 2I_x - S_0 \\ S_2 &= 2I_\pi - S_0 & S_3 &= I_r - I_l, \end{aligned} \quad (1)$$

где I_r и I_l являются интенсивностями правоциркулярной и левоциркулярной компонент светового потока. В поляризационном фильтре поляризатор и четвертьволновая пластинка выстраивались таким образом, чтобы пропускать только определенные компоненты поляризации. Все полученные изображения фиксировались и обрабатывались на программе Дифференциальный Поляриметр. На рисунке показаны несколько комбинаций для мультиплексированного сигнала в маломодовое волокно.

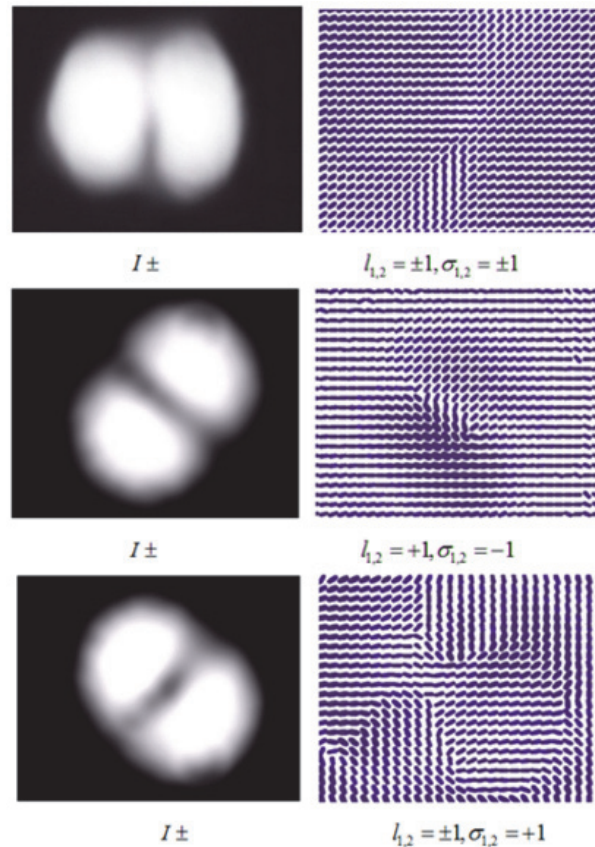


Рис. 1. Распределение интенсивности и карта распределения состояний поляризации сложного сигнала на выходе маломодового волокна.

Первое распределение интенсивности и поляризации для пучков с длиной волны $\lambda=0.63$ мкм, топологическими зарядами $l_1 = 1$ и $l_2 = -1$ соответствует ортогональным $\sigma_1 = -1$, $\sigma_2 = +1$ циркулярным поляризациям. Второе распределение интенсивности и поляризации соответствует пучкам с одинаковым топологическим зарядом $l_1 = l_2 = +1$ и левоциркулярной $\sigma_{1,2} = -1$ поляризацией. Третье распределение интенсивности и поляризации пучков с топологическими зарядами $l_1 = -1$ и $l_2 = +1$ и правоциркулярными $\sigma_{1,2} = +1$ поляризациями.

Вывод. Экспериментально продемонстрирована возможность мультиплексирования сложного сигнала, несущего оптические вихри в оптическом маломодовом волокне, создаваемого пучками с различным топологическим зарядом и различной поляризацией. Обнаружено, что топологический индекс С-точек, соответствует заряду исходных пучков.

Зная поляризационную картину после волокна, мы можем анализировать модовый состав поля излучения и состав сигнала на входе в волокно. Тем самым проанализировав суперпозицию пучков по модовому составу, возможно различить входной сигнал, проведя его окончательное демультиплексирование.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ ДЛЯ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА, ЛЕЖАЩЕГО В ПЛОСКОСТИ ПАДЕНИЯ ПУЧКА

Исмаилов И.А.¹

¹ студент Физико-технического института кафедры общей физики
научный руководитель: к.ф.-м. наук, доцент Лапаева С. Н.

Введение: в работе рассматривается вопрос отражения и преломления света на границе двух сред в рамках электромагнитной теории света. К решению поставленной задачи (как и большинства физических задач) возможны два разных подхода. Можно детально рассмотреть воздействие световой волны на электрические заряды атомов среды (электроны, ионы), а можно подойти к решению данной задачи по другому пути: решения опирается на феноменологическую электродинамику: т.е. на систему уравнений Максвелла и на вытекающие на них граничные условия для электромагнитного поля. Свойства среды при этом задаются показателем преломления или диэлектрической проницаемостью.

В данном случае для поставленной цели будет использоваться феноменологический метод, поскольку он позволяет просто теоретически вывести законы отражения и преломления световых волн.

Цель: изучить коэффициенты отражения и преломления на границе раздела воздух-флинтглас для лазерного излучения $\lambda = 0,63$ мкм.

Задача: сравнить теоретические и экспериментальные данные коэффициентов отражения и преломления и проанализировать их.

Результаты исследований: для поставленной цели и задач была собрана следующая установка (рис.1). Лазер с $\lambda = 0,63$ мкм, направляется на флинтглас с шагом 5° , от 0° до 85° . Лазерный луч попадая на флинтглас преломляется и отражается. С помощью фотоприёмников мы снимаем интенсивности преломлённого и отражённого лучей микроамперметрами. Далее, зная связь интенсивности I и вектора $\vec{E}$ ($I \sim \vec{E}^2$) и используя формулы Френеля (1), экспериментально построили для коэффициента отражения $R_{\parallel}$, $R_{\perp}$ и преломления $T_{\parallel}$, $T_{\perp}$ график зависимости $R(\alpha)$ и $T(\alpha)$ соответственно (рис. 2).

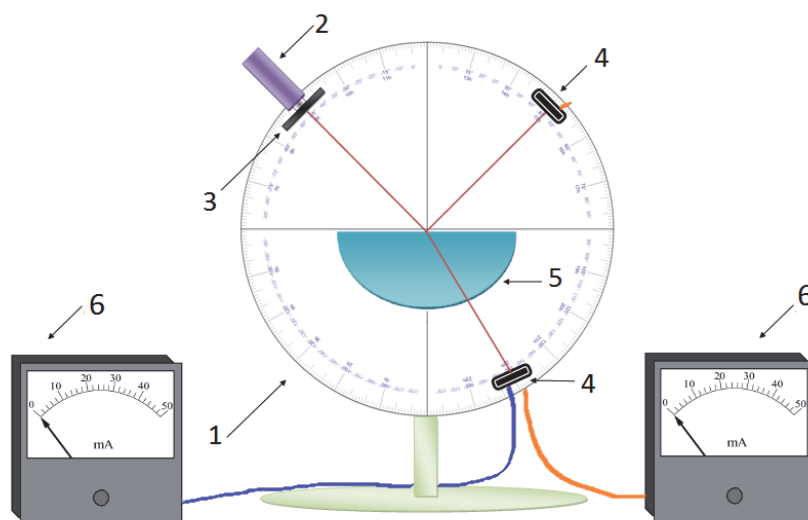


Рис.1. Схема экспериментальной установки: (1) лимб, (2) лазер, (3) поляризатор, (4) фотоприёмники, (5) призма из флинтгласа и (6) микроамперметры.

$$r_{\parallel} = \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}(\varphi + \psi)}$$

$$r_{\perp} = -\frac{\sin(\varphi - \psi)}{\sin(\varphi + \psi)}$$

$$t_{\parallel} = \frac{2 \sin \psi \cos \varphi}{\sin(\varphi + \psi) \cos(\varphi - \psi)}$$

$$t_{\perp} = \frac{2 \sin \psi \cos \varphi}{\sin(\varphi + \psi)}$$
(1)

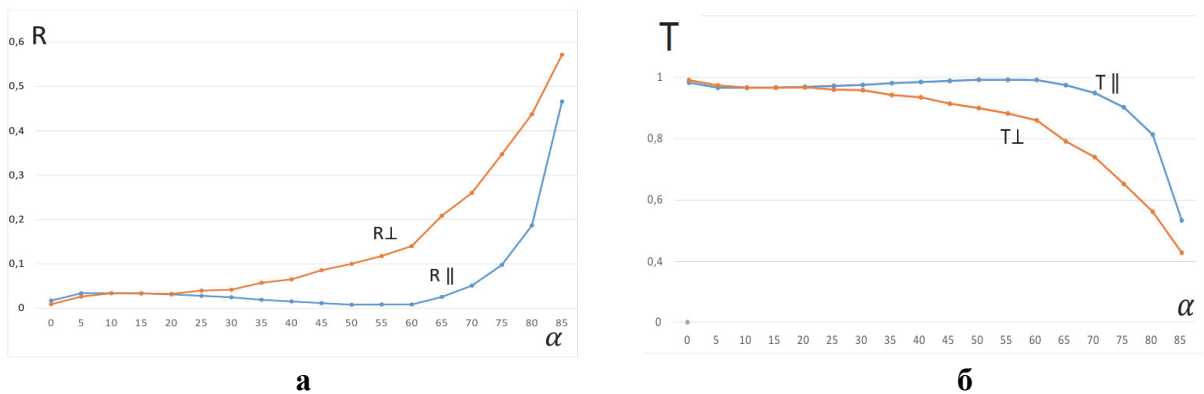


Рис. 2. График зависимости нормированной интенсивности отражённого (а) и преломлённого (б) света от угла падения

Сравнив их с теоретическими данными (рис. 3), стало видно, что они эквиваленты, утверждающее, что теоретическое исследование определения коэффициентов отражения и преломления справедливы.

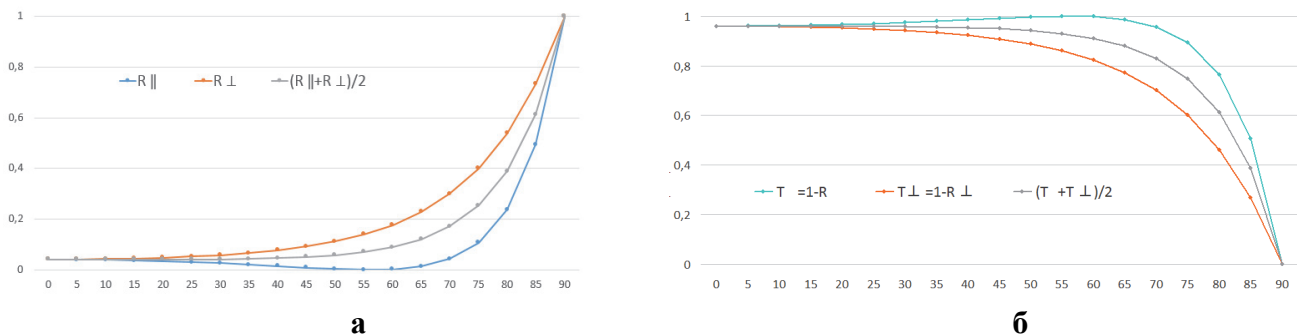


Рис. 3. График зависимости нормированной интенсивности отражённого (а) и преломлённого (б) света от угла падения (теоретический расчёт)

Вывод: сравнение графиков экспериментальной и теоретической зависимостей коэффициента отражения от угла наклона, и отдельно сравнивая графиков экспериментальной и теоретической зависимостей коэффициента преломления от угла наклона, показало, что они совпадают, с точностью до ошибки эксперимента.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ «ОПТИЧЕСКОГО КВАРКА» В МАЛОМОДОВОМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

Ковалева А.О.

аспирант кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Рыбась А.Ф.

kurioza.9@gmail.com

Введение. Как известно, сингулярные пучки с дробными топологическими зарядами, носят название «оптических кварков», впервые этот термин был введен в работе А. В. Воляра «Do optical quarks exist in free space: scalar treatment?». На практике сингулярные пучки применяются в таких областях как генетика, медицина, биология, коммуникации, криптография. В работе И.В. Басистого и др. «Synthesis and analysis of optical vortices with fractional topological charges» было показано, что дислокации волнового фронта таких пучков, являются структурно нестабильными при распространении в свободном пространстве на большие расстояния, что обусловлено ломаной осевой симметрией пучка. Дальнейшие исследования «оптических кварков» показали, что восстановление этих пучков при распространении на большие расстояния, может быть обусловлено двулучепреломляющими свойствами среды распространения, а векторное поле пучка должно быть циркулярно-поляризованным.

Целью работы является анализ поляризационной структуры циркулярно-поляризованного пучка переносящего «оптический кварк» с топологическим зарядом $q = \frac{1}{2}$ распространяющегося в маломодовом оптическом волокне.

К методам экспериментального исследования, поляризационной структуры сингулярного пучка с дробным топологическим зарядом, распространяющегося в оптическом маломодовом волокне, относятся: - измерение поляризованных компонентов интенсивности такого пучка; - построение карт распределения поляризации.

Исследование проводилось на экспериментальной установке, представленной на Рис.1

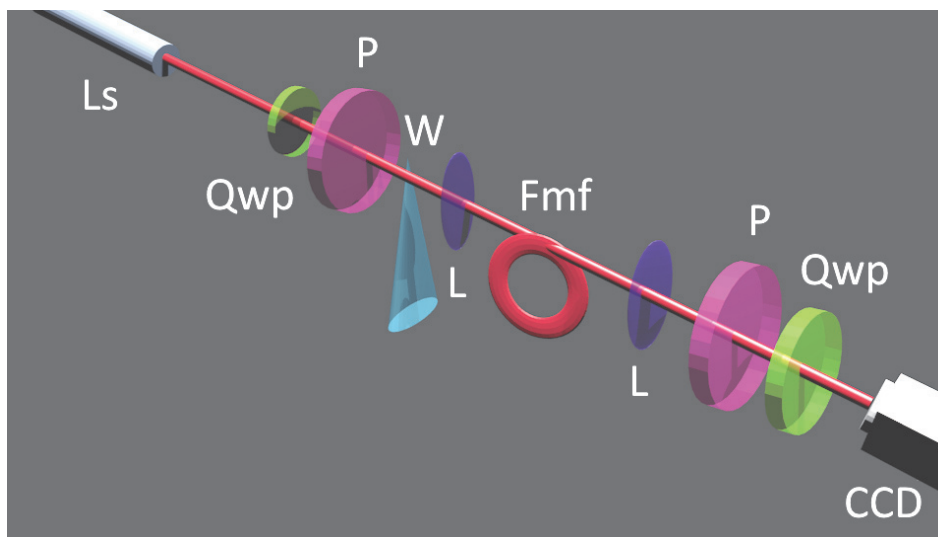


Рис.1 Схема экспериментальной установки: (Ls) лазер, (P) поляризатор, (Qwp) четвертьволновая пластина, (W) диэлектрический клин, (L) линза, (Fmf) маломодовое оптическое волокно, (CCD) камера.

Экспериментальная установка собрана таким образом, что циркулярно-поляризованный гауссов пучок, проходя через диэлектрический клин, преобразуется в оптический вихрь с дробным топологическим зарядом $q = \frac{1}{2}$ - «оптический кварк». Далее

свет проходит через маломодовое оптическое волокно. Поляризованные компоненты интенсивности измеряются при помощи поляризационного фильтра, состоящего из четверть волновой пластины и поляризатора. Данные регистрируются камерой и передаются на персональный компьютер.

В ходе экспериментального исследования, получены картины распределения интенсивности поляризованных компонентов циркулярно-поляризованного пучка, переносящего оптический вихрь с дробным топологическим зарядом равным $q = \frac{1}{2}$, в маломодовом оптическом волокне, Рис.2.

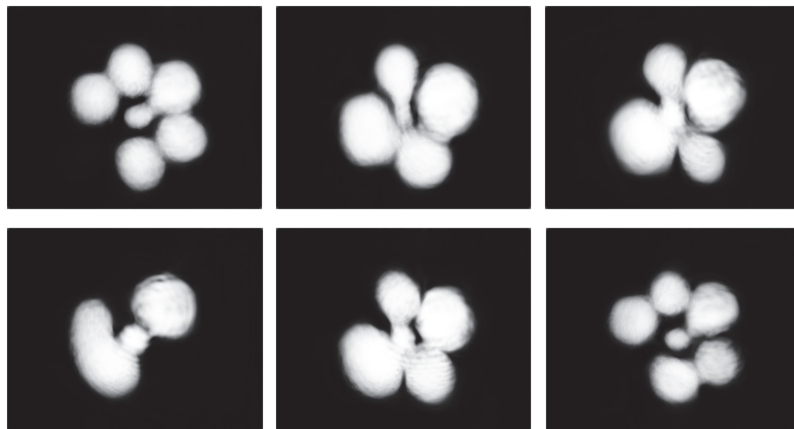


Рис.2. Интенсивность поляризованных компонентов циркулярно-поляризованного пучка, переносящего оптический вихрь с дробным топологическим зарядом равным $q = \frac{1}{2}$, в маломодовом оптическом волокне

На Рис.3. представлены карты распределения поляризации «оптического кварка» распространяющегося в маломодовом оптическом волокне.

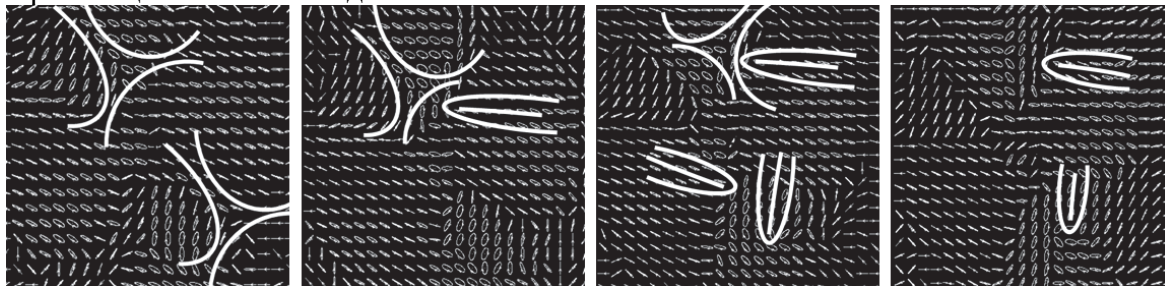


Рис.3. Карты распределения поляризации «оптического кварка» распространяющегося в маломодовом оптическом волокне.

Выводы. В результате экспериментального исследования поведения «оптического кварка», распространяющегося в маломодовом оптическом волокне, получены картины распределения интенсивности поляризованных компонентов. Построены карты распределения поляризации циркулярно-поляризованного пучка, переносящего оптический вихрь с дробным топологическим зарядом $q = \frac{1}{2}$, в маломодовом оптическом волокне. Показано, что структура «оптического кварка» неустойчива, при не осевом возбуждении маломодового оптического волокна.

МАССИВЫ ВЕКТОРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ

Шостка Н.В.

к. физ.-мат. наук, ведущий аналитик департамента научно-исследовательской деятельности КФУ имени В.И. Вернадского

nataliya_shostka@mail.ru

Введение. Представляемая работа посвящена исследованиям в области сингулярной оптики, изучающей поведение оптических пучков, имеющих фазовые и поляризационные сингулярности. Лазерные пучки стали незаменимым инструментом для контролируемого перемещения микроскопических объектов в биологии, физической химии и физике конденсированного состояния. В частности, можно получить "полые" лазерные пучки с минимумом интенсивности на оси по всей длине пучка, и за счет такого распределения интенсивности, похожего на «оптический трубопровод» осуществить, например, дистанционный отбор проб частиц, взвешенных в газовой среде. Помимо фазовой структуры света важную роль играют его поляризационные свойства, например, в процессах взаимодействия с веществом. Так, в настоящее время особый интерес вызывают сингулярные пучки с пространственной вариацией поляризации по сечению пучка. Простейшим примером таких пучков являются радиально и азимутально поляризованные пучки. В последнее время был представлен ряд исследований, посвященных генерации азимутально и радиально поляризованных пучков, в связи с потенциальной возможностью широкого их применения в микроскопии, лазерной литографии, хранении данных и в устройствах захвата. Для вышеперечисленных практических приложений необходимо уменьшение размера фокального пятна.

Было показано, что радиально-поляризованные пучки формируют узкое световое пятно за счет мощной продольной компоненты электрического поля, в то время как азимутально-поляризованные пучки позволяют получить световое кольцо минимального диаметра в связи с полным отсутствием продольной составляющей. С другой стороны, всего два года назад группе австралийских ученых удалось продемонстрировать стабильный перенос полых стеклянных шариков с золотым покрытием микронного размера в направлении, противоположном направлению потока энергии, неоднородно поляризованными (радиально и азимутально поляризованными) лазерными пучками на несколько десятков сантиметров. Кроме того, было показано, что изменяя поляризацию пучка, возможно либо остановить захваченный объект, либо полностью изменить направление его движения на противоположное. Тем не менее, для многих прикладных задач захвата и манипулирования микрочастицами используются не только единичные оптические ловушки, но и их трехмерные массивы. Такие массивы имеют потенциальное применение для выстраивания микрооптомеханических систем, сортировки биологических клеток, а также в биоинженерии, к примеру для контроля организации клеток при выращивании органов и тканей.

Целью данной работы является изучение особенностей формирования массива векторных пучков одноосным кристаллом при совпадении оси симметрии массива пучков с оптической осью кристалла.

Предпосылки для практической генерации вышеописанных пучков заключаются в следующем. В работе (*V.G. Shvedov. Generation of vector bottle beams with a uniaxial crystal / V.G. Shvedov, C. Hnatovsky, N. Shostka, Wieslaw Krolikowski // JOSA B. – 2013. – Vol.30, Iss.1. – P.1-6.*) было показано, что в однородной изотропной среде единичный циркулярно-поляризованный оптический вихрь с противоположными знаками топологического заряда l и поляризации σ (т.е. $l = \pm 1; \sigma = \mp 1$) представляет собой чистую суперпозицию радиально и азимутально поляризованных пучков. Уникальным является то, что являясь собственными

обыкновенной и необыкновенной волнами при распространении единичного оптического вихря вдоль оси симметрии одноосного кристалла, такие пучки не будут испытывать каких-либо структурных изменений, но при этом будут иметь различную скорость распространения, и, как следствие, разные перетяжки при их фокусировке, что непосредственно дает возможность сформировать в каждой из фокальных плоскостей после фокусирующей линзы, расположенной за выходной гранью кристалла, распределение поляризации, характерное для азимутально и радиально поляризованных пучков.

Основываясь на вышеизложенном, возникает вопрос: возможно ли сформировать массивы с необходимым распределением поляризации, соответствующим азимутально либо радиально поляризованным пучкам. В данном случае ось каждого пучка в массиве будет наклонена на небольшой угол относительно оптической оси кристалла. Как было показано в работе (Fadeeva T.A. *Spatially engineered polarization states and optical vortices in uniaxial crystals*/ V.G. Shvedov, Ya.V. Izdebskaya, A.V. Volyar, A.S. Desyatnikov, Yu. S. Kivshar, Wieslaw Krolikowski// *Optics Express*. – 2010. – V. 18. – P.10848.) наклон оси пучка относительно оси

распространения массива как целого отображается как $y_n \rightarrow y' + i\alpha z_0$, где $z_0 = \frac{k\rho^2}{2}$.

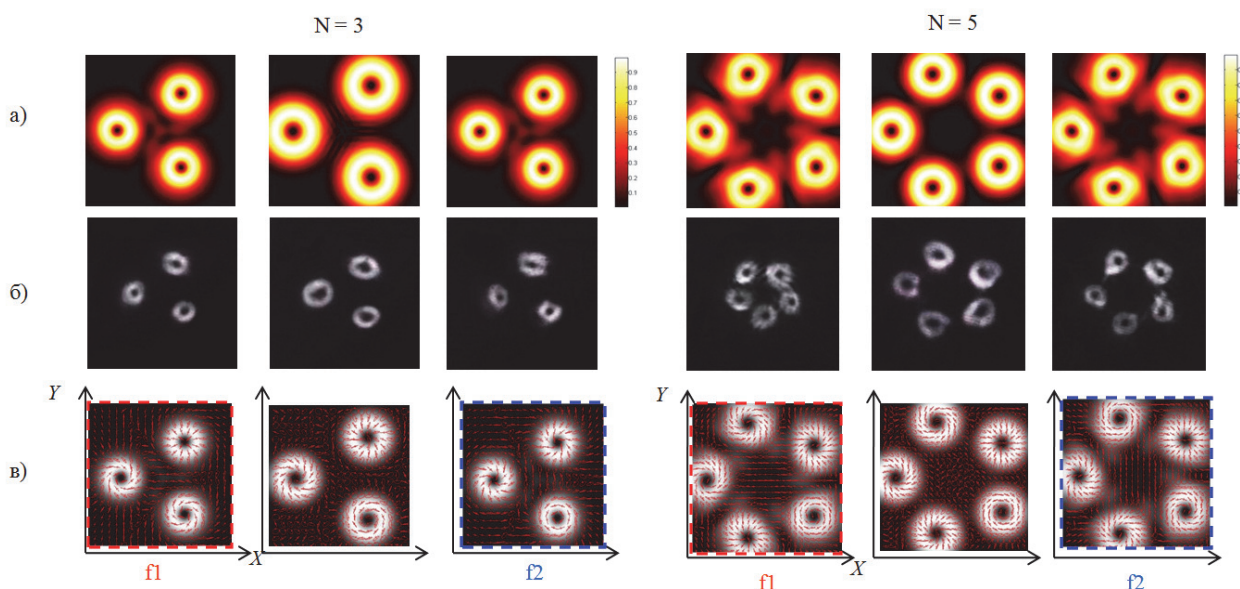


Рис. 1. Наглядное сравнение полученных теоретических (а) и практических (б) картин распределения интенсивности и поляризации (в) в перетяжках сфокусированного массива после одноосного кристалла

Анализ теоретических картин распределения поляризации, построенных с помощью написанной программы в Matlab, а также экспериментальных данных, показывает, что при фокусировке массива 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 чем с помощью дополнительных оптических элементов (либо диафрагмы либо полуволновых пластинок) возможно выделить массив пучков с необходимым распределением поляризации. Тем не менее, при увеличении количества пучков в массиве, между ними возникает деструктивная интерференция, в результате чего картины распределения поляризации теряют чистое радиальное и азимутальное распределения.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО – КОММУНИКАТИВНЫХ И МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Шостка В.И.¹, Дубинянский Ю.М.²

¹ канд. физ. – мат. наук, доцент кафедры общей физики

Физико – технического института КФУ имени В.И. Вернадского,

² канд. пед. наук, начальник отдела технического обеспечения пресс-службы

КФУ имени В.И.Вернадского, доцент кафедры общей физики

Физико – технического института

vshostka@yandex.ru

Введение.

В работе проведен анализ основных аспектов применения информационно-коммуникативных и мультимедийных средств в образовательном процессе. Рассмотрены проблемы организации самостоятельной работы студентов с учетом современных требований, а также методы эффективной организации процесса обучения физике на факультетах естественно – научного профиля.

Учитывая приоритеты развития общества, на современном этапе важным является подготовка высококвалифицированных специалистов, способных не только передавать знания в определенной области науки или производства, но и творческого типа, которые должны уметь действовать и принимать решения в нестандартных ситуациях. В связи с этим особое значение приобретают такие направления развития образовательной деятельности, как интеллектуализация образования, учет научно-технических достижений, внедрение новейших технологий, модернизация информационного, научно-методического и материально-технического обеспечения и т.п.

Применение интерактивных технологий и методов обучения позволяет развивать основы нестандартного мышления отклониться от стереотипности в мышлении и речи, повышает интерес к учебной дисциплине, развивает навыки коммуникативного общения; интеллектуальную, эмоциональную, мотивационную и другие сферы.

Целью данной работы является анализ особенностей использования информационно-коммуникативных средств и мультимедийных технологий в учебном процессе.

Изложение основного материала. Интенсивное развитие информационной базы науки и техники, расширение связей с ведущими международными и отечественными научными и образовательными учреждениями заставляют пересмотреть требования, предъявляемые к подготовке высококвалифицированных специалистов в стране. Особое значение приобретают умения сочетать профессиональные знания и с компьютерной грамотностью. Важным для профессионального образования является овладение студентами новой научной терминологией, формирование способности аргументировано высказывать собственное мнение, умение анализировать информацию, делать сравнения, обобщения и классификации фактов. Другой не менее важной проблемой и студентов и преподавателей является отбор необходимой информации в сети и оценка ее качества в рамках изучаемого предмета.

Внедрение мультимедийных и компьютерных средств в учебный процесс предоставляет преподавателю возможность создать богатый иллюстративный и справочный материал в различных формах, таких, как текст, графика, анимация, аудиовизуальная форма информации. Применение мультимедийных средств и информационно-коммуникативных технологий (ИКТ) позволяет построить такую схему обучения, в которой уместное сочетание обычных и компьютерных форм организации учебного процесса создает новое качество преподавания и усвоения системы знаний, объединяя в одну систему текст, графику, анимацию, звук и видеоизображения. Каждый из приведенных информационных компонентов имеет собственные содержательные средства и дидактические возможности, которые позволяют обеспечить оптимизацию процесса обучения. Важнейшее преимущество

ИКТ и мультимедийных средств обучения состоит в том, что студенты не только наблюдают явления или их модели, но и имеют условия осуществить их, превращая деятельность с этими объектами во время практических занятий, при исследовательских работах или при дипломного или курсового проектирования. При этом их познавательная деятельность усиливается, приобретает творческий характер. Эффективность обучения повышается в том случае, когда студенты самостоятельно строят модели явлений или процессов, а не только смотрят их в готовом виде. Формирование высококвалифицированных специалистов в современных условиях невозможно без привлечения студентов к самостоятельной работе, которая выполняет роль целенаправленной совокупности субъективных действий студентов под руководством преподавателя. Главную роль при этом в организации самостоятельной работы студентов играют именно новые информационно-коммуникативные технологии, которые не только открывают доступ к источникам информации, но и дают возможность их анализировать, приобрести навыки, необходимые для реализации новых методов обучения.

Вывод.

Применение современных ИКТ и мультимедийных средств и интерактивных методов дает возможность исключить из учебно-воспитательного процесса малоэффективные способы передачи знаний, способствует внедрению системно - деятельностного подхода и реализации личностно-ориентированного обучения студентов и готовить высококвалифицированных специалистов для народного хозяйства.

КОМПЛЕКСНОСТЬ В ИЗУЧЕНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ КАК ПРЕДМЕТ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Буряк В.В.¹, Шостка В.И.²

¹ канд. филос. наук, старший научный сотрудник отдела ноосферологии Научно-образовательного центра ноосферологии и устойчивого ноосферного развития, доцент кафедры философии, профессор кафедры ЮНЕСКО при Таврической академии ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

² канд. физ.-мат.наук, доцент кафедры общей физики Физико-технического института, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
vshostka@yandex.ru

Введение. В работе рассматривается комплексность в изучении сложных систем как предмет междисциплинарного эпистемологического анализа. Комплексные, зачастую противоречивые процессы, происходящие в обществе в современную эпоху глобализации, являются серьезной проблемой для науки. Понимание механизмов формирования сложных систем и эффективного комплексного управления ими может значительно снизить риски негативных сценариев социально – экономического развития общества. Знание при этом природы и механизмов необходимых закономерностей, основных дефиниций и детерминаций существенно повышает не только социально - экономический, но и технонаучный потенциал формирования устойчивости общества. Для того чтобы осуществить методологический переход от традиционной парадигмы редукционного мышления и соответствующего типа действий к эпистемологическому методу системного мышления, необходимо придерживаться конкретной познавательной методики. Несмотря на существование различных методологических подходов в изучении сложных систем и процессов, происходящих в них, очевидно и наличие эпистемологических инвариантов, которые способны реализовать процесс интеграции знаний в условиях возрастающего тренда междисциплинарности. Необходимо отметить, что междисциплинарный подход с целью

получения объективного знания применяется в настоящее время в современной физике, в нано-, био-технологиях, медицине и других отраслях знаний.

Основная часть. Актуальность темы исследования параметров и сущностных характеристик междисциплинарности обусловлена массовым появлением новых научных дисциплин, в связи, с чем возникает интерес к методологической интеграции. Наличие разнонаправленных методологических стратегий при изучении комплексных систем, собственно говоря, инициирует формирование междисциплинарных исследований.

Целью данного исследования в поле междисциплинарности является открытие новых закономерностей в области природы, общества и культуры. Для этого необходимо аргументированное рациональное доказательство, которое базируется на интеграции различных методологических подходов, поскольку комплексные объекты нуждаются в анализе когнитивного потенциала познавательных инструментов для результативного изучения сложных объектов и систем.

Задачи исследования состоят в точном описании и презентации эмпирически достоверной фактографии, которая ревалентна конкретной эпистемологической ситуации, когда используются несколько взаимодополнительных познавательных подходов. В связи с увеличением познавательной проблематики, выходящей за пределы академической компетенции отдельных научных дисциплин, трансдисциплинарность рассматривается как предельно широкий методологический фрейм, который включает в себя: мультидисциплинарность, кросс-дисциплинарность, трансдисциплинарность и интердисциплинарность. Эпистемологическая суть междисциплинарности заключается в возможности использования всех наличных методологических подходов для эффективного решения познавательных проблем, в том случае, когда обнаружение объективной истины относительно вещей, явлений и процессов требует интеграции когнитивной рациональной деятельности представителей двух и более академических дисциплин. Комплексные педагогические программы указывают на некую общую междисциплинарную цель, достижимую благодаря получению соответствующих компетенций и приобретением профессиональных знаний, необходимых для осуществления конкретных специализированных практик, востребованных в исторически локализованном сообществе.

Выводы. В результате проведенного исследования:

- представлены ключевые моменты становления анализа комплексных объектов и систем;
- определены методологические стратегии в рамках общенаучного тренда междисциплинарности;
- показана важность темы исследования в связи появлением новых научных дисциплин и устойчивой тенденцией формирования инновационных академических направлений;
- доказано, что потребность в междисциплинарных исследованиях может быть удовлетворена за счёт интеграции методологических усилий на основе взаимодополняющих когнитивных подходов в условиях мультидисциплинарности, кросс-дисциплинарности, трансдисциплинарности и интердисциплинарности процесса познания;
- методологический конфликт дисциплинарного партикуляризма и трансдисциплинарного универсализма вполне разрешим в рамках академической междисциплинарности.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»Челышев Л.С.¹, Полетаев Д.А.²¹*студент кафедры компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института КФУ*²*доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ
poletaevda@cfuv.ru*

Человек привык к комфорту. Дом должен быть максимально удобным и функциональным. В связи с использованием компьютерной логики, уменьшается ненужная трата электроэнергии. При её отсутствии, возможна работа не от сети переменного тока, а например, от аккумуляторов.

Умный дом – жилой дом современного типа с огромным количеством высокотехнологичных устройств. По трактовке Кадырова Л.Ш. в работе «умный дом» под «умным» домом, понимается система, которая обеспечивает комфортное ресурсосбережение для всех пользователей.

На данный момент разработано большое количество концепций «умного дома» и их аппаратных реализаций, отличающихся стоимостью, производителями и программным обеспечением.

Целью работы является создание модели «умного дома», которая, обладая всеми преимуществами данной технологии.

Предложенная система базируется на микроконтроллере ArduinoDue, ввиду его дешевизны и надёжной работы, которым осуществляет управление отдельными элементами системы и допускает его программирование самим пользователем. С помощью контроллера происходит управление оборудованием, которое выполняет различные функций для создания комфортных условий. Для представленной концепции «умного дома» были определены следующие составляющие: регулировка света в помещениях, регулировка температуры и осуществление вентилирования.

Регулировка света включает в себя возможность включения/выключения внутренних источников света, изменение его мощности, а также регулировка интенсивности внешнего источника света (шторы). Включение/выключение света происходит по принципу «псевдо-присутствия» человека в помещении при отсутствии внешнего света. При входе в помещение электрические инфракрасные датчики PIR-зондирования, реагирующие на движение, подают сигнал о входе или выходе человека, в зависимости от направления сработавших датчиков. С помощью диммеров происходит регулировка яркости света, который будет включен при входе в помещение. Так же можно поставить альтернативные датчики света.

Разработанная модель также обеспечивает идентификацию пользователей. Система допускает оборудование датчиками дыма, воды, движения, давления пола. Предотвращение или блокировка доступа происходит с помощью сервоприводов. При сбоях электричества микроконтроллер может переходить на питание от аккумуляторов.

С помощью предложенной модели можно уменьшить стоимость системы примерно в 5 раз, в зависимости от комплектации.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОРА

Фесенко Ф.Ф.

студент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ
научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Полетаев Д.А.

В современном мире импульсная техника получила широкое применение во многих сферах человеческой деятельности. Данная область техники занимается разработкой технических устройств работающих в импульсном режиме. При импульсном режиме, элементы электронных устройств подвергаются воздействию электрических сигналов не непрерывно, что позволяет достичь больших мощностей аппаратуры при низких энергозатратах и вместе с тем уменьшить их тепловыделение. Обладая большим рядом преимуществ, она позволяет решать широкий спектр прикладных задач. Одной из важных задач импульсной техники является вопрос о формировании электрических импульсов, что приводит к задаче создания устройств генерирования импульсов. Одним из таких устройств является блокинг-генератор. Отличительной особенностью данного генератора является то, что он способен генерировать мощные импульсы большой скважности, что позволяет питать импульсные схемы от низковольтных источников энергии.

Важным этапом при создании устройства, является расчет основных параметров схемы. Однако расчет параметров данного генератора является нетривиальной задачей, так как элементы в цепи данного генератора обладают нелинейными характеристиками. Для сокращения временных издержек в процессе расчета схем, данный процесс целесообразно автоматизировать.

Целью работы является разработка программного обеспечения для расчета основных выходных характеристик блокинг-генератора с настраиваемыми параметрами элементов цепи генератора.

Основными характеристиками генератора, являются длительность выдаваемых импульсов, скважность, уровень напряжения и крутизна фронтов импульсов. Используя уравнения Максвелла, был выведен набор дифференциальных уравнений, описывающих процессы которые протекают в цепи генератора. Численное решение осуществлялось методом Рунге-Кутты четвертого порядка для решения обыкновенных дифференциальных уравнений.

С использованием данного метода была разработана компьютерная программа для расчета параметров блокинг-генератора в среде разработки Visual Studio 2010 на языке программирования C#. Программа разработана для операционной системы Windows и представляет собой форму с набором полей для ввода параметров элементов цепи генератора и полей для вывода конечной информации о результатах работы.

В конечном итоге спроектированная программа позволяет быстро рассчитать параметры генератора исходя из характеристик радиоэлементов. В дальнейшем предполагается усовершенствование разработанного программного обеспечения. В частности, реализация решения дифференциальных уравнений методами более высоких порядков, а так же увеличение количества параметров радиоэлементов, учитывающихся при расчете.

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Фитаев И.Ш.¹, Григорьев Е.В.²

¹магистр кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ

²доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ

Актуальной задачей является обеспечение надежной связи. Но постройка ретрансляционных сетей для этих целей требует большие экономические затраты. Поэтому широко стали использоваться спутниковые ретрансляторы, вывод на орбиту которых, оказывается менее затратным. К тому же, один спутник может иметь целый набор передатчиков и специальных антенн. Направленных на определенные участки Земли, что позволяет использовать один спутник несколькими различными организациями.

Учитывая актуальность и широту применения спутникового интернета и телевидения, был разработан лабораторный комплекс для обучения студентов принципам спутниковой связи и системам наведения на спутник.

Целью работы является разработка лабораторного практикума для изучения спутникового интернета и телевидения.

Актуальность работы состоит в том, что студенты в процессе выполнения лабораторной работы получают навыки наведения спутниковой антенны, изучают методы оптимальной настройки для обеспечения качественных сигналов интернета и телевидения.

Основными требованиями к разработанному лабораторному комплексу:

- низкая себестоимость готовой установки.
- взаимозаменяемость применяемых деталей и модулей
- простота сборки и обслуживания готовой конструкции
- возможность ориентации антенны на любую точку небесной сферы, для возможности создания других лабораторных работ на базе данного комплекса.
- возможность управления в ручном и автоматическом режимах.
- управление с помощью ПК.
- возможность автоматической стабилизации положения после воздействия возмущающих факторов (порывы ветра, люфты конструкции.)

Комплекс состоит из двух частей: приемный блок и блок позиционирования. В приемный блок входят: спутниковая офсетная антенна с универсальным конвертером Ku диапазона, усилитель промежуточной частоты, инжектор питания и тюнер. В блок позиционирования входят: разработанное поворотное устройство, состоящее из двух двигателей для двух осей вращения, драйвера двигателей, магнитометра, акселерометра и микроконтроллера на базе ATmega168.

Для осуществления дистанционного наведения антенны на спутник было разработано поворотное устройство, состоящее из двух двигателей поворота, драйвера двигателей, магнитометра, акселерометра и микроконтроллера.

В качестве двигателей для поворота по азимуту и по высоте были применены широко распространенные двигатели постоянного тока, применяемые в автомобилях ВАЗ в качестве двигателей стеклоочистителя. Редуктором служит регулировочный тормозной рычаг от автомобиля ЗИЛ. Оси поворота азимута и высоты также взяты из системы тормозного регулировочного рычага, а именно сам вал. Время оборота при максимальной скорости двигателя составляет около 53 секунд. Для управления скоростью вращения двигателей используется ШИМ, генерируемая микроконтроллером.

Разработано программное обеспечение для автоматического наведения антенны на заданные координаты. Имеется возможность ручного управления. Для анализа спутниковых сигналов используются свободно-распространяющаяся программа SDRsharp.

Студенты, выполнившие разработанный лабораторный практикум получают наглядное представление о сигнале со спутника, методике настройки оборудования и о спутниковой связи в целом.

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Кореньков П.А.¹, Полетаев Д.А.², Челышев Л.С.³, Иванов Р.А.⁴

¹*ассистент кафедры строительных конструкций*

Академия строительства и архитектуры КФУ

²*доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ*

³*студент кафедры компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института КФУ*

⁴*студент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ
poletaevda@cfuv.ru*

Сегодня активно развивается экспериментальное строительство. Данная отрасль подразумевает создание оптимальных, с точки зрения ресурсозатратности и прочности, конструкций. Экспериментальное строительство предусматривает проведение большого числа натурных опытов с различными конструкциями. При этом исследуемые бетонные и железобетонные структуры подвергаются сжатию и растяжению. Для определения величин деформаций чаще всего используется метод тензометрии, как наиболее простой и масштабируемый. Тензорезистор представляет собой сопротивление, величина которого меняется в зависимости от приложенной силы. Промышленность выпускает широкий спектр тензорезисторов, применяемых для исследования деформаций различных масштабов. Согласно ГОСТ Р 52728-2007 сопротивление тензорезисторов измеряется с помощью многоканальных цифровых измерительных систем СИИТ-3, Centipede и др. Однако данные приборы полноценно функционируют лишь в статическом режиме, без отображения динамической картины развития деформации. Кроме того, проведение лабораторных работ для обучающихся инженерных специальностей не требует применения высокоточной измерительной техники. Целесообразным является разработка микропроцессорной системы, способной измерять динамически изменяющееся сопротивление тензорезисторов.

Целью работы является проектирование и разработка микропроцессорного комплекса для измерения динамически изменяющегося сопротивления тензорезисторов.

Разработанный студенческим конструкторским бюро Физико-технического института Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского микропроцессорный комплекс содержит: n тензорезисторов, эталонный тензорезистор, электронный коммутатор, измерительный мост, усилитель, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микропроцессорный блок.

Микропроцессорный комплекс позволяет измерять динамически меняющееся сопротивление n штук тензорезисторов, прикрепленных к исследуемой деформируемой конструкции. Эталонный тензорезистор требуется для компенсации температурного дрейфа сопротивлений тензорезисторов. Электронный коммутатор служит для выбора измеряемого в текущий момент времени тензорезистора. Измерительный мост требуется для прецизионного измерения малых изменений сопротивлений тензорезисторов. Усилитель усиливает сигнал, поступающий с измерительного моста. Аналого-цифровой преобразователь преобразует сигнал усилителя в цифровой код. Микропроцессорный блок предварительно уравнивает измерительный мост, управляет порядком переключения тензорезисторов посредством электронного коммутатора, считывает цифровые данные с аналого-цифрового преобразователя, производит их запись и последующую обработку.

Современная элементная база микроэлектронных устройств позволяет измерять сопротивление до 100 подключенных тензорезисторов со скоростью до 1000 значений в секунду. Это позволяет отображать изменение сопротивления практически в реальном времени.

Разработанный комплекс может легко масштабироваться и применяться для лабораторного практикума обучающихся инженерных специальностей.

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Полетаев Д.А.¹, Мазинов А.С.¹, Соколенко Б.В.², Марущак Б.А.³, Шевченко А.И.⁴

¹доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ

²доцент кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

³аспирант кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ

⁴ассистент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ
poletaevda@cfuv.ru

Сегодня важно не только выработать энергию, но и экономно ее использовать. Довольно часто в подъездах многоквартирных домов можно встретить такую картину – среди бела дня горит свет.

Целью работы является разработка и внедрение системы комплексного энергосбережения.

Студенческим конструкторским бюро (СКБ) Физико-технического института Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского разработано и изготовлено электронное устройство таймерного автомата. В дежурном режиме таймерный автомат практически не расходует электрическую энергию. Однако, при срабатывании датчика, в качестве которого может выступать детектор движения, звука, либо прикосновения, электронная схема включает осветительный прибор на заданный промежуток времени, которого вполне достаточно, чтобы подняться, спуститься по лестнице, дойти до лифта либо открыть дверь. Спроектированы следующие модификации устройства: акустический таймерный автомат, размещенный в электрическом патроне лампы, вариант электронной схемы, размещенной в стандартном электрическом выключателе, вариант электронной схемы для встраивания в осветительные приборы. Изготовлена пробная партия устройств, получены акты внедрения. Период окупаемости – 5 месяцев эксплуатации!

Данное устройство является базовым элементом системы комплексного энергосбережения. Большая экономия, как показано в работе Быстрицкого Г.Ф. «Энергосиловое оборудование промышленных предприятий» может быть достигнута при использовании источников света с высоким КПД, таких как светодиоды. В СКБ спроектирован и изготовлен эффективный импульсный источник питания для светодиодов. В комплексе с таймерным автоматом, данное устройство способно еще эффективнее потреблять электроэнергию. Так, при несколько больших первоначальных затратах, через 12 месяцев экономический эффект на 10 % больше чем у предыдущего устройства.

Если требуется не только включать и выключать электрические устройства в заданные промежутки времени, а и проводить мониторинг их состояния, потребления энергии, отслеживать параметры электрической сети и возникновения внештатных ситуаций, требуется применение системы управления и мониторинга потребителей электрической энергии. Разработанное в СКБ устройство позволяет удаленно включать и выключать нагрузку, осуществлять контроль работоспособности и токопотребления. Основным новшеством является интеграция функций реагирования на внештатные ситуации непосредственно в само устройство.

Обобщает комплекс устройств для повышения эффективности использования электроэнергии в освещении разработанный в СКБ программный продукт «энергоэффективная среда», позволяющий прогнозировать экономическую эффективность при внедрении той или иной технологии, в зависимости от заданной конфигурации. Приложение учитывает многочисленные факторы, особенности работы тех или иных устройств и дает рекомендации по оптимальному применению энергосберегающих технологий.

Преимуществами разработок является высокая конкурентоспособность за счет оптимальной себестоимости, возможность поэтапного модульного внедрения и учет специфики отечественного рынка.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ МОДУЛЬНОЕ ОСВЕТИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

Полетаев Д.А.¹, Бахов В.А.², Соколенко Б.В.³

¹доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ

²преподаватель кафедры естественно-математического образования Крымского республиканского института постдипломного педагогического образования

³доцент кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

poletaevda@cfuv.ru

Подсветка офисных, бытовых помещений, фасадов зданий, создание ярких рекламных вывесок сегодня базируется не только на принципах энергосбережения, но и на авторских, дизайнерских разработках, как показано Элсенпитером Р.К. и Велтом Т.Д. в работе «умный дом строим сами». За индивидуальное решение всегда приходится платить значительно больше, чем за массовый продукт. Кроме того, техническая реализация сложной многоцветной рекламной вывески может занять длительное время. Технологии стремятся к большей унификации и стандартизации, что достигается путем придания им модульной структуры. Маркетинговые исследования показывают, что сегмент рынка световой рекламы является обширным одним из наиболее динамично развивающихся который способен принять новых игроков.

Целью работы является разработка модульного энергосберегающего осветительного устройства, которое способно в сочетании с аналогичными элементами, согласно заданной конфигурации выводить полезную информацию, создавать локальные цветовые зоны, служить источником освещения.

Конструкция состоит из базового блока – модуля, содержащего набор источников света (красный, синий и зеленый) и устройства управления. Модуль способен соединяться с другими модулями в уникальную композицию и имеет с ними общую шину данных и питания. Общий блок управления, по шине управления, обладает возможностью включать и выключать каждый источник света каждого модуля, изменять их яркость.

Так, пользователь, закупив требуемое ему количество модулей, может самостоятельно, без специальных навыков, как из кубиков, создавать световые дизайнерские композиции: буквенно-цифровые вывески, индивидуальные устройства освещения, элементы декора и подсветки.

На разработанное устройство получен патент Российской федерации. Общий вид прототипа модульного осветительного устройства представлен на рис.1.

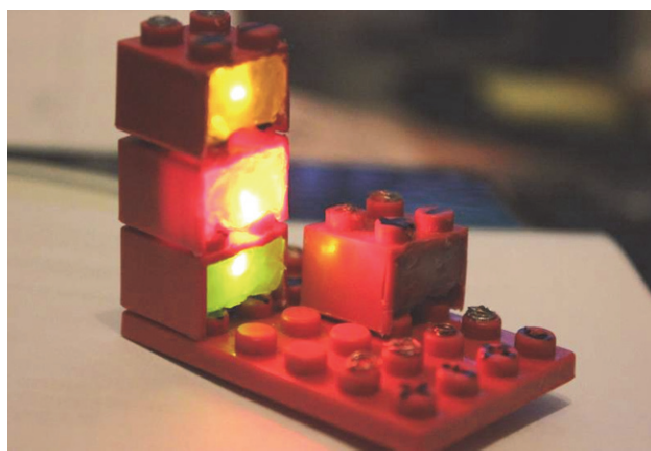


Рис.1. Конструкция прототипа модульного осветительного устройства

Преимуществами разработки является простота применения, высокий энергосберегающий эффект.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСЛОЙНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИЭЛЕКТРИКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ СВЧ

Полетаев Д.А.¹, Шадрин А.А.¹, Нудьга А.А.¹

¹*доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ*
poletaevda@cfuv.ru

Востребованной является способность диагностических приборов проводить послойную диагностику образцов. Такие устройства широко используются, для анализа структуры сложных объектов. На сегодняшний день широко используются датчики на основе СВЧ измерительных преобразователей (ИП). Их существенными преимуществами являются: относительная простота, неразрушаемость объекта исследований, безопасность для биологических тканей, отсутствие какой-либо специальной подготовки образца для диагностики, высокая точность и повторяемость результатов. Представляется целесообразным провести исследование возможности анализа параметров образца (относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь) на разной глубине с помощью СВЧ ИП.

Информационными сигналами (ИС) таких устройств являются добротность, частота и их изменение. Информационные сигналы однозначно соответствуют электрофизическим параметрам исследуемого образца: относительной диэлектрической проницаемости и тангенсу угла потерь. Применяются также и нерезонансные измерительные преобразователи. Их несомненными достоинствами являются простота и широкий диапазон рабочих частот. Информационными сигналами устройств данного класса являются комплексный коэффициент отражения, комплексный коэффициент прохождения и их изменение.

Современные микроэлектронные устройства – сложные структуры, состоящие из большого числа слоев с различными электрофизическими параметрами. Зависимость информационных сигналов, как резонансных, так и нерезонансных измерительных преобразователей, от параметров слоев исследуемого диэлектрика, количества слоев и их комбинаций, весьма сложна. Однако, используя прямое численное моделирование, можно выявить основные закономерности изменения ИС в зависимости от толщины слоев и их электрофизических параметров.

Целью работы численное исследование возможностей ИП проводить диагностику параметров образца на различной глубине.

В качестве базовой модели взят СВЧ ИП, включающий (по рис. 1, а): коаксиальный волновод, высотой H , с внутренним радиусом R_1 и внешним R_2 , отрезок заградительного, на рабочей длине волны, волновода, высотой h , трехслойный диэлектрик с толщинами слоев h_1, h_2, h_3 .

Исходя из общих теории, изложенной Кураевым А.А., Попковой Т.Л., Сеницыным А.К. в работе «электродинамика и распространение радиоволн», были выбраны следующие геометрические размеры: $H / \lambda = 2$; $R_2 / \lambda = 0,17$; $R_1 / R_2 = 0,01$; $h / \lambda = 0,04$; при $\lambda = 10$ см. Конечная проводимость реального металла не учитывалась. Мощность электромагнитной волны, подающейся на коаксиальный волновод, равна 1 Вт. Моделирование проводилось с использованием прямого численного метода конечных элементов.

На рис. 1,б представлена зависимость изменения частоты, при котором параметр S_{11} оказывается минимальным, относительно частоты ИП, нагруженного на свободное пространство, от расстояния до слоя с разными значениями ε .

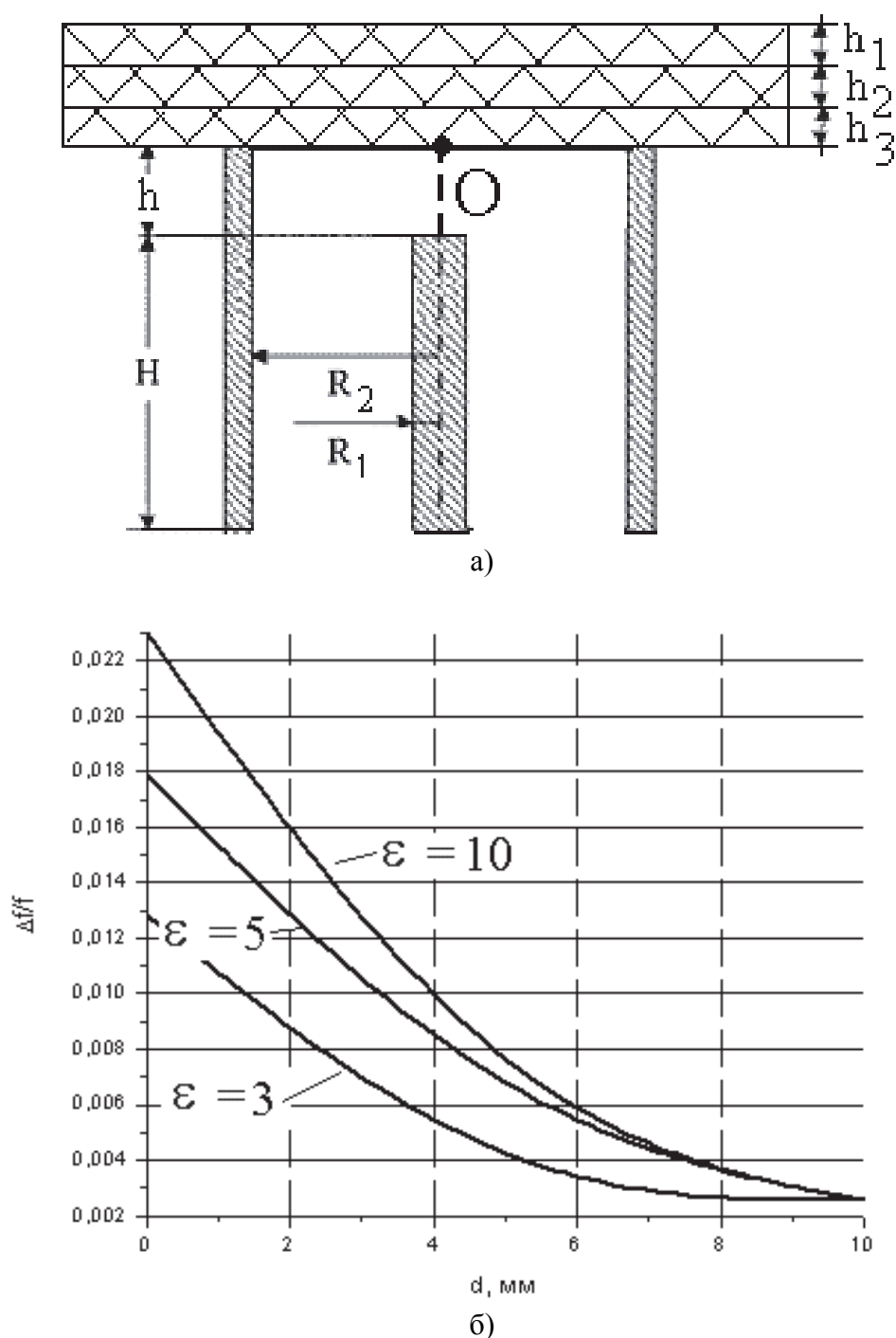


Рис.1. а) Модель СВЧ ИП; б) Зависимость изменения частоты от положения слоя диэлектрика

Как видно из рис. 1,б, большая относительная диэлектрическая проницаемость оказывает большее влияние на изменение частоты. При этом, на расстоянии 10 мм, при данных геометрических размерах и частотах, поле практически не «чувствует» неоднородность, что согласуется с общими физическими представлениями.

Зависимость на рис. 1,б позволяет сделать вывод о возможности послойного определения электрофизических параметров материала с помощью ИП описанной конструкции.

БАКТЕРИЦИДНЫЙ НАНОМАТЕРИАЛ

Полетаев Д.А.¹

¹*доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ*
poletaevda@cfuv.ru

Вопросы хранения посевного материала и производства качественных, здоровых продуктов питания чрезвычайно актуальны! Разработано большое количество методов протравливания и консервации, среди которых выделяют три базовых класса: химические, термические, консервация излучением. Основной идеей для всех них является подавление процесса развития микроорганизмов. Однако современные методы консервации существенно изменяют структуру продукта.

Целью работы является предложение бактерицидного материала, на основе широкодоступных полимеров, способного длительное время сохранять бактерицидные свойства, пригодного для консервации посевного материала, упаковки продуктов питания.

Предлагается использовать разработанный бактерицидный материал для сохранения посевного материала, а также в качестве упаковочной тары для пищевых продуктов.

Ключевой особенностью бактерицидного материала является способность подавлять развитие микроорганизмов и не вносить изменение в химический состав и структуру консервируемого объекта. Кроме того, разработка может использоваться для покрытия клавиатур и органов управления мобильных устройств, общественных терминалов, как покрытие общественного транспорта и медицинских учреждений.

Разработка простого и дешевого упаковочного бактерицидного материала позволяет уменьшить загрязнение территории бытовым мусором. Одноразовая тара создает угрозу экологической безопасности многих регионов планеты. Широкое внедрение предлагаемого бактерицидного материала позволит многократно использовать упаковочную тару, позволяя уменьшить количество бытового мусора.

Технология получения и сам бактерицидный материал защищены патентом Российской Федерации на полезную модель.

Для получения бактерицидного материала используется широкодоступный и экономичный полимерный материал, например, полиэтилен или полипропилен. Это может быть пленка, лист, объемная структура. В него внедряются и надежно фиксируются бактерицидные компоненты – наночастицы серебра или меди, высокая эффективность которых подтверждается многочисленными экспериментами, как описано в работе Shahverdy A. «synthesis and effect of silver nanopracles».

Основное новшество состоит в способе внедрения и закрепления бактерицидных частиц в полимерном материале. А именно, в полимерной основе формируются несквозные отверстия, за счет ее бомбардировки высокоэнергетическими частицами (например, альфа-частицы). Затем отверстия гальванически заполняются бактерицидными наночастицами. Это гарантирует надежное закрепление наночастиц в полимерном материале и значительный бактерицидный эффект, ввиду высокой эффективности нанокomпонент.

Производственный цикл включает в себя: подготовку полимерного материала, измерение толщины и плотности полимера, расчет энергии частиц, облучение полимерного материала потоком частиц, подготовка бактерицидных компонент, помещение их в среду для гальванического осаждения, помещение полимерного материала в гальваническую ванну, осаждение частиц в несквозные отверстия, промывка и складирование готового бактерицидного материала.

Предполагается широкое применение бактерицидного материала для консервации овощей и фруктов, для упаковки продуктов питания.

ДИФРАКЦИОННАЯ КАРТИНА ПОЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ В ВОЛНОВОДЕ

Старостенко В.В.¹, Глумова М.В.¹, Арсеничев С.П.², Григорьев Е.В.¹, Таран Е.П.¹, Зуев С.А.¹,
Кувшинов В.М.¹

¹доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ

²ассистент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ

Воздействие мощного электромагнитного СВЧ излучения на интегральные микросхемы (ИМС) может сопровождаться их выходом из строя. Это обусловлено прожогом проводящих пленок или активных микроструктурных элементов. При этом большинство исследователей считают, что механизм прожога – антенный. Расчеты, приведенные Магдой И.И., Блудовым Н.И., Гадецким Н.П. в работе «механизм деградации ИЭТ в полях мощного СВЧ излучения», показывают, что в металлодиэлектрической структуре (МДС), которая является моделью ИМС, наряду с антенным механизмом, может проявляться и механизм, связанный с конечной проводимостью пленок (скин-эффект). Поэтому, целесообразно предположить, что выход из строя ИМС осуществляется при сочетании обоих механизмов.

Для детального исследования влияния электротепловых процессов на МДС, а, следовательно, и на ИМС, необходимо решить соответствующую дифракционную задачу.

Целью работы является численный расчет поверхностных токов на металлической пленке при воздействии электромагнитного излучения в прямоугольном волноводе.

Для численного расчета значения тангенциальных составляющих магнитного и электрического полей на поверхности проводящей пленки, в пленке и диэлектрической подложке, которые наводятся на проводящей пленке МДС при воздействии электромагнитного излучения СВЧ диапазона, применялся прямой численный метод конечных элементов.

В приближении основного типа волны в прямоугольном волноводе на входном порту волновода задавались мощность и частота падающей волны.

Методика численного расчета поверхностных токов состояла в следующем:

- установка размеров прямоугольного волновода;
- установка геометрические и электрофизических параметров (относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь) МДС;
- численное решение волновых уравнение;
- вычисление тангенциальных компонент напряженности магнитного поля на поверхности тонкой металлической пленки;
- вычисление плотность поверхностного тока на МДС структуре.

Базовая МДС имела размеры в поперечной плоскости 20х20 мм и представляла собой оргстекло (толщина – 1 мм) с нанесенной медной пленкой (толщина – 10 мкм). МДС располагалась в прямоугольном волноводе сечением 90х45 мм как показано на рис. 1.

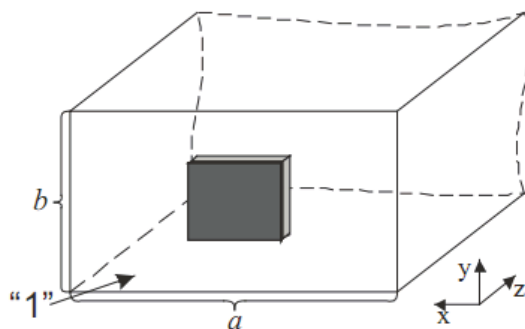


Рис. 1. Ориентация МДС в волноводе

При воздействии электромагнитного импульса мощностью $P=2 \cdot 10^6$ Вт распределение поверхностного тока на тонкой металлической пленке приведено на рис. 2.

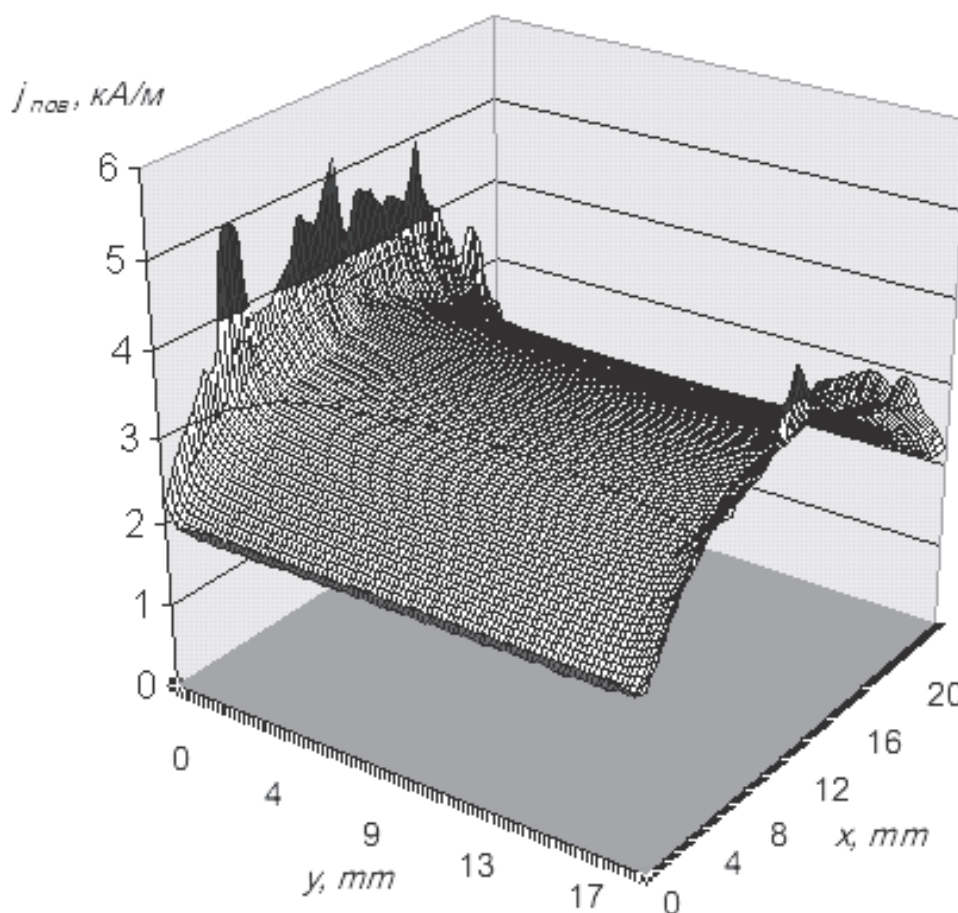


Рис. 2. Распределение поверхностного тока на проводящей пленке

Полученное распределение поверхностного тока показывает, что, с одной стороны, ток концентрируется в середине проводящей пластины, с другой стороны – имеют место «краевые эффекты». А именно, увеличение амплитудного значения тока на торцах пленки. При проведении численного расчета предполагался идеальный контакт диэлектрика и проводящей пленки, а медная пленка не имела неоднородных включений (удельная электропроводность пленки $\sigma = 5,8 \cdot 10^7$ См/м). Многочисленные эксперименты и сравнение с результатами моделирования в стандартных пакетах трехмерного моделирования, подтверждают адекватность численной модели. Однако, механизм повышенной локализации плотности поверхностного тока в центре до конца не ясен. Представляется целесообразным предположить уменьшение значения поверхностного тока за счет присутствия тока смещения в диэлектрике.

В работе получено распределение поверхностного тока на медной проводящей пленке при воздействии мощного СВЧ импульса на МДС в прямоугольном волноводе. Толщина проводящей пленки была выбрана больше толщины скин-слоя, что позволяет использовать полученные распределения тока для расчета тепловых источников в приповерхностном слое и исследовать динамику тепловых процессов при непосредственном воздействии мощного электромагнитного излучения на МДС. Дальнейшие исследования позволят сформулировать рекомендации по увеличению надежности интегральных микросхем.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В СКАЛЯРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЗМЕЯХ

Алексеев К.Н.¹, Алексеева М.К.², Лапин Б.П.³, Милодан А.В.⁴, Вишневская О.В.⁵

¹Профессор кафедры теоретической физики и твёрдого тела

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

²Студентка факультета математики и информатики

Таврической академии КФУ им. В.И. Вернадского

³Старший преподаватель кафедры общей физики

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

⁴Старший лаборант кафедры медицинской физики и информатики

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

⁵Аспирант кафедры теоретической физики и твёрдого тела

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

c.alexeyev@yandex.ua

Введение. Явление самовоздействия света, известное уже много лет и проявляемое в разнообразных интерференционных эффектах, относительно недавно нашло применение в волоконных катушечных резонаторах. В оптическом волокне данное явление впервые было продемонстрировано в небольшой области в петлевых волоконных резонаторах, чьё создание стало возможным после достижения прогресса в производстве волоконных разветвителей. Использование самодействия света в технике тесно связано с прогрессом в области изготовления микроволокон. В пионерской работе Сумецкого было показано, что формирование из оптического волокна микрорезонатора позволяет добиться самодействия света через эванесцентные поля во всём объёме микрорезонатора. Основное применение волоконных катушечных резонаторов видится в области телекоммуникаций и оптических вычислений, а именно в качестве буферов оптических информационных пакетов в фотонных линиях задержки.

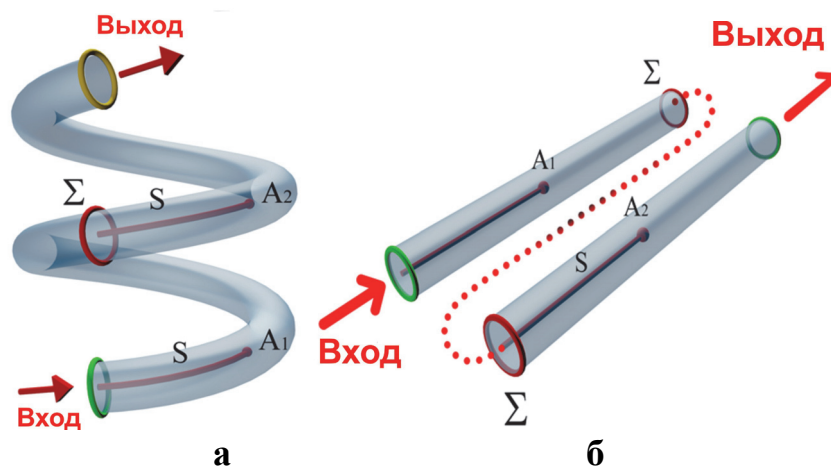


Рис. 1. а) Схема двухвиткового волоконного катушечного резонатора. Σ - граница между витками. Продольная координата s введена так, что точки A_1 и A_2 , лежащие на линии, параллельной оси резонатора, имеют одинаковое значение s ; б) эквивалентная схема двухвиткового волоконного катушечного резонатора.

Цель и задачи. В данных тезисах в рамках скалярного приближения будет исследовано поведение оптического вихря (ОВ) с произвольным топологическим зарядом (ТЗ) l в волоконном катушечном резонаторе, состоящем из двух витков. Будет показано, что данная

оптическая система способна инвертировать ТЗ входящего ОВ при соблюдении условий резонанса. В общем случае волоконный катушечный резонатор способен управлять величиной орбитального углового момента (ОУМ) выходящего поля.

Результаты исследований. Рассмотрим волоконный катушечный резонатор, состоящий из двух витков (Рис.1а). Стандартная математическая техника, используемая при исследовании подобных систем, предполагает написание системы уравнений относительно медленно меняющихся амплитуд в соседних витках. Данный метод не является единственным, и существует альтернативный подход, который основан на получении нормальных мод системы взаимодействующих волокон. Для использования этого подхода необходимо сначала построить эквивалентную схему двухвитковой оптической змеи (Рис.1б). Очевидно, что катушечный резонатор может быть заменён двумя прямыми параллельными волокнами. Достижение эквивалентности имеет место при соединении выходного конца первого волокна со входным концом второго волокна. При данном подходе выходящее поле из первого волокна нужно принять за поле, входящее во второе волокно.

Пусть двухвитковая оптическая змея возбуждается с помощью ОВ с произвольным ТЗ l . Тогда выходящее из резонатора поле представляет собой сумму ОВ с зарядами $\pm l$ и энергиями $N_{\pm}$. Для N_{+} можно записать:

$$N_{+} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left[(\Delta_{+} - \Delta_{-}) s_0 + 2(\gamma_{+} - \gamma_{-}) \right] \right\},$$

где $\tan \gamma_{\pm} = \frac{\sin \Phi_{\pm} \cos 2\Phi_{\pm}}{\cos \Phi_{\pm} + \sin \Phi_{\pm} \sin 2\Phi_{\pm}}$, $\Phi_{\pm} = \Delta_{\pm} s_0 / 2$, s_0 - длина витка, $\Delta_{\pm} = (C_l \pm D_l) / 2\tilde{\beta}_l$, C_l, D_l - обменные интегралы и $\tilde{\beta}_l$ - скалярная постоянная распространения.

Полный усреднённый по времени ОУМ $\langle L \rangle$ выходящего поля может быть вычислен как

$$\langle L \rangle = l(2N_{+} - 1).$$

На Рис.2 приведён график зависимости ОУМ выходящего поля от длины витка резонатора. Точки, в которых ОУМ принимает отрицательные значения, соответствуют инверсии ТЗ входящего ОВ.

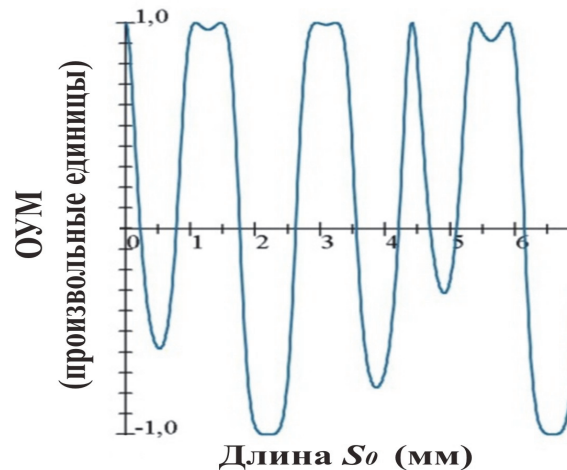


Рис. 2. Зависимость ОУМ от длины витка s_0 выходящего из резонатора поля. На вход резонатора подаётся ОВ с единичным топологическим зарядом.

Выводы. В данных тезисах было продемонстрировано, что волоконный оптический резонатор способен инвертировать ТЗ входящего поля. В общем случае ОУМ выходящего из резонатора поля может непрерывно принимать значения от $-l$ до $+l$ (в произвольных единицах), где l - ТЗ входящего поля.

СИММЕТРИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ТЕКСТУРАХ

Замковская А.И.

студентка кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Максимова Е.М.

trabem.z@gmail.com

Введение. Пьезоэлектрический эффект может иметь место в любой анизотропной среде, где есть полярные направления. Анизотропией обладают среды в виде монокристаллов и пьезоэлектрических текстур, т. е. поликристаллических агрегатов, в которых мелкие кристаллики имеют одинаковую ориентацию. Практическими преимуществами пьезокерамики по сравнению с монокристаллами являются ее технологичность и дешевизна. Изготовление пьезокерамики несравненно проще, чем выращивание монокристаллов. Кроме того, из керамики удастся изготавливать изделия любой формы — линзы, цилиндры и т. п., которые чрезвычайно сложно изготавливать из монокристаллов. Пьезокерамики стойки к действию влаги, к механическим нагрузкам и атмосферным воздействиям.

Цель и задачи. Определение направлений экстремальных значений продольного пьезоэлектрического эффекта в текстурах с помощью 3D-моделей указательных поверхностей пьезоэффекта, построенных в пакете прикладных программ MathCad. Радиус-вектор таких поверхностей равен заряду, образуемому на единице площади, перпендикулярной к сжимающему или растягивающему усилию.

Результаты исследований. Пьезоэлектрические свойства проявляются в однородных, нецентросимметричных, анизотропных текстурах, симметрия которых описывается предельными группами Кюри: ∞ , ∞mm и $\infty 2$. Пьезоэффект принципиально возможен еще в текстурах с симметрией ∞/∞ , но расчет показывает, что для этого случая тензор пьезомодулей состоит только из нулевых компонент, таблица 1.

Таблица 1.

Матрицы пьезоэлектрических модулей текстур.

Симметрия ∞	Симметрия ∞mm	Симметрия $\infty 2$
$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{15} & -d_{14} & 0 \\ d_{31} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -d_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

Рассмотрим в качестве примера ориентационную зависимость пьезоэлектрического эффекта в титанате бария BaTiO_3 , который наиболее широко применяется в технике в качестве пьезоэлектрической текстуры. Отдельные кристаллиты керамики из титаната бария разбиты на домены, принадлежащие в зависимости от температуры и состава к одной из групп симметрии $mm2$, $3m$ или $4mm$. Совокупность таких доменов, также произвольно ориентированных в пространстве, образует текстуру, принадлежащую к группе симметрии $\infty/\infty mm$. Это изотропная нецентросимметричная среда, не обладающая пьезоэлектрическими свойствами.

Для того, чтобы керамика приобрела пьезосвойства ее поляризуют (помещают в сильное электрическое поле). В соответствии с принципом симметрии Кюри, поляризованная керамика BaTiO_3 описывается группой ∞mm и является пьезотекстурой, пьезоэлектрический эффект в которой описывается тремя независимыми пьезомодулями: $d_{15} = 270$ пКл/Н, $d_{31} = -79$ пКл/Н, $d_{33} = 191$ пКл/Н.

Уравнение продольного пьезоэлектрического эффекта в этом случае:

$$d = (d_{15} + d_{31}) \cdot \cos \theta \sin^2 \theta + d_{33} \cdot \cos \theta,$$

где d – пьезоэлектрический модуль вдоль направления, определяемого полярным углом θ .

Указательная поверхность текстуры титаната бария вытянута вдоль оси Z , это направление максимального продольного пьезоэлектрического эффекта, рис. 1. В перпендикулярном направлении – область минимального пьезоэффекта. Перпендикулярно оси Z существует плоскость антисимметрии, так как нижняя и верхняя части указательной поверхности пьезоэффекта у кристаллов любого пьезокласса имеет разные знаки.

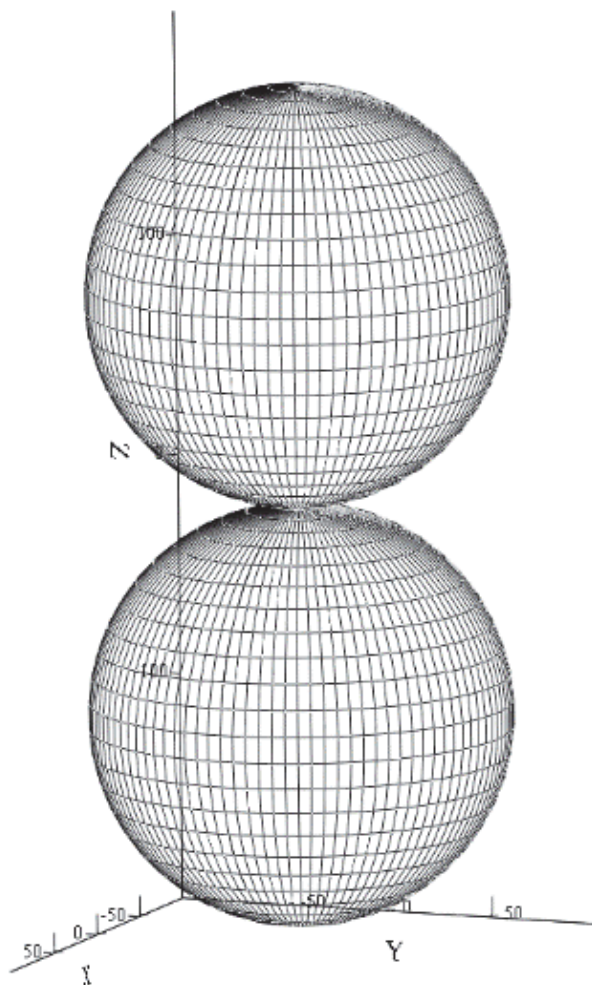


Рис.1. Указательная поверхность продольного пьезоэлектрического эффекта пьезокерамики титаната бария.

Т.о., группа симметрии этой поверхности ∞mm совпадает с группой симметрии самой текстуры, что согласуется с принципом Неймана.

Заключение. В работе исследованы ориентационные зависимости продольного пьезоэлектрического эффекта в текстурах всех возможных классов симметрии. Определены направления экстремальных значений пьезомодулей для разных текстур.

«СВЕРХТВЕРДАЯ» ФАЗА В ДВУМЕРНОМ ИЗИНГОПОДОБНОМ СИЛЬНО АНИЗОТРОПНОМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ

Ф.Н.Клевец, Ю.А.Фридман

кафедра теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

yuriifridman@gmail.com

Введение. Не так давно, было объявлено об открытии «сверхтвердого» состояния в твердом ${}^4\text{He}$. Применительно к теории магнетизма сверхтвердая фаза (также носит название биконической фазы) обозначает смешанное состояние, в котором оба параметра порядка для антиферромагнитной и спин-флоп фаз отличны от нуля.

Одной из систем, в которых можно обнаружить сверхтвердую магнитную фазу, являются квантовые магнетики. После того, как была доказана возможность реализации сверхтвердой фазы в двухподрешеточных спиновых системах, такие системы стали одними из самых перспективных кандидатов для обнаружения данного состояния. Например, к такого рода системам относится низкоразмерный гейзенберговский антиферромагнетик со спином единица, обладающий одноионной анизотропией.

Одним из перспективных кандидатов на обнаружение сверхтвердой магнитной фазы являются фрустрированные магнетики. Примером таких систем может быть двухподрешеточный антиферромагнетик, в котором обменное взаимодействие между магнитными ионами в подрешетке отличается от межподрешеточного обменного взаимодействия. Как было показано ранее, в такой системе могут реализовываться разнообразные фазовые состояния: спиновая жидкость, сверхтвердая фаза, магнитные плато. Если рассматривать частный случай двухподрешеточного изинговского антиферромагнетика, которому соответствует, например, $\text{NiCl}_2\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ со спином магнитного иона Ni^{++} равным единице, то указанные фазовые состояния также могут быть обнаружены в нем, однако области их существования и типы фазовых переходов могут существенным образом отличаться.

Цель и задачи. Целью данной работы – теоретическое исследование ультратонких пленок, имеющих толщину в несколько атомных слоев, которые являются двухмерными системами. Прежде всего двухмерность системы подразумевает существенное влияние магнитодипольного взаимодействия, которое может приводить к усилению легкоплоскостной анизотропии и реализации пространственно неоднородных фазовых состояний, таких как плоско-параллельные домены и вихревые структуры, причем эти состояния возможны не только для ферромагнетиков, но и для антиферромагнетиков.

Результаты исследований. Нами исследована двухмерная двухподрешеточная модель Изинга с ферромагнитным и антиферромагнитным обменным взаимодействием в подрешетке и между подрешетками соответственно, с большой одноионной анизотропией. Показано, что при большом внешнем магнитном поле подрешетки становятся эквивалентными и в системе реализуется ферромагнитное состояние, характеризуемое векторным параметром порядка - намагниченностью. В случае малого внешнего поля, подрешетки также являются эквивалентными, а система переходит в квадрупольное состояние с нулевой намагниченностью, описываемое тензорным параметром порядка. Магнитоупругое взаимодействие проявляется в указанных состояниях лишь статически, т.е. перенормирует энергетические уровни, а также линии устойчивости полученных состояний. Однако эти перенормировки могут быть довольно большими для ряда редкоземельных сплавов.

Также в работе было показано, что при произвольных соотношениях между зеемановской энергией и энергией анизотропии антиферромагнитное упорядочение между узлами различных подрешеток приводит к возникновению т.н. сверхтвердого состояния, которое является слиянием двух фаз: антиферромагнитной и спин-флоп. При этом углы ориентации магнитных моментов различных подрешеток различны и определяются из уравнений. При этом магнитодипольное взаимодействие проявляется как в статической перенормировке этих углов и действует как дополнительная легкая плоскость, так и приводит к реализации в системе пространственно неоднородного состояния. При этом было получено, что данное состояние может реализоваться лишь при выполнении определенных условий на направление волнового вектора, в противном же случае система находится в монокристаллическом состоянии. Также нами найдены линия устойчивости и период неоднородности вблизи линии фазового перехода в ферромагнитную фазу.

Т.о. на основе вышеуказанного можно построить фазовую диаграмму двумерной двухподрешеточной антиферромагнитной Изинго-подобной пленки с большой одноионной анизотропией во внешнем магнитном поле (см. рисунок 1).

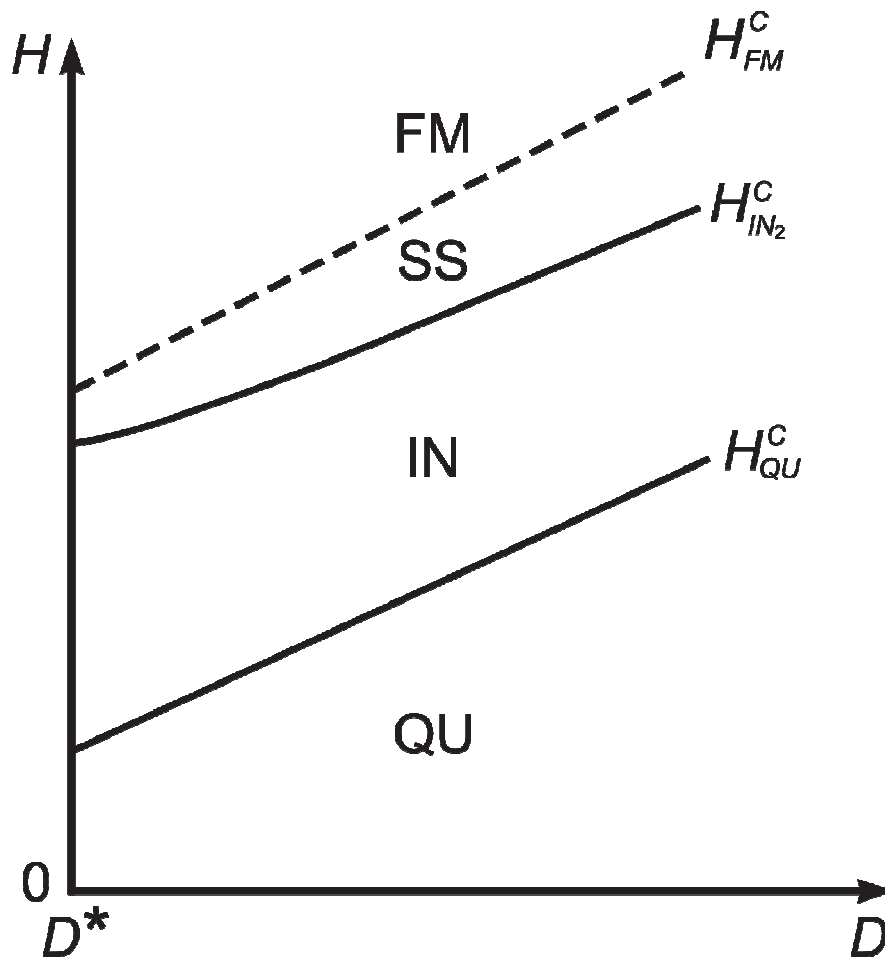


Рис.1. Качественная фазовая диаграмма исследуемой системы (FM– ферромагнитное состояние, QU – квадрупольное, SS– сверхтвердое, IN – пространственно неоднородное)

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПНОГО ОБМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ И СПЕКТРЫ НЕГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОГО МАГНЕТИКА $S=1$

Кривцова А.В.¹, Космачев О.А., Фридман Ю.А.
*кафедра теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ,*

*¹аспирант кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ
yuriiifridman@gmail.com*

Введение Основной спецификой негейзенберговских спиновых систем является квантовая редукция спина, то есть появление состояний со средним значением спина на одном узле меньше насыщенного. Наряду с исследованием влияния высших инвариантов на свойства изотропных спиновых систем, представляет интерес исследование обменно-анизотропных моделей. Рассмотрение дополнительных возможностей симметрии билинейного и биквадратичного обменного взаимодействий, приведет к более разнообразной структуре фазовых состояний, а также динамических свойств системы. Исследование негейзенберговских магнетиков с учетом одноионной анизотропии показывает, что действуя совместно с биквадратичным обменным взаимодействием одноионная анизотропия формирует особенности основного состояния, а также стимулируют возникновение нематических фаз.

Целью данной работы ставится выяснение влияния анизотропного межионного взаимодействия на фазовые состояния ферромагнетика со спином магнитного иона $S=1$. Рассматривается модель магнетика с учетом биквадратичного взаимодействия. Для выяснения особенностей фазовых переходов необходимо исследовать спектры элементарных возбуждений в реализующихся фазах.

В результате исследования модели одноосного обменно-анизотропного одноподрешеточного негейзенберговского магнетика со спином магнитного иона $S=1$ определены все фазовые состояния, реализующиеся при различных соотношениях констант обменного взаимодействия и параметров анизотропии. Анализ плотности свободной энергии позволил изучить поведение системы в окрестностях ориентационных фазовых переходов. Показано, что понятие ориентационного фазового перехода справедливо, в том числе для систем с тензорными компонентами параметра порядка – переориентация связана с поворотом вектора-директора эллипсоида, являющегося геометрическим образом тензора квадрупольного момента. В области реализации легкоплоскостной и угловой фаз модуль магнитного момента существенно зависит от параметров анизотропии, в отличие от классического случая одноосного магнетика.

При исследовании ориентационных ферромагнитных переходов определены особенности поведения системы с учетом квантового сокращения спина. Особенно этот эффект проявился в случае неустойчивости угловой ферромагнитной фазы: на линии фазового перехода скачком меняются модуль намагниченности

Анализ статических свойств системы в случае реализации только нематических фаз показал, что фазовые переходы по тензорному параметру порядка по характеру близки к ориентационным фазовым переходам (рис.1).

Особый интерес представляют результаты, полученные при изучении фазовых переходов, характеризующихся изменением модуля намагниченности. Во-первых, это фазовые переходы (из угловой или легкоосной ферромагнитных фаз в любую нематическую) второго рода, сопровождающиеся непрерывным изменением модуля намагниченности; Во-вторых, фазовый переход легкоосная ферромагнитная – нематическая осевая фазы является фазовым переходом первого рода при котором скачком меняется модуль намагниченности,

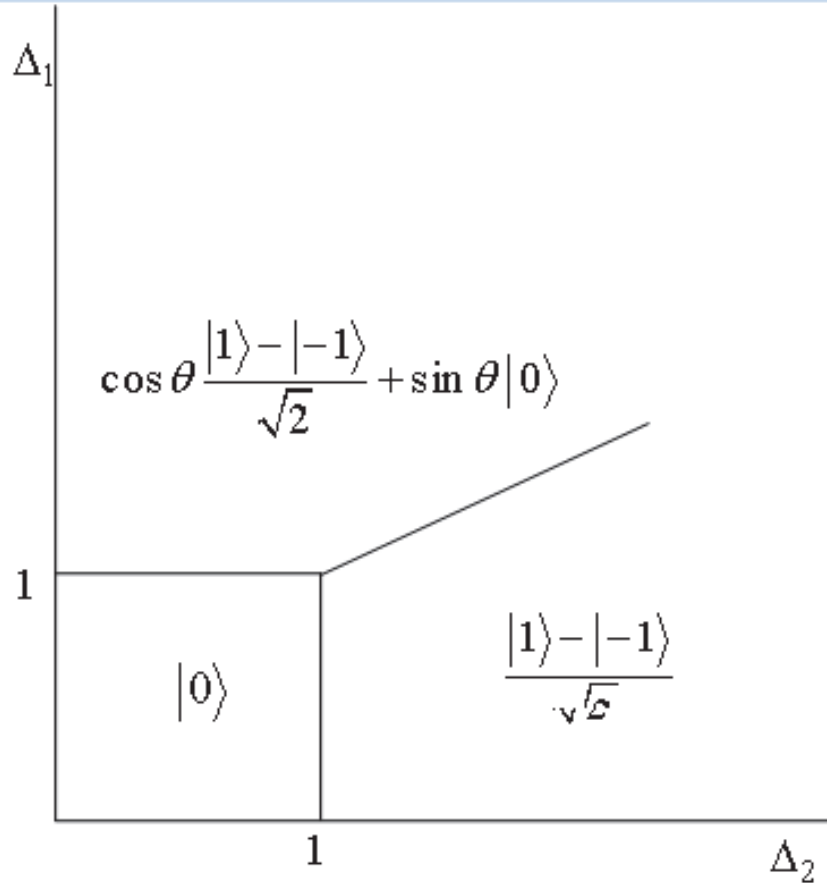


Рис.1 Фазовая диаграмма обменно анизотропного негейзенберговского магнетика в плоскости параметров анизотропии (Δ_1, Δ_2) при $J_0/K_0 < 1$.

Что касается негейзенберговского магнетика с отрицательными параметрами меионной анизотропии (в нашей терминологии «негейзенберговский «легкоосный» ферромагнетик»), то его поведение очень сильно напоминает изинговский магнетик со спином магнитного иона единица. Эта аналогия связана, прежде всего, с тем, что в нем присутствует гигантская одноосная анизотропия, ось которой совпадает с осью квантования, и, следовательно, никаких фазовых состояний, не соответствующих такой симметрии в системе возникнуть не может, а переход между устойчивыми фазами обусловлен только конкуренцией обменных интегралов, а не параметров анизотропии. Кроме того, спектры элементарных возбуждений во всех возможных спиновых конфигурациях являются бездисперсионными, что также свидетельствует об изингоподобности рассматриваемой системы. Кроме того, одной из особенностей рассматриваемой модели, является то, что спектры элементарных возбуждений не «размягчаются», т.е фазовый переход нематическая-ферромагнитная не является переориентационным.

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРОБНОЙ НУЛЬ-СТРУНЫ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ ДВУХСЛОЙНОЙ РАДИАЛЬНО КОЛЛАПСИРУЮЩЕЙ МУЛЬТИ-СТРУННОЙ СИСТЕМЫ

Леяков А.П.¹ Бабаджан Р.-Д. А.²

¹доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ

²студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ

lelyakov@crimea.edu

Введение. Космические струны являются одномерными областями концентрации энергии, которые могут естественно возникать в результате спонтанного нарушения симметрии при фазовых переходах в процессе эволюции Вселенной. В рамках различных моделей Теории Великого Объединения они проявляются как топологические дефекты и представляют собой устойчивые образования. Наличие таких объектов во Вселенной не противоречит наблюдаемому микроволновому реликтовому излучению. Так же не исключается, что космические струны могли сохраниться до современной эпохи и могут быть наблюдаемыми.

Нуль-струны реализуют предельный случай нулевого натяжения для струн Намбу-Гото (т.е., описывают предельный случай, в котором скорость всех точек струны равна скорости света), а поскольку натяжение струны измеряется отрицательными степенями массы планка, то предел нулевого натяжения соответствует асимптотически большим масштабам энергии. С этой точки зрения, нуль-струны реализуют высокотемпературную фазу теории струн т.е., могли образовываться на ранних этапах эволюции Вселенной и, таким образом, возможно, участвовали в процессах формирования структуры наблюдаемой Вселенной.

Цель и задачи исследования. В предложенной работе проведен анализ и определены особенности движения пробной нуль-струны в гравитационном поле простейшей мульти-струнной системы состоящей из двух замкнутых нуль-струн, для наиболее интересного случая, когда «зоны взаимодействия» нуль-струн, образующих мульти-струнную систему, перекрываются.

В цилиндрической системе координат $x^0 = t$, $x^1 = \rho$, $x^2 = \theta$, $x^3 = z$, функции $x^\alpha(\tau, \sigma)$, определяющие траектории движения (мировые поверхности) двух замкнутых нуль-струн, образующих рассматриваемую в работе мульти-струнную систему (источник), имеют вид:

$$t = \tau, \rho = -\tau, \theta = \sigma, z = \mp z_0, \tau \in (-\infty; 0], \sigma \in [0; 2\pi], \quad (1)$$

где z_0 - положительная константа. Можно отметить, что траектории (1) описывают случай движения мульти-струнной системы, имеющей слоистую структуру, а именно, в системе имеется два слоя (поверхности), положение которых на оси z определяет константа z_0 . На каждом слое находится по одной замкнутой нуль-струне, радиусы которых, в любой фиксированный момент времени $t = t_0$, одинаковы.

Из равенств (1) также непосредственно видно, что в начальный момент времени нуль-струны, образующие мульти-струнную систему, располагаются в плоскостях $z = \mp z_0$ и имеют бесконечно большой размер. В дальнейшем с увеличением значений переменной t каждая нуль-струна, оставаясь в той же плоскости, только уменьшает свой радиус (случай радиального коллапса мультиструнной системы).

Результаты исследования. В предложенной работе анализ возможных траекторий движения пробной нуль-струны был проведен для случая в котором пробная нуль-струна в каждый момент своего движения «навстречу» мульти-струнной системе имеет форму окружности, радиус которой изменяется с течением времени, и всегда находится в

плоскости, параллельной плоскости расположения нуль-струн мульти-струнной системы. Было показано, что в зависимости от значения величины начальных импульсов точек пробной нуль-струны по переменной z действие гравитационного поля двухслойной радиально коллапсирующей мульти-струнной системы может приводить или к пульсирующим (ограниченным по переменной z и не ограниченным по переменной ρ) движениям пробной нуль-струны, или к устойчивым во времени колебаниям пробной нуль-струны в окрестности фиксированной (неподвижной) точки пространства (повторяющиеся траектории ограничены и по переменной z , и по переменной ρ).

На рис.1 в переменных t, z, ρ , схематично, приведена двумерная мировая поверхность пробной нуль-струны, которая реализуется при ее колебательном движении в гравитационном поле двухслойной радиально коллапсирующей мульти-струнной системы.

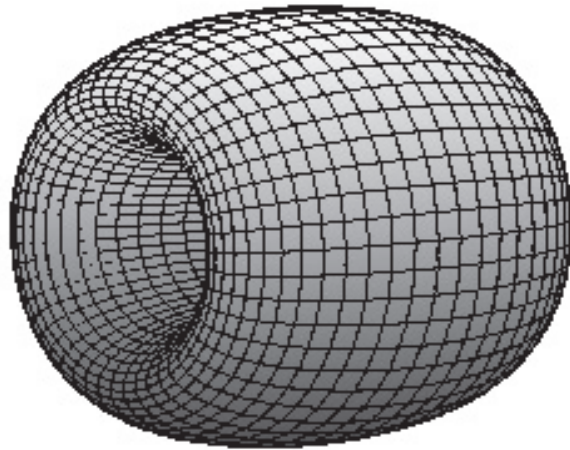


Рис.1. На рисунке приведена двумерная мировая поверхность пробной нуль-струны в случае колебательного движения.

Выводы. В работе рассмотрено движение пробной нуль-струны в гравитационном поле двухслойной радиально коллапсирующей мульти-струнной системы для наиболее интересного случая, в котором «зоны взаимодействия» нуль-струн, образующих мульти-струнную систему, перекрываются. Анализ возможных траекторий движения пробной нуль-струны показал, что движение пробной нуль-струны внутри каждой области «зоны взаимодействия» полностью определяется гравитационным полем уединенной нуль-струны, при этом, влияние мульти-струнной системы приводит только к особенностям движения пробной нуль-струны на границах области. Наиболее интересным результатом работы можно считать то, что устойчивые во времени и ограниченные в пространстве области, внутри которых происходят колебания нуль-струны (в окрестности фиксированной (неподвижной) точки), можно рассматривать как локализованные в пространстве частицы с эффективной ненулевой массой покоя. В этом случае, способность мульти-струнных систем, при перекрывании «зон взаимодействия», порождать частицы с эффективной ненулевой массой покоя можно рассматривать как возможную альтернативу механизму Хиггса.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКАЛЯРНОГО ПОЛЯ ДЛЯ СЛОИСТОЙ МУЛЬТИ-СТРУННОЙ СИСТЕМЫ ДВИЖУЩЕЙСЯ В ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Леляков А.П.¹ Осокин К.С.²

¹доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

²аспирант кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

lelyakov@crimea.edu

Введение. Исследование движения пробной нуль-струны в гравитационном поле замкнутой нуль-струны постоянного (неизменного со временем) радиуса а также в гравитационном поле замкнутой нуль-струны, радиально расширяющейся или радиально коллапсирующей в плоскости позволяет предполагать возможность существования ряда интересных, с точки зрения космологии, свойств газа нуль-струн. Так, например, было отмечено, что наличие для пробной нуль-струны только «узкой» области («зоны взаимодействия»), находясь в которой пробная нуль-струна может взаимодействовать с нуль-струной, порождающей гравитационное поле, говорит о возможности реализации «зернистой» структуры пространства, заполненного газом нуль-струн. Наличие для каждой пробной нуль-струны, попавшей в «зону взаимодействия» аномальных участков траектории, на которых пробная нуль-струна за очень короткий промежуток времени или ускоренно выталкивается на бесконечность, или ускоренно притягивается из бесконечности, подтверждает, хотя и косвенно, гипотезу о возможной струнной природе механизма инфляции Вселенной. Анализ решений уравнений движения пробной нуль-струны, приведенный в этих же работах показал возможность реализации устойчивых поляризованных состояний (фазы) газа нуль-струн, а также возможность образования доменной структуры в пространстве, заполненном газом нуль-струн.

Цель и задачи исследования. В предложенной работе рассмотрена простейшая реализация «газа» нуль-струн (мульти-струнной системы), а именно, рассмотрен случай, в котором $m \times n$ замкнутых нуль-струн, имеющих форму окружности неизменного (постоянного) радиуса, движутся в одном направлении.

В цилиндрической системе координат $x^0 = t$, $x^1 = \rho$, $x^2 = \theta$, $x^3 = z$, функции $x^\alpha(\tau, \sigma)$, определяющие траектории движения (мировые поверхности) замкнутых нуль-струн, образующих рассматриваемую в работе мульти-струнную систему, которая движется вдоль отрицательного направления оси z , имеют вид:

$$t = \tau, \rho = R_i, \theta = \sigma, z = z_j^0 - \tau, \tau \in (-\infty; +\infty), \sigma \in [0; 2\pi], \quad (1)$$

где: τ и σ параметры на мировой поверхности нуль-струны, $R_i = \text{const}$, $i = 1..n$, $z_j^0 = \text{const}$, $j = 1..m$, причем $R_{i+1} > R_i$, и $z_{j+1}^0 > z_j^0$. Можно отметить, что траектории (1) описывают случай движения мульти-струнной системы, имеющей слоистую структуру, а именно, в системе имеется m слоев (поверхностей), расстояние между которыми определяются константами z_j^0 , на каждом слое находится n замкнутых соосных нуль-струн различных, но неизменяющихся с течением времени радиусов R_i , причем, расположение замкнутых нуль-струн на каждом таком слое одинаково. Мы рассматривали компоненты струнного тензора энергии-импульса как предел некоторого «размазанного» распределения, в качестве которого удобно выбрать вещественное безмассовое скалярное поле, требуя при этом, чтобы компоненты тензора энергии-импульса скалярного поля, в пределе сжатия, асимптотически совпали с компонентами нуль-струнного тензора энергии-импульса.

Результаты исследования. В предложенной работе функция распределения скалярного поля для рассматриваемого случая мульти-струнной системы, есть

$$\varphi(q, \rho) = -\ln(\alpha(q) + \lambda(q)f(\rho)) \quad (2)$$

где функции $\lambda(q)$ и $\alpha(q)$ связаны соотношением $\lambda(q) = (1 - \alpha(q)) / f_0$, $f_0 = \text{const}$, функции $\alpha(q)$ и $f(\rho)$ ограниченные и для всех $q \in (-\infty, +\infty)$ и $\rho \in [0, +\infty)$ принимают значения в интервале $0 < \alpha(q) < 1$, $0 < f(\rho) < f_0$, причём

$$\alpha(q) \Big|_{q \in (z_j^0 - \Delta q_j; z_j^0 + \Delta q_j)} \rightarrow 1, \quad \alpha(q) \Big|_{q \rightarrow z_j^0} \rightarrow 0, \quad f(\rho) \Big|_{\rho \in (R_i - \Delta \rho_i; R_i + \Delta \rho_i)} \rightarrow f_0, \quad f(\rho) \Big|_{\rho \rightarrow R_i} \rightarrow 0,$$

Δq_j и $\Delta \rho_i$ малые положительные константы, определяющие «толщину» кольца («размазанной» нуль-струны), занумерованной индексами i и j . Также в пределе сжатия скалярного поля в мульти-струнную систему должны быть выполнены условия:

$$\left| \frac{\alpha_{,q}}{\alpha(q)} \right|_{q \rightarrow z_j^0} \rightarrow \infty; \quad \left| \frac{f_{,\rho}}{f(\rho)} \right|_{\rho \rightarrow R_i} \rightarrow 0; \quad \left| \frac{\alpha_{,q}}{\alpha(q)} \times \frac{f_{,\rho}}{f(\rho)} \right|_{q \rightarrow z_j^0, \rho \rightarrow R_i} \rightarrow 0.$$

Ниже приведен один из возможных примеров функций $\alpha(q)$ и $f(\rho)$, удовлетворяющих найденным условиям:

$$\alpha(q) = \exp \left(\sum_{j=1}^m \frac{-1}{\varepsilon + \left(\xi_j (q - z_j^0) \right)^2} \right), \quad f(\rho) = f_0 \exp \left(-\gamma \left(1 - \exp \left(\sum_{i=1}^n \frac{-1}{(\zeta_i (\rho - R_i))^2} \right) \right) \right). \quad (3)$$

Используя (3) для (2) получаем выражение одного из возможных распределений безмассового скалярного поля, компоненты тензора энергии-импульса для которого, при сжатии, асимптотически совпадают с компонентами тензора энергии-импульса рассматриваемой мульти-струнной системы. На рис. 1 представлено изменение распределения скалярного поля по переменной ρ которое соответствует мульти-струнной системе, состоящей из трех нуль-струн, находящихся на одной поверхности. Здесь черным цветом выделена область, в которой $\varphi \rightarrow 0$.

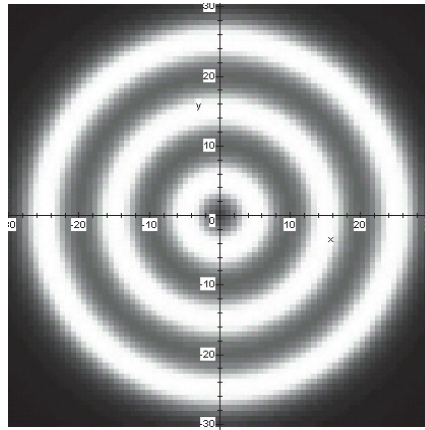


Рис.1. На рисунке представлено распределение скалярного поля, которое соответствует мульти-струнной системе, состоящей из трех нуль-струн, находящихся на одной поверхности.

Выводы. В работе предложено распределение скалярного поля, компоненты тензора энергии-импульса для которого, при сжатии, асимптотически совпадают с компонентами тензора энергии-импульса слоистой мульти-струнной системы движущейся в одном направлении.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТЕОРИТА

Максимова Е.М.¹, Гонцова С.С.², Наухацкий И.А.³, Милюкова Е.Т.⁴

¹доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ

²аспирантка кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ

²заведующий Лабораторией рентгеноструктурного анализа
Физико-технического института КФУ

³ведущий специалист Научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий Физико-технического института КФУ
maksimovaem@cfuv.ru

Введение. 15 февраля 2013 г. в районе Южного Урала произошло падением метеорита, получившего впоследствии название «Челябинский метеорит». Согласно данным института геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского (ГЕОХИ РАН), метеорит относится к каменным метеоритам редкого класса – обыкновенные хондриты LL5 (S4, W0). В найденных фрагментах Челябинского метеорита было обнаружено несколько литологий: светлая – основная часть метеорита с сохранившимися хондрами и многочисленными следами дробления (трещины, жилки, заполненные застывшим расплавом и т.п.); темная – микрозернистая, образовавшаяся в результате ударного плавления и смешанная – с переплавленными силикатными минералами.

Цель работы: исследование минерального состава образцов светлой литологии Челябинского метеорита.

Образцы и методы. Исследовано три образца Челябинского метеорита с зоной закалки 0,1-0,5 мм. Структурные исследования образцов проводились на дифрактометре общего назначения «ДРОН-3» методом порошков с использованием монохроматического медного излучения (Cu K α). Съемка проводилась в интервале углов от 10° до 100°. Морфологию образцов исследовали на растровом электронном микроскопе РЭМ-106 во вторичных и отраженных электронах с ускоряющим напряжением 20 кВ.

Результаты исследования. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что доминирующими фазами образцов Челябинского метеорита являются: оливин (Fe,Mg)₂SiO₄, плагиоклаз (Ca,Na)Al₂Si₂O₈ и минералы группы пироксенов (Mg,Fe,Ca)₂Si₂O₆. Также присутствуют: хромит (Fe,Mg)Cr₂O₄, камасит α -(Fe,Ni), тэнит γ -(Fe,Ni), троилит FeS, хизлевудит (Ni,Fe)₃S₂ и хлорapatит Ca₅(PO₄)₃Cl. Методом сканирующей электронной микроскопии на поверхности всех образцов обнаружены металлические включения со сложной внутренней структурой, размеры которых составляли от 20 до 160 мкм, рис. 1.

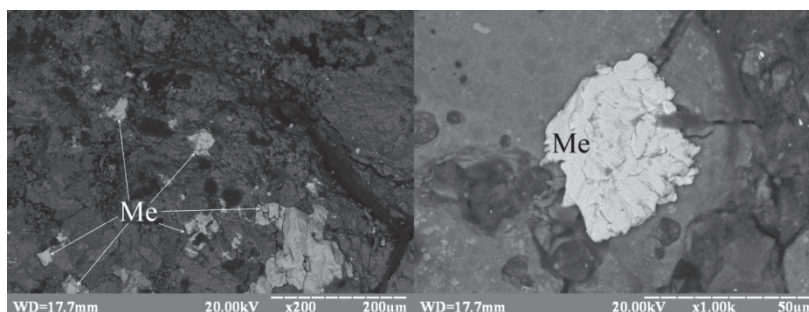


Рис. 1. Микроструктура металлических (Me) включений в Челябинском метеорите.

Выводы. Определен фазовый состав осколков светлой литологии Челябинского метеорита. Отмечено присутствие различных видов металлических минералов, образующих ассоциации с сульфидами и силикатами.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУЛЛЕРИТА

Мамадалиева Э.А.

*студентка кафедры теоретической физики и физики твердого
Физико-технического института КФУ*

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Максимова Е.М.

Консультант: заведующий Лабораторией рентгеноструктурного анализа Наухацкий И.А.
mamadaliyeva.elzara@mail.ru

Введение. В настоящее время многие лаборатории мира занимаются проблемой синтеза фуллеренов. Фуллерены являются уникальным функциональным материалом электроники и оптики, энергетики, биохимии и молекулярной медицины. Одним из препятствий для широкомасштабного применения и производства фуллеренов является несовершенство методов его синтеза. В КФУ разработан метод получения пористых углеродных материалов (ПУМ), фазовый состав которых исследован в работе Работягова К. В. и др. «Исследование структуры и физико-химических свойств пористых углеродных материалов, полученных низкотемпературным крекингом». Было установлено наличие в ПУМ фуллерита C_{60} – кристаллической структуры, состоящей из молекул фуллерена.

Цель работы: определение группы симметрии и величины параметров элементарной ячейки фуллерита ПУМ.

Результаты и обсуждение. Структурные исследования ПУМ проводились на рентгеновском дифрактометре «ДРОН-3» с использованием монохроматического медного излучения $\lambda(K\alpha) = 0,154184$ нм. Первичный и вторичный пучок ограничивался щелями: горизонтальной – 0,25 мм, вертикальной – 6 мм, щелями Соллера – 0,5 мм. Скорость вращения детектора – 0,5 °/min, постоянная времени – $1 \cdot 10^3$ imp/s. Скорость вращения образца – 120 оборотов в минуту (ось в плоскости съемки). Съемка образца проводилась в угловой области 2θ от 7° до 110°.

Полученная дифрактограмма приведена на рисунке 1.

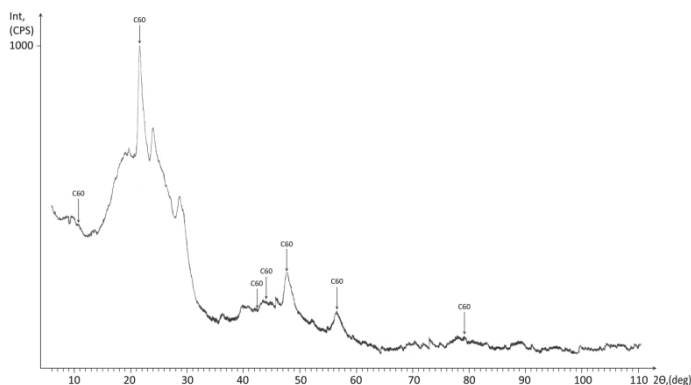


Рисунок 1. Дифрактограмма исследованного образца с пиками фуллерита C_{60} .

Структурные характеристики фуллерита определялись методом наименьших квадратов по уравнению Вульфа – Брегга:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$

где θ – угловое положение дифракционного пика; λ – длина волны рентгеновского излучения.

И по формуле определения размера элементарной ячейки:

$$a = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (2)$$

где d – межплоскостное расстояние; h, k, l – индексы интерференции.

Просуммировав по всем выбранным рефлексам, получаем нормальное уравнение для определения наиболее вероятной величины a :

$$\lambda^2/4a^2 \sum N_i^2 = \sum N_i \sin^2 \theta_i \quad (3)$$

где $N_i = h^2 + k^2 + l^2$.

Ошибка в определении величины постоянной решетки Δa определяется по формуле:

$$\Delta a = \sqrt{\frac{\sum (\Delta a_i)^2}{n}} \quad (4)$$

где $\Delta a = a_i - a$,

a_i – параметр элементарной кристаллической решетки, вычисленного для i -го рефлекса;

n – число рефлексов.

Результаты расчетов параметра a для элементарной ячейки кристалла фуллерита в исследованном образце представлены в таблице 1.

Таблица 1. Структурные характеристики фуллерита в ПУМ.

2θ	θ	$\sin^2 \theta$	$d, \text{Å}$	$N_{\text{ряд}}$	hkl	$a_i, \text{Å}$	$a_{\text{ист}}, \text{Å}$	$\Delta a_i, \text{Å}$	$\Delta a, \text{Å}$
10,73	5,37	0,0088	8.2330	3	111	14,259	14,259	0,000	0,002
21,59	10,79	0,035	4.1165	12	222	14,259		0,000	
41.57	20,79	0,1259	2.1746	43	353	14,257		0,002	
42.04	21,02	0,1287	2.1498	44	622	14,258		0,001	
44.03	22,01	0,1405	2.0583	48	444	14,260		0,001	
56.28	28,14	0,2224	1,6357	76	662	14,259		0,000	
79.19	39,56	0,4056	1,2095	139	793	14,259		0,000	
90.27	45,13	0,5022	1,0876	172	6.10.6	14,263		0,004	

Выводы. Фуллерит C_{60} , содержащийся в пористом углеродосодержащем материале описывается группой симметрии $Fm\bar{3}$ и имеет кубическую гранецентрированную решетку с параметром элементарной ячейки $a=14,259 \pm 0,002 \text{ Å}$.

СПИРАЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА В НЕГЕЙЗЕНБЕРГОВСКИХ МАГНЕТИКАХ С АНИЗОТРОПИЕЙ ТИПА «ЛЕГКАЯ ОСЬ»

Неклюдов Е.А.¹

¹студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Фридман Ю.А.

nekludov95@rambler.ru

Введение. Первая модулированная магнитная структура – простая магнитная спираль – была экспериментально обнаружена в MnAu₂ более 40 лет назад. Спиральная магнитная структура представляет интерес не только как самостоятельный объект исследований, но и в связи с другими фундаментальными вопросами физики конденсированного состояния, такими как мультиферроики, или необычные фазовые состояния, как например, киральная спиновая жидкость.

Среди механизмов, отвечающих за реализацию спиральной магнитной структуры можно выделить два основных. Одной из причин возникновения длинноволновых периодических магнитных структур является конкуренция положительных и отрицательных обменных взаимодействий между соседними и следующими за ними атомами в магнитном кристалле, т.е. фрустрированное обменное взаимодействие. Нефрустрированная спираль возникает в магнетиках без центра инверсии благодаря наличию взаимодействия Дзялошинского-Мория в дополнение к гейзенберговскому обменному взаимодействию.

Фрустрированные спиральные магнитные структуры хорошо изучены в различных магнитоупорядоченных системах. Однако существует большое количество систем, свойства которых невозможно описать в рамках модели Гейзенберга. Такие системы получили название негейзенберговских. К негейзенберговским магнетикам прежде всего относятся системы, в обменном взаимодействии которых существенную роль играют высшие спиновые инварианты, а также магнетики с большой одноионной анизотропией типа «легкая плоскость» (сравнимой, или даже превосходящей обменное взаимодействие). Однако, в данной работе нас интересует влияние высших спиновых инвариантов на поведение фрустрированных магнетиков.

Цель и задачи. Целью данной работы является теоретическое исследование практически ранее не изученного вопроса о реализации спиральной магнитной структуры в магнетике с фрустрированным билинейным и биквадратичным обменным взаимодействием.

Результаты исследований. В качестве исследуемой системы рассмотрим бесконечный магнитный кристалл, в котором кроме фрустрированного билинейного (гейзенберговского) взаимодействия учитывается биквадратичное обменное взаимодействие. Это означает, что спин магнитного иона рассматриваемой системы $S=1$. Также это минимальное значение спина магнитного иона, при котором возможно существование одноионной анизотропии. Нас прежде всего интересует возможность реализации спиральной магнитной структуры, для чего система должна обладать легкоосной одноионной анизотропией, формирующей ось спирали. Гамильтониан такого магнетика можно представить в виде:

$$\mathcal{H} = -\frac{1}{2} \sum_{f,f'} \tilde{J}(f-f') (\mathbf{S}_f \mathbf{S}_{f'}) - \frac{1}{2} \sum_{n,n'} K(n-n') \delta_{ll'} (\mathbf{S}_n \mathbf{S}_{n'})^2 - \frac{\beta}{2} \sum_f (S_f^z)^2, \quad (1)$$

где $f=(l,n)$ – номер узла в кристалле, а обменное взаимодействие определено следующим образом: $\tilde{J}(f-f') = J(n-n') \delta_{l,l'} - J^{(1)}(l-l') \delta_{n,n'} \delta_{l',l+1} + J^{(2)}(l-l') \delta_{n,n'} \delta_{l',l+2}$, n – номер узла в базисной плоскости (ХОУ), индекс l нумерует узлы вдоль направления ОZ, которое совпадает с направлением волнового вектора спирали; S_f^i – i -я компонента спинового

оператора в узле f ; $\beta > 0$ – константа легкоосной одноионной анизотропии. При этом мы полагаем $J^{(1)}$ больше, чем $J^{(2)}$. Дальнейшие вычисления будем проводить для случая низких температур ($T = 0$), в котором наиболее ярко проявляются квантовые свойства системы.

Используя диаграммную технику для операторов Хаббарда удастся построить плотность свободной энергии системы и спектры элементарных возбуждений. Анализ этих величин позволил определить устойчивые фазовые состояния исследуемой системы, линии потери устойчивости соответствующих фаз, а также типы фазовых переходов.

Выводы. Таким образом, мы можем констатировать, что в негейзенберговском легкоосном магнетике кроме однородных FM и SN фаз (переход между которыми является вырожденным переходом первого рода) возможна реализация двух пространственно-неоднородных фаз: ферромагнитная спираль (FS) и квадрупольно ферромагнитная спираль (QFS), имеющих различный период спирали и принципиально различное поведение параметров порядка. Качественно фазовая диаграмма приведена на рисунке 1.

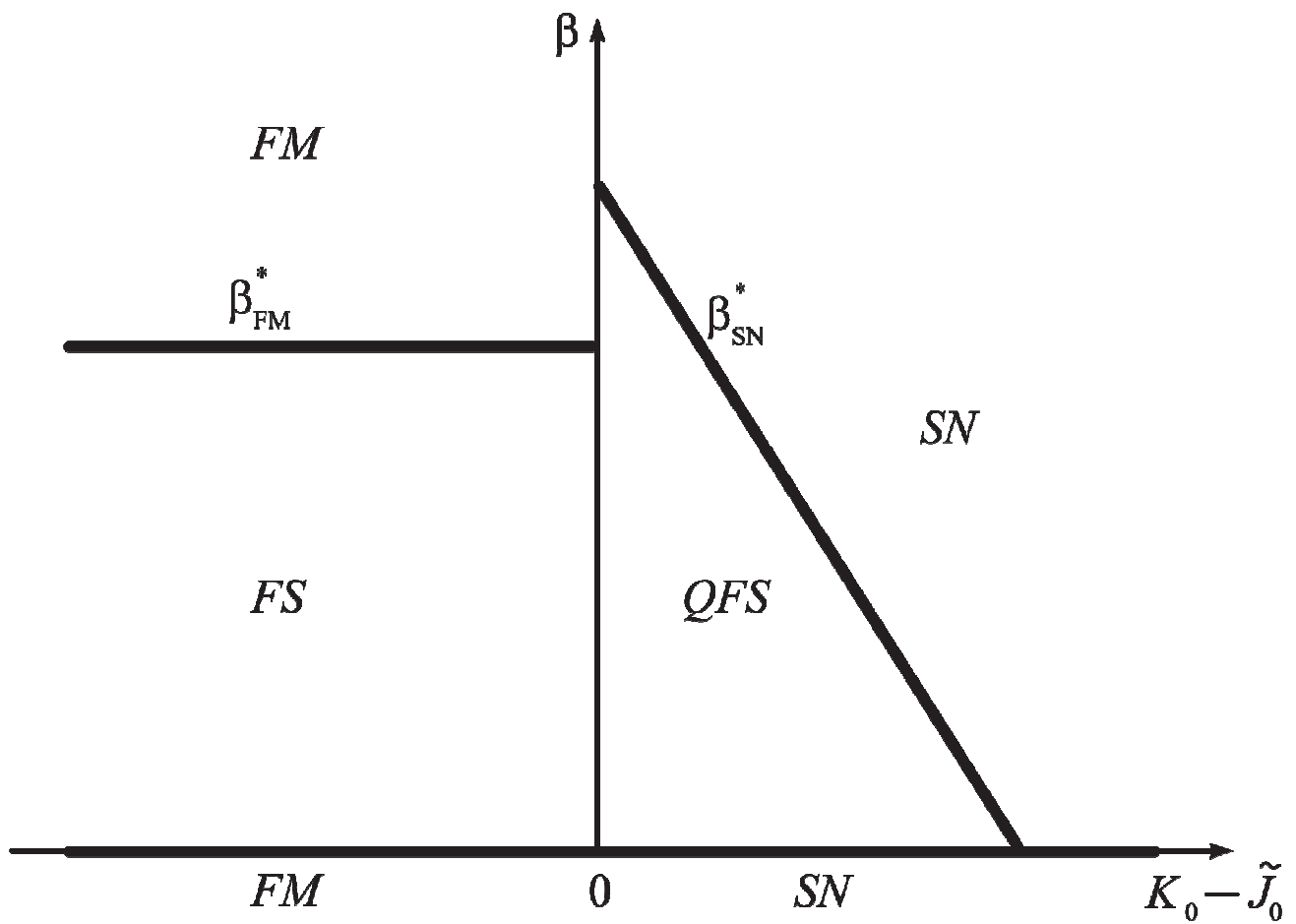


Рис. 1. Фазовая диаграмма легкоосного негейзенберговского магнетика с фрустрированным билинейным обменным взаимодействием.

ТВЕРДОФАЗНЫЙ СИНТЕЗ FeVO_3 ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

Щепоткин А.В.¹

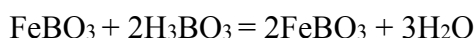
*¹студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ*

научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики и физики
твердого тела Физико-технического института КФУ Стругацкий М.Б.

Введение. В современном мире для связи, обработки и получения информации используется множество портативных устройств с автономными источниками электрической энергии. Чаще всего применяются химические источники тока. Среди них наиболее распространённые и востребованные – литий-ионные аккумуляторы, имеющие ряд важных преимуществ. Для увеличения емкости аккумуляторов и количества циклов «заряд-разряд» исследователи разрабатывают новые катодные материалы, а также оптимизируют технологию их получения.

Цель и задачи исследований. Целью работы является поиск новых оксидных соединений d-металлов для применений в литий-ионных аккумуляторах с целью существенного повышения их емкости. В ходе анализа литературных данных установлено, что перспективными в этом отношении материалами являются соединения со структурой кальцита, в частности, борат железа, FeVO_3 .

Результаты исследований. В данной работе монокристаллы бората железа выращиваются методом твердофазного синтеза. Такой метод наиболее приемлем с точки зрения рентабельности и относительной простоты при производстве большого количества электродного материала. Для твердофазного синтеза кристаллического вещества FeVO_3 выбран процесс, описываемый химическим уравнением:



Материал, полученный в результате твердофазного синтеза, исследовался на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3. Для этого применялся порошковый метод рентгеноструктурного анализа в геометрии Брегга-Брентано. Анализ полученных дифрактограмм показал наличие кристаллической фазы FeVO_3 .

Выводы. В результате проведенных экспериментов определен температурный режим и разработана методика твердофазного синтеза, получены образцы кристаллов бората железа, что было подтверждено рентгеноструктурным анализом. В дальнейшем необходимо исследовать возможность использования синтезированного таким методом бората железа в качестве составной части катода литий-ионного аккумулятора.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ БОРАТА ЖЕЛЕЗА МЕТОДОМ АППРОКСИМАЦИИ

Шаповал М.А.¹, Замковская А.И.²

¹студентка кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского

²студентка кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Максимова Е.М.

Консультант: заведующий Лабораторией рентгеноструктурного анализа Наухацкий И.А.

trabem.z@gmail.com

Введение. Механические и физико-химические свойства материала существенно зависят от его дисперсности, т. е. от размеров кристаллитов, блоков мозаики или частиц, а также от величин микродеформаций в исследуемом материале. Рентгенографическое измерение параметров тонкой структуры материалов возможно из анализа уширения дифракционных линий.

Цель работы – определение размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) и величин микродеформаций в кристалле бората железа FeVO_3 методом аппроксимации.

Результаты исследований. Для выявления влияния микроискажений и дисперсности образца бората железа, нами анализировались формы рентгеновских дифракционных максимумов двух порядков отражения для исследуемого и эталонного образца. В качестве эталона выступил сам образец, оттоженный при температуре 600 градусов. Структурные исследования проводились на рентгеновском дифрактометре SmartLab Rigaku с использованием медного монохроматического излучения на поликристаллическом образце FeVO_3 в угловой области от 20° до 100° с шагом сканирования по углу $0,02^\circ$. Для расчетов были выбраны отражения с кратными индексами: (012) и (024), рис.1. Пик с индексами (012) является отражением первого, а (024) – отражением второго порядка от серии плоскостей с индексами {012}, рис.2.



Рис.1. Пик (012) исследуемого и эталонного образца.



Рис.2. Пик (024) исследуемого и эталонного образца.

Ширина каждой экспериментальной линии V состоит из двух частей: инструментальной ширины b (ширина линии эталона), зависящая от геометрии съёмки, расходимости пучка, размера фокуса трубки и т.д., и физического уширения β ,

определяемого факторами несовершенства структуры (дисперсностью, микроискажениями, дефектами упаковки и т. д.).

Значение B и b находят из профиля дублетной линии независимо от того, какой функцией описывается профиль, по формуле:

$$B = \frac{S}{2I_1 - I_2} \quad (1)$$

где S – площадь под профилем; I_1 и I_2 – ординаты этого профиля в точках максимумов синглетов $K\alpha_1$ и $K\alpha_2$, соответственно. Для их нахождения определяют абсциссу центра тяжести $2\theta_{ц.т.}$, откладывают от неё в сторону малых углов $\frac{2}{3}\delta$ и находят I_1 ; затем откладывают в сторону больших углов $\frac{4}{3}\delta$ и находят I_2 .

Где δ определяется по формуле:

$$\delta(2\theta) = 2 \frac{\lambda_{\alpha 1} - \lambda_{\alpha 2}}{\lambda_{\alpha 1}} \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (2)$$

Если экспериментальная и эталонная кривые описываются кривыми Гаусса, то истинное уширение определяется формулой:

$$\beta^2 = B^2 - b^2 \quad (3)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Определение физического уширения линий FeVO₃ методом аппроксимации

hkl	δ , мм	θ , °	S , мм ²	B , рад	b , рад	β , рад
(012)	2	12,52	2420	0,0027		0,0018
(012)	2	12,5	2236		0,002	
(024)	5	25,88	723	0,0022		0,0019
(024)	5	25,85	572		0,0011	

Известно, что если уширение вызвано микродеформациями, то оно пропорционально тангенсу угла отражения, а если же уширение вызвано малым размером частиц, то оно обратно пропорционально косинусу угла отражения. В нашем случае отношение $\beta_1/\beta_2=1,1$ ближе к отношению секансов углов отражения, следовательно, основной вклад в уширение линий вносит дисперсность исследованного образца (размеры ОКР).

Средний эффективный размер блоков по нормали к (012), рассчитанный с помощью формулы Селякова-Шеррера:

$$D_{\text{эфф}} = 0,94 \cdot \lambda \cdot \beta_1^{-1} \cdot \sec \theta_1 \quad (4)$$

равен $82,4 \pm 1,64$ нм.

Заключение. Таким образом, зависимость ширины рентгеновских дифракционных пиков кристаллов бората железа от угла отражения соответствует закону обратного косинуса, что свидетельствует о размерном характере уширения этих пиков.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ОТЖИГ МОНОКРИСТАЛЛОВ БОРАТА ЖЕЛЕЗА

Снегирев Н.И.¹

¹студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института КФУ

научный руководитель: заведующий лабораторией роста кристаллов Ягупов С.В.

Введение. Кристалл FeVO_3 впервые был синтезирован еще в 1963 году, однако интерес к исследованию его свойств и дальнейшему совершенствованию методов синтеза не угасает. Это связано с тем, что борат железа обладает уникальным сочетанием магнитных, резонансных, оптических, магнитооптических и магнитоупругих свойств. Кристалл имеет структуру кальцита, является низкотемпературным антиферромагнетиком (температура Нееля 75°C) со слабым ферромагнетизмом и магнитной анизотропией типа легкая плоскость.

В последнее время открываются новые перспективы применения качественных монокристаллов бората железа в высокотехнологичных отраслях науки и техники. Качественные пластинчатые монокристаллы FeVO_3 получают методом роста из раствора в расплаве. Однако в процессе извлечения синтезированных образцов из раствор-расплава в них могут возникать напряжения и дефекты. Отжиг монокристаллических образцов является основной методикой устранения напряжений и дефектов кристаллической решетки в результате диффузии и структурной перестройки. При выборе режима отжига необходимо определить температурные пределы, при которых борат железа не претерпевает структурных изменений.

Цель и задачи. Целью настоящей работы является исследование влияния высокотемпературного отжига на свойства монокристаллов бората железа. В связи с этим возникла необходимость решения следующих задач: изготовление экспериментальной установки, подбор образцов, подбор температурных режимов отжига, исследование отожженных образцов.

Методика исследований. Основой экспериментальной установки является миниатюрная печь сопротивления, оснащенная защитным сапфировым экраном, светодиодной подсветкой шахты и цифровой видеокамерой. Для обеспечения настройки системы визуализации процесса была разработана и изготовлена конструкция позиционирования исследуемого образца относительно видеофиксатора. Управление температурным режимом отжига осуществлялось с помощью микропроцессорного регулятора по заданной программе.

Методика эксперимента предполагала отбор образцов, помещение отобранных кристаллов в безградиентную область шахты печи, отжиг по заданному температурному режиму с визуализацией процесса, извлечение образца. Серия экспериментов проводилась в температурном диапазоне $600 - 1100^\circ\text{C}$. До и после отжига снимались спектры оптического поглощения.

Результаты исследований. Проведен сравнительный анализ спектров оптического поглощения монокристаллов бората железа, подвергнутых высокотемпературному отжигу. В результате обнаружено существенное различие между спектрами исследуемых образцов, отожженных при температурах меньших 800°C и спектрами образцов, отожженных при более высоких температурах. Это дает возможность предположить существование структурных переходов в диапазоне температур выше 800°C .

Выводы. В результате работы установлен безопасный температурный порог отжига монокристаллов FeVO_3 , при превышении которого наступают необратимые изменения. Он составляет $\sim 780^\circ\text{C}$. На данный момент ведутся исследования природы выявленных изменений; предполагается, что в процессе высокотемпературного воздействия на монокристалл бората железа появляются новые кристаллические фазы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ КОСТНОГО ГИДРОКСИАПАТИТА МЕТОДОМ ГРАФИЧЕСКОЙ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

Черкасская К.В.

*студентка кафедры теоретической физики и физики твердого
Физико-технического института КФУ*

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Максимова Е.М.

Консультант: заведующий Лабораторией рентгеноструктурного анализа Наухацкий И.А.
kristina_cherkasskaya@mail.ru

Введение. Интерес исследователей к изучению апатитных соединений вызван использованием последних в качестве искусственных биоматериалов, совместимых с костной тканью, люминофоров, сенсоров влаги и спирта, ионообменников, адсорбентов экологически вредных и радиоактивных веществ. Среди апатитных соединений особое место занимает гидроксиапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Его можно считать кристаллохимическим аналогом минеральной составляющей тканей скелета животных и людей.

Между данными разных исследователей по определению размеров кристаллической решетки гидроксиапатита, полученными в разное время, с использованием разной аппаратуры и на разных объектах имеются некоторые расхождения. Поэтому при строгом описании новых синтетических материалов или природных объектов часто ссылаются на тот или иной, уже охарактеризованный стандарт.

Цель работы: расчет параметров кристаллической решетки костного гидроксиапатита методом графической экстраполяции.

Результаты и обсуждение. Структурные исследования костного гидроксиапатита нижних челюстей белых крыс проводились на рентгеновском дифрактометре «ДРОН-3» с использованием монохроматического медного излучения в угловом диапазоне 2θ от 10° до 100° .

Расчет параметров «а» и «с» кристаллических решеток исследуемого костного гидроксиапатита проводился по квадратичной формуле для кристаллов гексагональной сингонии (группа симметрии гидроксиапатита $63/m$):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4(h^2 + hk + k^2)}{3a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (1)$$

где d – межплоскостное расстояние; h, k, l – индексы интерференции; a, c – постоянные решетки.

Величина d рассчитывалась из уравнения Вульфа – Брегга:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2)$$

где θ – угловое положение пика; λ – длина волны рентгеновского излучения.

Характерной особенностью дифракционных пиков гидроксиапатита является их перекрытие, возникающее вследствие их значительного уширения, что затрудняет процесс определения центра тяжести этих пиков и уменьшает точность определения величины параметров кристаллической решетки.

Для прецизионного определения периодов кристаллической решетки гидроксиапатита в работе использовался метод графической экстраполяции. Для этого рассчитывают вначале параметры «а» для линий типа $(hk0)$ и «с» для линий типа $(00l)$, а затем определяют эти параметры для всех линий дифрактограммы по (1), таблица 1.

Таблица 1. Размер параметра «а» элементарной ячейки костного гидроксиапатита при значении параметра «с»= $6,90 \pm 0,02$ Å, определенного для пика (002).

2θ	h	k	l	a (Å)
21.8	0	2	0	9.415
33	3	0	0	9.402
39.8	1	3	0	9.429
46.8	2	2	2	9.403
50.6	2	3	1	9.408

Затем строят график зависимости параметра решетки от экстраполяционной функции $f(\theta) = \cos^2 2\theta$. Полученный график аппроксимируют прямой линией по методу наименьших квадратов и экстраполируют до значения $\theta = 90^\circ$, где систематическая ошибка в определении параметра близка к нулю, рис.1.

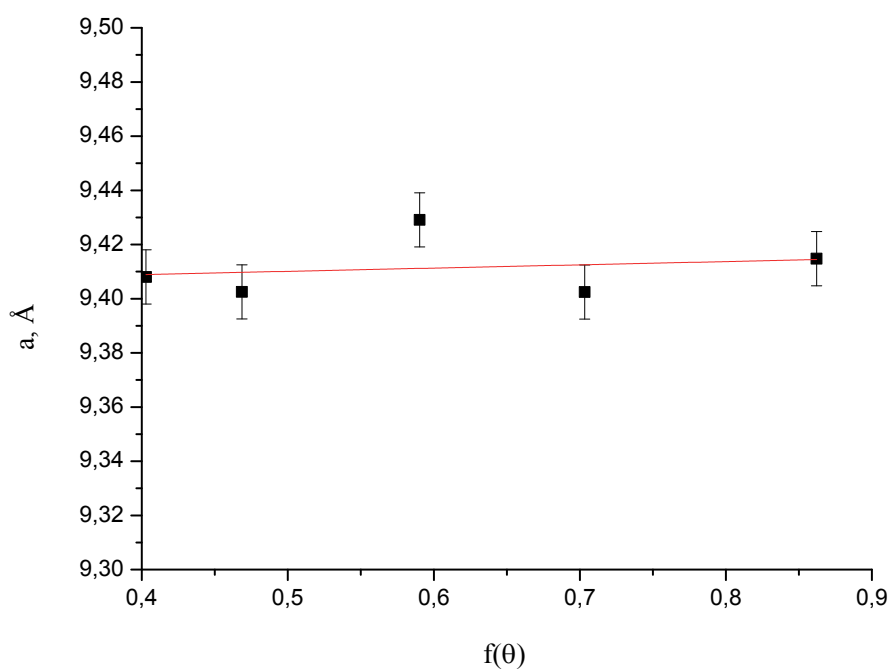


Рисунок 1 – Определение параметра «а» костного гидроксиапатита методом графической экстраполяции.

Результирующее значение параметров кристаллической решетки: $a = 9,404 \pm 0,006$ Å, $c = 6,834 \pm 0,008$ Å.

Вывод. Метод графической экстраполяции позволяет увеличить точность определения параметров кристаллической решетки костного гидроксиапатита.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК БОРАТА ЖЕЛЕЗА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Ягупов С. В.¹, Могиленец Ю. А.², Селезнева К. А.², Стругацкий М. Б.³, Дровосеков А. Б.⁴

¹*заведующий лабораторией Роста кристаллов кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ*

²*специалист по учебно-методической работе кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ*

³*профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ*

⁴*научный сотрудник Института физических проблем им. П.Л. Капицы РАН
strugatskymb@cfuv.ru*

Введение. Монокристаллы бората железа, FeBO_3 , обладают редким сочетанием магнитных, оптических, магнитооптических и резонансных свойств и представляют большой интерес как с фундаментальной, так и с практической точек зрения (R. Diehl, W. Jantz, B.I. Nolang, W. Wettling, (1984), in: Current Topics in Materials Science. Vol. 11, pp. 241-387, E. Kaldis, ed., Elsevier: New-York). В частности, FeBO_3 принадлежит к классу магнитных материалов, в которых магнитные характеристики приповерхностного слоя (10-100 нм) резко отличаются от объемных (Maksimova E., Nauhatsky I.A., Strugatsky M.B., Zubov V.E. (2010), JMMM, 322, 477-480). Изучение поверхностных магнитных явлений в кристаллах – важная и актуальная задача. Для более глубокого понимания упомянутого различия предлагается изучить «чисто» поверхностные магнитные эффекты, не подавляемые объемом. Очевидно, что для этой цели необходима низкоразмерная система – тонкая магнитная пленка FeBO_3 на диамагнитной подложке.

Цель и задачи. Целью настоящей работы является исследование магнитных пленок бората железа, в частности, определение магнитного упорядочения в них.

Методика исследований. В качестве подложек для магнитных пленок FeBO_3 были выбраны диамагнитные прозрачные монокристаллы GaBO_3 , синтезированные методом раствор-расплавной кристаллизации (Yagupov S., Strugatsky M., Seleznyova K., Maksimova E., Nauhatsky I., Yagupov V., Milyukova E., Kliava J. (2015), Appl. Phys. A, 121, 179-185). Кристаллы FeBO_3 и GaBO_3 являются изоморфными и обладают близкими параметрами элементарной ячейки. Последнее дает возможность осуществить синтез пленки на подложку методом жидкофазной эпитаксии. Исследования электронного магнитного резонанса (ЭМР) синтезированных пленок толщиной ~ 4 мкм были проведены в диапазоне температур 295-350 К и частот 15 – 35 ГГц в постоянных магнитных полях до 5 кЭ.

Результаты исследований. На ЭМР спектрах пленок FeBO_3 присутствует линия резонансного поглощения в диапазоне полей, соответствующих низкочастотной ветви АФМР в монокристалле бората железа (Velikov L.V, Prokhorov A.S., Rudashevskii E.G., Seleznev V.N. (1974), JETP, 39, 909-915). Была определена температура Нееля для пленки $T_N = 350\text{K}$ как температура, при которой исчезает линия АФМР. Значение поля Дзялошинского $H_D = 57.7\text{ кЭ}$ было определено при комнатной температуре.

Выводы. Определенные методом ЭМР значения магнитных параметров T_N и H_D для пленки практически совпадают с соответствующими значениями для монокристаллического образца FeBO_3 (Velikov L.V, Prokhorov A.S., Rudashevskii E.G., Seleznev V.N. (1974), JETP, 39, 909-915). Последнее подтверждает существование магнитного порядка в пленке FeBO_3 при комнатной температуре.

НОВЫЙ МЕХАНИЗМ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Яворский М.А.¹, Викулин Д.В.²

¹заместитель директора по научной работе Физико-технического института КФУ

²студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико - технического института КФУ

phystechs@cfuv.ru

Введение. Данная работа посвящена исследованию распространения монохроматического излучения в оптических волокнах с акустооптическим взаимодействием.

Известно, что оптические волокна направляют как оптические, так и акустические волны. Это обеспечивает уникальные условия для высокоэффективного взаимодействия между световыми и акустическими лучами. Естественно, что значительные усилия сосредоточены на изучении акустооптического взаимодействия (АОВ) в обычных оптических волокнах. Как результат, предложено и реализовано значительное число устройств, основанных на АОВ, таких как частотные преобразователи, настраиваемые фильтры, волоконные ответвители. Данные устройства имеют такие преимущества, как низкие вносимые потери и возможность сверхбыстрого динамического управления.

В общепринятой модели АОВ процесс распространения изгибной акустической волны рассматривается как механический изгиб волокна. Исходя из этих представлений получают выражения для соответствующей поправки к показателю преломления. Несмотря на то, что данная модель описывает экспериментально наблюдаемую модовую конверсию, она содержит принципиальные противоречия. Действительно, вектор деформации при изгибе не совпадает с тем, что является решением уравнения Похгаммера для цилиндрического стержня в длинноволновом пределе (длина акустической волны много больше диаметра волокна). Из этого следует, например, что форма поперечного сечения волокна испытывает деформацию в модели с искусственно привнесенным изгибом, но сохраняется в логически последовательной модели на основе теории колебаний стержня.

Цели и задачи исследования. Целью работы является построение последовательной модели АОВ и получение на ее основе аналитических выражений для резонансных оптических мод в циркулярных оптических волокнах.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи исследования:

1. Получить выражение для показателя преломления циркулярного оптического волокна с АОВ, индуцированным изгибной акустической волной, в рамках предложенной модели;

2. Определить резонансные моды и соответствующие спектры постоянных распространения циркулярных оптических волокон с АОВ путем аналитического решения волнового уравнения методом теории возмущений.

Методика исследования. На основе предложенной модели АОВ получено выражение для показателя преломления оптического волокна с акустооптическим взаимодействием. Аналитические выражения для волоконных мод получены путем решения волнового уравнения методом резонансной теории возмущений.

Результаты исследования. В качестве основных результатов работы можно выделить следующие:

1. Предложена новая логически последовательная модель АОВ оптических волокнах с изгибной акустической волной;

2. Получен тензорный показатель преломления циркулярного оптического волокна с АОВ (1). Получены аналитические выражения для мод и постоянных распространения циркулярных оптических волокон с изгибной акустической волной. В качестве примера

приведем аналитические выражения для одной из гибридных мод (2) и соответствующей ей постоянной распространения β_1 (3):

$$\hat{n}^2(x, y, z, t) = n_{id}^2(r) \cdot \hat{1} + 2 \frac{\Delta}{r_0} n_{co}^2 u_0 \cos \varphi \cdot \delta(R-1) \cos(\Omega t - Kz) \cdot \hat{1} - n_{co}^4 \rho K u_0 \sin(\Omega t - Kz) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$|\Psi_1\rangle = \left[\sin \theta \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} F_0 + \cos \theta \begin{pmatrix} \cos \varphi \\ 0 \end{pmatrix} F_1 e^{i(\Omega t - Kz)} \right] e^{i(\beta_1 z - \omega t)}, \quad (2)$$

$$\beta_1 = \tilde{\beta}_0 + \frac{1}{2}(\varepsilon + \xi), \quad (3)$$

где n_{id} и n_{co} - показатели преломления идеального оптического волокна и сердцевинки волокна, Δ - параметр высоты профиля, r_0 - радиус сердцевинки волокна, δ - дельта функция Дирака, Ω и K - частота и волновое число акустической волны, ρ - коэффициент фотоупругости, u_0 - амплитуда акустической волны, параметр θ , определяемый соотношением $\cos 2\theta = \varepsilon / \sqrt{\varepsilon^2 + Q^2}$, где $\varepsilon = K - \bar{K}$, является интегралом перекрытия.

3. Показано, что в рамках предложенной модели АОВ имеет место новый эффект анизотропной модовой конверсии $LP_0 \leftrightarrow LP_1$ - зависимость длины полного преобразования энергии падающего на волокно поля от направления его линейной поляризации по отношению к поляризации акустической волны. Из выражения (4), полученного при исследовании эволюции падающей на входной торец оптического волокна $l=1$ эллиптически поляризованной моды, следует, что в рамках нашей модели длины полного преобразования энергии оказываются различными для x - и y - поляризаций:

$$|\Psi(z)\rangle \approx \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cos \phi \left\{ F_0 e^{i(Kz - \Omega t)} i \sin(\eta z) + e^{i\delta} F_1 \cos \varphi \cos(\eta z) \right\} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \sin \phi \left\{ -F_0 e^{i(Kz - \Omega t)} i \sin(\xi z) + e^{i\delta} F_1 \cos \varphi \cos(\xi z) \right\}. \quad (4)$$

Для x - и y - поляризаций длины равны $\lambda_x^{(m)} = \frac{\pi}{\xi} m$ и $\lambda_y^{(n)} = \frac{\pi}{\eta} n$ соответственно.

Выводы. Предложена новая логически последовательная модель АОВ в циркулярных оптических волокнах с изгибной акустической волной.

Получены аналитические выражения для мод и постоянных распространения циркулярных оптических волокон с изгибной акустической волной. Полученные гибридные моды представляют собой суперпозицию фундаментальных $l=0$ и высших $l=1$ мод.

Показано, что в рамках предложенной модели АОВ имеет место новый эффект анизотропной модовой конверсии $LP_0 \leftrightarrow LP_1$ - зависимость длины полного преобразования энергии падающего на волокно поля от направления его линейной поляризации по отношению к поляризации акустической волны. Данный эффект возможен вследствие тензорного характера показателя преломления предложенной нами модели. В стандартной модели АОВ показатель преломления имеет скалярный вид, поэтому в общепринятой модели отсутствует анизотропность модовой конверсии.

РФА СПЕКТРЫ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ЖИГБлизицкий В.В.¹

¹ студент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ
научный руководитель: д. ф.-м. н., профессор Полулях С.Н.

Введение. В настоящее время для неразрушающего контроля химического состава различных соединений используется метод рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА). Основная идея метода состоит в том, что исследуемый образец облучается рентгеновским излучением с широким спектром. В результате поглощения и последующего испускания фотонов рентгеновского излучения атомами образца формируются хорошо выраженные спектральные линии. По энергии максимумов интенсивностей спектральных линий можно судить о наличии тех или иных химических элементов, а по отношению интенсивностей – о количестве атомов соответствующего элемента.

Исследовались образцы эпитаксиальных пленок железо-иттриевого феррит граната (ЖИГ, химическая формула $Y_3Fe_5O_{12}$), выращенные на подложках из гадолиний-галлиевого граната (ГГГ). Толщина пленок ЖИГ составляла 3 – 6 мкм. При эпитаксиальном росте пленок ЖИГ химический состав образца определяется химическим составом исходного раствора, используемого для синтеза образцов.

Цель работы – определение химического состава эпитаксиальных пленок ЖИГ по РФА спектрам. **Задача:** экспериментально зарегистрировать и провести анализ РФА спектров эпитаксиальных пленок ЖИГ.

Результаты исследований. Для проведения РФА экспериментов использовался прибор Rhywe XR 4.0. В качестве источника излучения использовалась рентгеновская трубка с Cu антикатодом. Излучение от образца детектировалось и обрабатывалось с помощью многоканального анализатора. Экспериментально зарегистрированные спектры представляли собой зависимость интенсивности излучения от номера канала, который соответствует определенному диапазону энергий фотонов. Для установления связи между номером канала и энергий фотонов проводилась калибровка прибора по стандартным образцам. В качестве примера на рисунке 1 приведены экспериментально зарегистрированные РФА спектры подложки ГГГ (рисунок 1а) и эпитаксиальной пленки ЖИГ (рисунок 1б). В спектрах ГГГ хорошо наблюдаются линии L_{α} , L_{β} гадолиния K_{α} , K_{β} галлия и паразитный спектр шума никелированного металлического держателя. В РФА спектре эпитаксиальной пленки ЖИГ наблюдаются линии K_{α} , K_{β} железа и K_{α} , K_{β} линии иттрия (рисунок 1б). Спектральные линии элементов подложки ГГГ в РФА спектрах эпитаксиальной пленки ЖИГ не наблюдаются.

Выводы. В результате количественного анализа экспериментально зарегистрированных РФА спектров эпитаксиальных пленок ЖИГ получено отношение иттрия к железу как 1 к 1,78, при теоретически ожидаемом из химической формулы 1,67. В РФА спектрах эпитаксиальной пленки ЖИГ спектральные линии элементов подложки не наблюдаются.

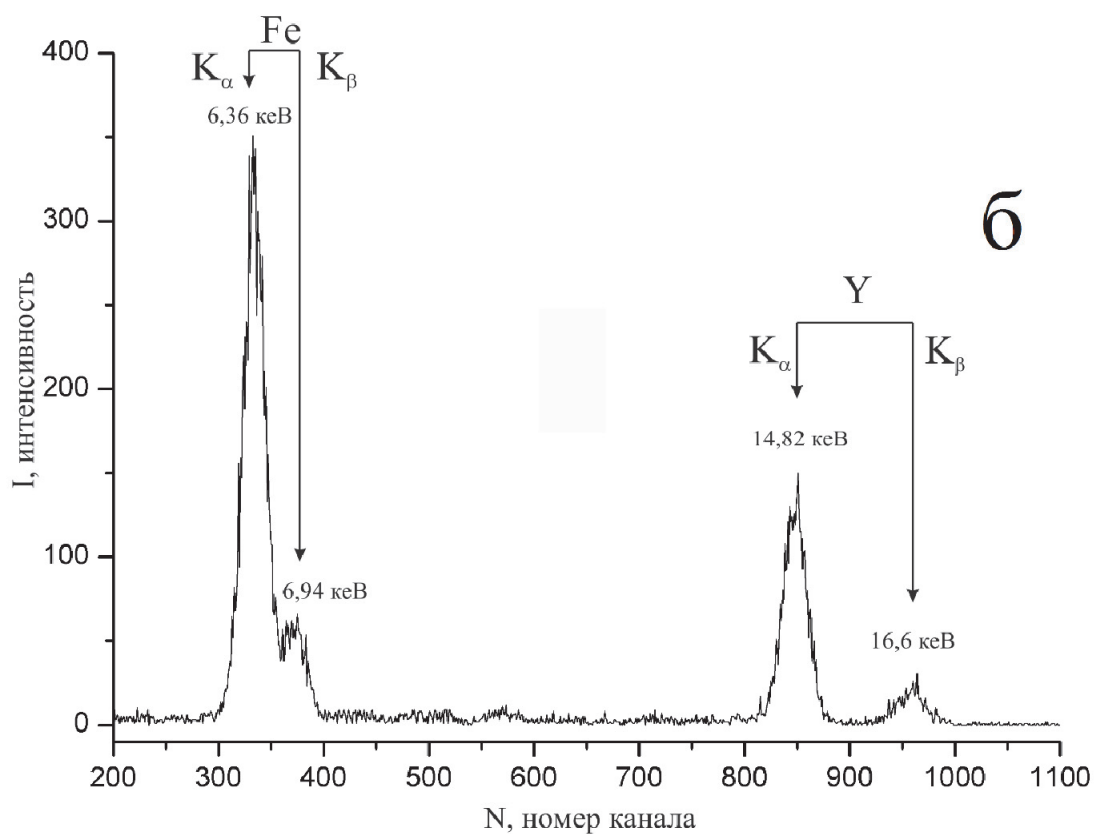
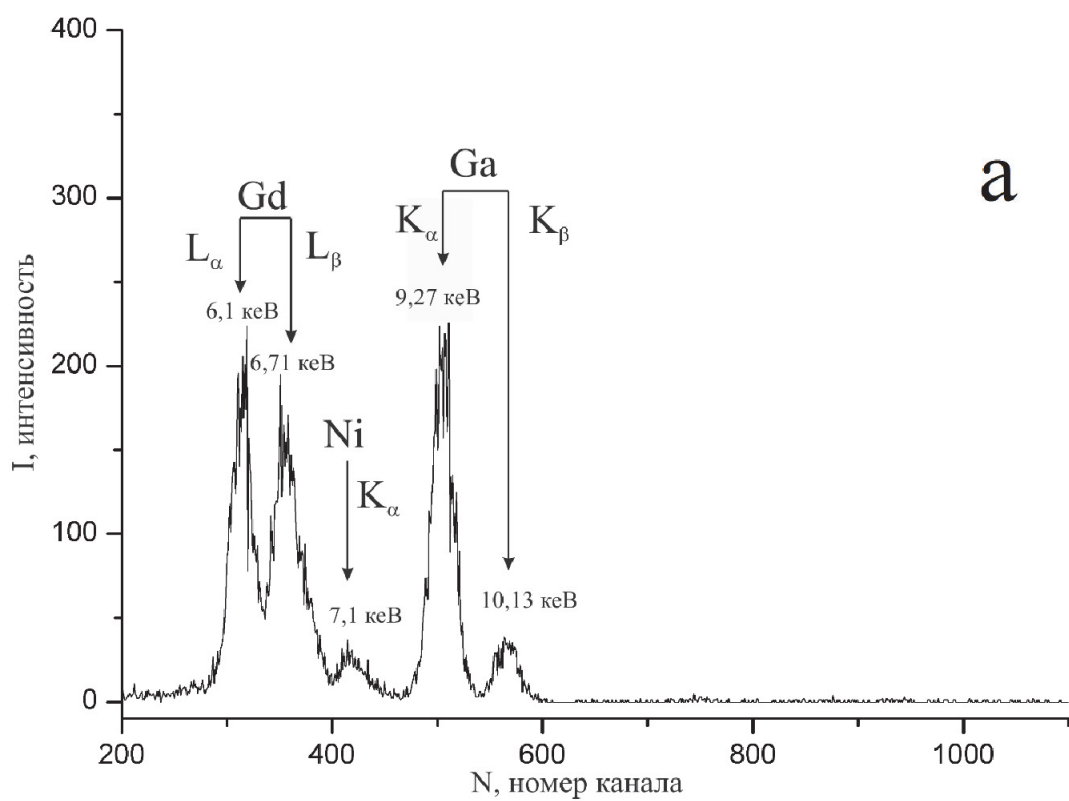


Рисунок 1. Экспериментально зарегистрированные РФА спектры подложки ГГГ (а) и эпитаксиальной пленки ЖИГ (б).

ПЛАЗМОННАЯ ЛОГИКА ОСНОВАННАЯ НА РЕЗОНАНСЕ ФАНО В ДВУХ СВЯЗАННЫХ НАНО-ОСЦИЛЛЯТОРАХ

Горишний В.А.

аспирант кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

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

vasiavasia19781978@mail.ru

Введение. В последнее время резонанс Фано – тип резонанса с асимметричным профилем, возникающий в системе связанных осцилляторов в результате интерференции двух волновых процессов, активно исследуется теоретически и экспериментально в связи бурным развитием плазмоники (см. работы А.Е. Miroshnichenko, S. Flach, and Yu.S. Kivshar, “Fano resonances in nanoscale structures,” Rev. Modern Phys., vol. 82, pp. 2257-2298, 2010.). Сегодня проектируются и создаются плазмонные волноводы и устройства, которые обеспечивают логические операции на оптических частотах. Применение новых быстродействующих логических элементов позволит в десятки и сотни раз увеличить производительность компьютерной техники. Размеры таких плазмонных элементов могут быть много меньше половины длины волны плазмон-поляритонов, распространяющихся по плазмонным волноводам, $\lambda = 2\pi / \beta \sim 1 \mu m$, где $\beta = c^{-1} \omega (\varepsilon_D \varepsilon_M)^{1/2} (\varepsilon_D + \varepsilon_M)^{-1/2}$ - постоянная распространения плазмон-поляритона, ε_D - диэлектрическая проницаемость среды над металлическим волноводом, ε_M - диэлектрическая проницаемость металла волновода. Постоянная распространения имеет комплексное значение $\beta = \beta' + i\beta''$, мнимая часть ее характеризует длину распространения плазмон-поляритона $L = 1 / 2\beta'' \sim 10 \mu m$ на оптических частотах. Относительно короткая длина распространения плазмон-поляритона обуславливает малые размеры плазмонных элементов.

Цели и задачи. Исследовать систему двух связанных осцилляторов в форме наноразмерных серпантино-образных плазмонных волноводов, составить и решить систему уравнений, описывающую работу таких связанных LCR контуров-осцилляторов. Показать, что подавая различные входные сигналы на связанные осцилляторы, можно получить разные типы резонанса Фано в исследуемой системе. Используя полученные результаты, рассмотреть принципы работы элемента плазмонной логики «И».

Результаты исследования. Система уравнений для двух связанных контуров-осцилляторов имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{d^2 q_1}{dt^2} + 2\beta_1 \frac{dq_1}{dt} + \omega_{01}^2 q_1 + \alpha_1 \frac{d^2 q_2}{dt^2} &= \omega_{01}^2 f_1 \exp(-i\omega t), \\ \frac{d^2 q_2}{dt^2} + 2\beta_2 \frac{dq_2}{dt} + \omega_{02}^2 q_2 + \alpha_2 \frac{d^2 q_1}{dt^2} &= \omega_{02}^2 f_2 \exp(-i\omega t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $q_{1,2}$ - заряды в контурах, $L_{1,2}$ и $C_{1,2}$ - индуктивности и емкости контуров, $L_{12} = \sqrt{L_1 L_2}$ - взаимная индуктивность, $\gamma \in [0, 1)$, $\beta_{1,2} = R_{1,2} / 2L_{1,2}$ - коэффициенты затухания, $\omega_{01,02}^2 = 1 / L_{1,2} C_{1,2}$ - собственные частоты, $\alpha_{1,2} = \gamma \sqrt{L_1 L_2} / L_{1,2}$, $f_{1,2} = C_{1,2} U_{1,2}$. Представляя решения системы уравнений в виде $q_{1,2} = A_{1,2} \exp(-i\omega t)$, находим комплексные амплитуды

$$A_1 = \frac{f_1 \omega_{01}^2 \tilde{\Omega}_2^2 + \alpha_1 f_2 \omega_{02}^2 \omega^2}{\tilde{\Omega}_1^2 \tilde{\Omega}_2^2 - \alpha_1 \alpha_2 \omega^4}, \quad A_2 = \frac{f_2 \omega_{02}^2 \tilde{\Omega}_1^2 + \alpha_2 f_1 \omega_{01}^2 \omega^2}{\tilde{\Omega}_1^2 \tilde{\Omega}_2^2 - \alpha_1 \alpha_2 \omega^4}. \quad (2)$$

Если на выходе системы связанных нано-осцилляторов суммировать по амплитуде сигналы на безразмерной частоте $\omega = 2$ (рис. 1), то при подаче на систему осцилляторов одного сигнала $f_1 = 1$ (при $f_2 = 0$), (рис. 1 (а)), получаем суммарную амплитуду

$\tilde{A} = \tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 \cong 38$; при подаче на систему одного сигнала $f_2 = 1$ (при $f_1 = 0$), (рис. 1 (b)), получаем суммарную амплитуду $\tilde{A} \cong 12$; а при подаче на систему двух сигналов $f_1 = 1$ и $f_2 = 1$ (рис. 1 (c)) получаем суммарную амплитуду $\tilde{A} \cong 56$, которая почти в 1.5 раза больше амплитуды в первом случае, и в 4.7 раза больше, чем во втором случае. Отсчет амплитуды прошедшего через систему связанных осцилляторов сигнала можно производить по уровню $\tilde{A} = 40$, тогда на выходе системы осцилляторов будет сигнал на безразмерной частоте $w = 2$ только при одновременной подаче двух сигналов на входы 1 и 2 на этой же частоте.

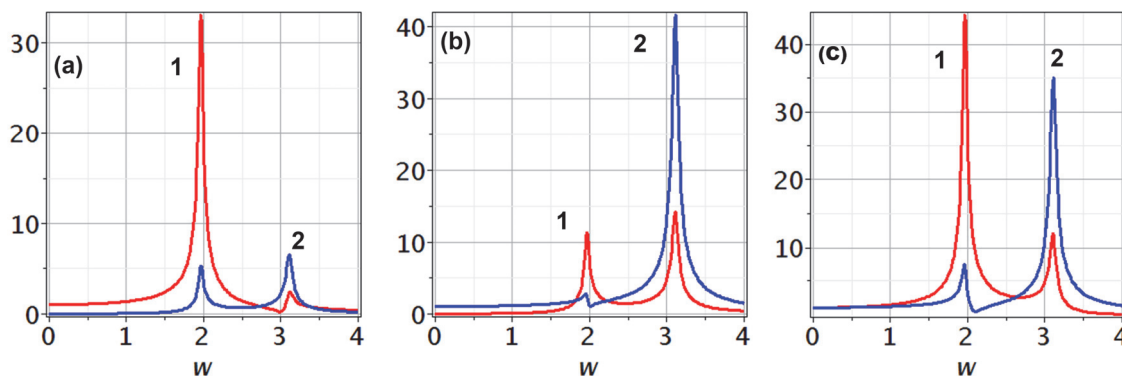


Рис. 1. Резонанс Фано в системе двух связанных осцилляторов при возбуждении их сигналами: (a) $f_1 = 1$ ($f_2 = 0$), (b) $f_2 = 1$ ($f_1 = 0$), (c) $f_1 = 1$ и $f_2 = 1$; кривая 1 - амплитуда $\tilde{A}_1$, кривая 2 - амплитуда $\tilde{A}_2$; $w_{01} = 2$, $w_{02} = 3$, $\alpha_1 = 2.0$, $\alpha_2 = 2.1$, $\beta_1 = 0.030$, $\beta_2 = 0.031$; все величины безразмерные.

Выводы. При подборе параметров системы связанных нано-осцилляторов, можно реализовать плазмонный логический элемент «И», работающий на оптической частоте. Теоретический анализ принципов работы логического элемента «И» показывает, что быстродействие такого элемента многократно превосходит скорость срабатывания полупроводниковых логических элементов, так как в плазмонном логическом элементе не происходит процессов накопления-рассасывания заряда.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ МЕТОДАМИ МАГНИТНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Крикун А.С.

студентка кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ
научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель Михайлова Т.В.

krikunalinka@gmail.com

Введение. В настоящее время пленки ферритов-гранатов (ПФГ) нашли свое применение в различных сферах жизни человека, будь то повседневная жизнь или научные исследования. Области применения пленок разнообразны: медицина, физика, различная компьютерная (и не только) техника, магнитная защита и т.д. Ежегодно приводится большое количество исследований ПФГ как магнитооптическими (МО) методами, так и методами сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

Цель исследования состояла в применении методик МСМ для определения параметров доменной структуры ПФГ.

Задачами исследования являлись описание физических принципов работы магнитно-силового микроскопа (МСМ) и освоение методов МСМ, определение периода доменной

структуры пленок ферритов-гранатов различного состава и разными магнитными параметрами с помощью методов МСМ.

Методика измерений. Исследование ПФГ производилось двумя методами магнитно-силовой микроскопии (МСМ), а именно двухпроходной методикой и методом параллельной МСМ, и с применением сканирующей оптической микроскопии (СОМ).

Результаты исследования. Измерение периода доменной структуры методами МСМ и СОМ дают практически одинаковые результаты. Сканирование некоторых пленок методами МСМ затруднительно, поэтому желательно исследовать образцы несколькими различными методиками (например, МСМ и СОМ). Также показано, что в большей части случаев изменение параметров сканирования (высота на втором проходе и методики МСМ) не привело к значительным изменениям изображений. Приведены результаты исследования параметров ПФГ, обладающих высокой коэрцитивностью, которые были размагничены в переменном магнитном поле (Рисунок 1) и после терморазмагничивания.

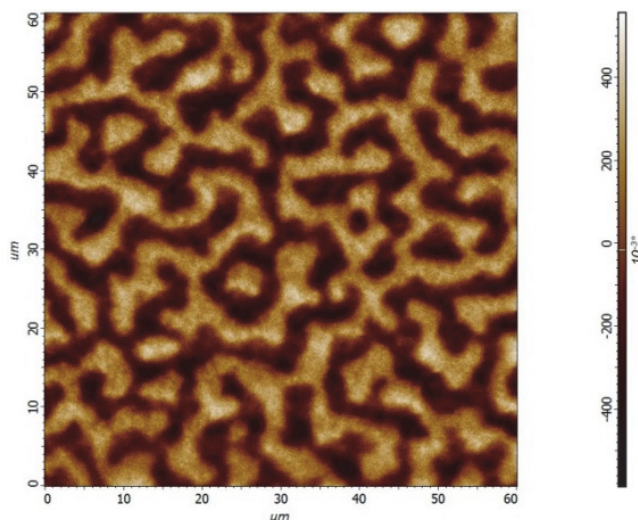


Рис. 1 МСМ-изображения образца, размагниченного в переменном магнитном поле

Выводы. Для исследования ПФГ применялись две методики МСМ, и для сравнения результатов для некоторых образцов применялась методика СОМ. Для каждого образца были получены изображения рельефа поверхности и МСМ-изображения, которые можно трактовать, как доменную структуру. По МСМ-изображениям был определен средний период доменной структуры. Приведено сравнение участков, которые были просканированы методом МСМ и СОМ. Разница в значениях среднего периода ДС незначительна. В ходе проведения эксперимента наблюдались эффекты действия зонда на образец: наблюдались перемагничивание образца зондом и уширение одного направления доменов относительно другого. Дано объяснение, почему эти эффекты происходят. Сканирование некоторых пленок методами МСМ затруднительно, поэтому желательно исследовать образцы несколькими различными методиками (например, МСМ и СОМ).

Так же были изучены ПФГ, которые используются для термомагнитной записи. Т.к. эти пленки обладают высокой коэрцитивностью, то при сканировании не возникали эффекты перемагничивания. Пленки исследовались в двух состояниях: размагниченные в переменном магнитном поле и после терморазмагничивания. Приведено сравнение параметров ДС для этих двух состояний. Экспериментально показано, что если изначально пленка находится в состоянии размагниченности переменным магнитным полем, то после нагрева до точки Кюри и последующего охлаждения период ДС уменьшается.

ВИХРИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ

Перескоков В.С.

аспирант кафедры экспериментальной физики Физико-технического института, КФУ
научный руководитель: д. ф.м., профессор Дзедолик И.В.

pereskokow@gmail.com

Введение. Поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) формируются в результате взаимодействия электромагнитной волны, плазмонов и фотонов на границе раздела проводника и диэлектрика. При этом действительная часть диэлектрической проницаемости одной из сред должна быть отрицательной. Этому условию удовлетворяет диэлектрическая проницаемость металлов в диапазоне от радиочастот до оптических частот. ППП распространяются вдоль тонкого слоя в области границы диэлектрика и металла. Волны ППП обладают рядом уникальных свойств, одно из важнейших – это нано-масштаб, в котором может быть сконцентрировано электромагнитное поле. Это свойство, вместе с требованиями миниатюризации фотонных компонентов, привлекает огромный интерес к изучению условий генерации и управления ППП.

Цель и задачи исследований. Целью работы является теоретическое моделирование процесса генерации ППП на границе диэлектрик-металл, изучение их свойств и теоретическое моделирование генерации оптических вихрей при отражении ППП от криволинейной границы в металле.

В работе были поставлены следующие задачи:

- построить и исследовать теоретические модели генерации плазмон-поляритонов на границе раздела металл-диэлектрик;
- проанализировать условия возникновения вихрей при отражении ППП от границы неоднородности в металле.

Результаты исследований. На границе немагнитного диэлектрика и металла формируется ТМ-мода ППП с компонентами поля

$$E_x = \frac{c\beta A e^{-\alpha_D x}}{\omega \varepsilon_D} \exp(i\phi_{TM}), \quad E_z = -i \frac{c\alpha_D A e^{-\alpha_D x}}{\omega \varepsilon_D} \exp(i\phi_{TM}), \quad B_y = A e^{-\alpha_D x} \exp(i\phi_{TM}). \quad (1)$$

где $A = const$, $\alpha_D = (\beta^2 - c^{-2}\omega^2 \varepsilon_D)^{1/2}$ – коэффициент затухания, $\beta = c^{-1}\omega(\varepsilon_M \varepsilon_D)^{1/2}(\varepsilon_M + \varepsilon_D)^{-1/2}$ – постоянная распространения, $\phi_{TM} = \beta z - \omega t$ – фаза ТМ-моды ППП. Е-мода формируется, когда ППП отражаются от криволинейной границы неоднородности в металле (Dzedolik I. V., Pereskokov V., “Formation of vortices by interference of surface plasmon polaritons”, *J. Opt. Soc. Am. A*, **33**(5), pp. 1004-1009 (2016)). Компоненты Е-моды ППП имеют вид

$$E_x = \frac{c\beta A e^{-\alpha_D x}}{\omega \varepsilon_D} \exp(i\phi_E), \quad E_y = -i \frac{c\alpha_D A e^{-\alpha_D x} \cos \varphi}{\omega \varepsilon_D} \exp(i\phi_E), \quad E_z = -i \frac{c\alpha_D A e^{-\alpha_D x} \sin \varphi}{\omega \varepsilon_D} \exp(i\phi_E), \quad (2)$$

$$B_y = A e^{-\alpha_D x} \sin \varphi \exp(i\phi_E), \quad B_z = -A e^{-\alpha_D x} \cos \varphi \exp(i\phi_E),$$

где $\phi_E = \beta(y \sin 2\varphi - z \cos 2\varphi) - \omega t$.

На рисунке 1 представлено распределение амплитуды (а) и фазы (б), (в), вектора Пойтинга при интерференции ТМ-моды и Е-моды ППП. В областях нулевой интенсивности поля (рисунок 1 (а)) имеются сингулярные точки, в которых фаза вектора Пойтинга претерпевает скачок.

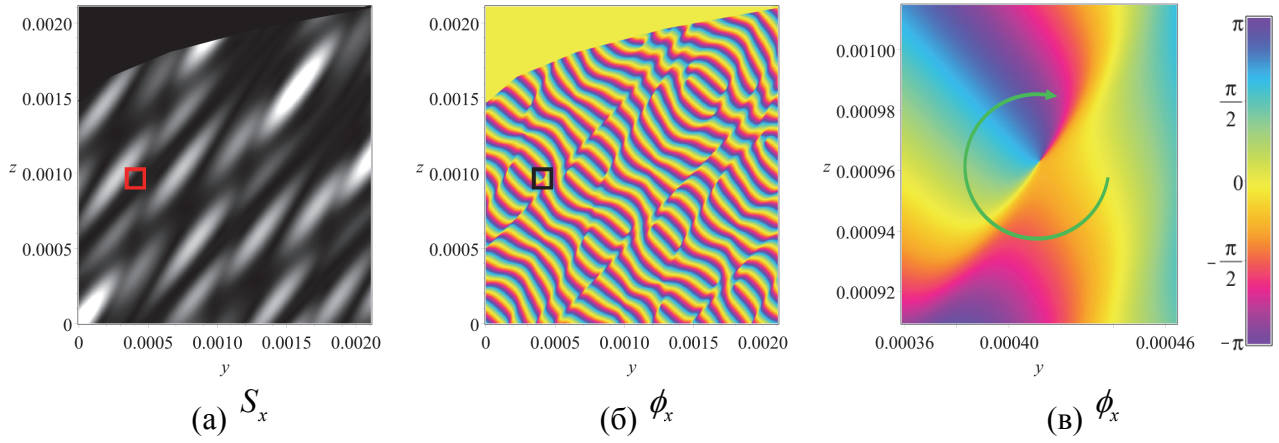


Рис. 1. Распределение амплитуды (а) и фазы (б), (в), вектора Пойтинга ППП при интерференции ТМ-моды и Е-моды.

В области, выделенной на рисунке 1 (а) и рисунке 1 (б), имеется точка (рисунок 1 (в)), при обходе которой фаза изменяется на 2π , то есть возникает винтовая дислокация фазы.

Выводы. В результате теоретического исследования проведен анализ распределения амплитуды и фазы вектора Пойтинга ППП на границе диэлектрика и металла. При интерференции мод, формирующихся при отражения ППП от криволинейной границы неоднородности в металле, возникают сингулярные точки с нулевой интенсивностью поля, при обходе которых фаза вектора Пойтинга изменяется на 2π . В этих точках возникают вихри ППП.

МНОГОКВАНТОВЫЕ СИГНАЛЫ ЯДЕРНОГО СПИНОВОГО ЭХО В ДВУХСПИНОВОЙ СИСТЕМЕ

Полулях С. Н.

профессор кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ
sergey.polulyakh@cfuv.ru

В магнитном резонансе под двухспиновой системой понимают систему двух магнитных ядер, находящихся в одинаковом постоянном магнитном поле и связанных друг с другом магнитным дипольным взаимодействием [1]. Дипольным взаимодействием ядер с другими спинами образца в первом приближении можно пренебречь. Примерами двухспиновых систем служат молекулы воды в кристаллах, белках и т. д., находящиеся на расстоянии, в несколько и более раз превышающем расстояние между протонами внутри молекулы воды. Гамильтониан двухспиновой системы во вращающейся системе координат (ВСК) имеет вид:

$$H = -\hbar \cdot \Delta\omega \cdot (I_{z1} + I_{z2}) + D \cdot (4 \cdot I_{z1} \cdot I_{z2} - (I_{+1} \cdot I_{-2} + I_{-1} \cdot I_{+2})), \quad (1)$$

где $\Delta\omega$ – расстройка, I – оператор спина (нижний индекс указывает на компоненту оператора и к какой частице относится оператор), D – параметр дипольных взаимодействий, зависящий от гиромагнитного отношения, от расстояния между спинами и от направления между вектором, соединяющим спины и постоянным магнитным полем, $\hbar$ – постоянная Планка.

При импульсном воздействии поперечная намагниченность ансамбля невзаимодействующих двухспиновых систем может быть рассчитана с помощью оператора матрицы плотности ρ . В случае трех возбуждающих импульсов для поперечной

компоненты ядерной намагниченности $M_+ = M_x + i \cdot M_y$ в момент времени t после окончания действия третьего импульса имеем

$$M_+(t) = Sp(\rho(t) \cdot I_+) = \sum_{i,j,k,l,m,n} \langle \varphi_i | e^{-iHt} | \varphi_i \rangle \langle \varphi_i | e^{-iR_3\tau_3} | \varphi_j \rangle \langle \varphi_j | e^{-iHt_{23}} | \varphi_j \rangle \langle \varphi_j | e^{-iR_2\tau_2} | \varphi_k \rangle \times \\ \times \langle \varphi_k | e^{-iHt_{12}} | \varphi_k \rangle \langle \varphi_k | e^{-iR_1\tau_1} I_z e^{iR_1\tau_1} | \varphi_l \rangle \langle \varphi_l | e^{iHt_{12}} | \varphi_l \rangle \langle \varphi_l | e^{iR_2\tau_2} | \varphi_m \rangle \langle \varphi_m | e^{iHt_{23}} | \varphi_m \rangle \times \\ \times \langle \varphi_m | e^{iR_3\tau_3} | \varphi_n \rangle \langle \varphi_n | e^{iHt} | \varphi_n \rangle \langle \varphi_n | I_+ | \varphi_i \rangle. \quad (2)$$

Здесь $R_j = \hbar \cdot \omega_1 \cdot I_x$ – гамильтониан, описывающий воздействие j -го импульса длительностью τ_j , ω_1 – амплитуда переменного магнитного поля, выраженная в единицах частоты (посредством гиромагнитного отношения), $I_x = I_{x1} + I_{x2}$ – оператор x -компоненты спина (предполагается, что все импульсы синфазны и поле во время действия импульса направлено вдоль оси x ВСК), t_{12} и t_{23} – временные интервалы между импульсами.

Собственные функции φ_j гамильтониана H выражаются через собственные функции оператора $I_z = I_{z1} + I_{z2}$. Собственные функции оператора I_z имеют вид $|m_1 m_2\rangle$, где m_1 – магнитное квантовое число первой, а m_2 – магнитное квантовое число второй частицы. Полное магнитное квантовое число $m = m_1 + m_2$. Для частиц со спином $I = 1/2$ (например, протоны) имеем

$$|\varphi_1\rangle = |++\rangle, \quad \langle \varphi_1 | H | \varphi_1 \rangle = -\hbar \cdot \Delta\omega + D; \\ |\varphi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|+-\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|-+\rangle, \quad \langle \varphi_2 | H | \varphi_2 \rangle = -2 \cdot D; \\ |\varphi_3\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|+-\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|-+\rangle, \quad \langle \varphi_3 | H | \varphi_3 \rangle = 0; \\ |\varphi_4\rangle = |--\rangle, \quad \langle \varphi_4 | H | \varphi_4 \rangle = \hbar \cdot \Delta\omega + D.$$

В результате проведенных расчетов обнаружено, что в выражении для трехимпульсного отклика двухспиновой системы (2) появляются не исчезающие слагаемые с матричными элементами вида

$$\dots \langle \varphi_1 | e^{-iHt_{23}} | \varphi_1 \rangle \dots \langle \varphi_4 | e^{iHt_{23}} | \varphi_4 \rangle \dots \quad \text{либо} \quad \dots \langle \varphi_4 | e^{-iHt_{23}} | \varphi_4 \rangle \dots \langle \varphi_1 | e^{iHt_{23}} | \varphi_1 \rangle \dots$$

В формировании двухимпульсного отклика вносят вклад слагаемые, в которых оказываются связанными состояния, различающиеся магнитным квантовым числом на 2, а энергия перехода между этими состояниями равна $2 \cdot \hbar \cdot \Delta\omega$. Сигналы, формирующиеся с участием таких слагаемых, принято называть многоквантовыми. В частности, не исчезающими в полном отклике (2) оказываются слагаемые вида

$$M_+(t) = \dots + V \cdot \exp(\hbar \cdot \Delta\omega \cdot t_{12}) \cdot \exp(-3 \cdot D \cdot t_{12}) \cdot \exp(2 \cdot \hbar \cdot \Delta\omega \cdot t_{23}) \times \\ \times \exp(-\hbar \cdot \Delta\omega \cdot t) \cdot \exp(3 \cdot D \cdot t) + \dots \quad (3)$$

Амплитудный множитель V в (3) определяется амплитудой ω_1 и длительностями τ_j возбуждающих импульсов.

В неоднородном магнитном поле расстройка $\Delta\omega$ принимает различные значения для различных двухспиновых систем (молекул). Однако в момент времени $t = t_{12} + 2 \cdot t_{23}$ все экспоненты, содержащие $\Delta\omega$ в показателе, обращаются в единицу. Достигается максимум амплитуды независимо от расстройки $\Delta\omega$, то есть формируется многоквантовый сигнал эхо магнитной природы. Однородная часть дипольных взаимодействий приводит к осцилляциям амплитуды эхо по задержкам между импульсами. Неоднородная часть дипольных взаимодействий приводит к затуханию амплитуды эхо с ростом задержек между импульсами. Чтобы амплитуда многоквантового эхо оставалась наблюдаемой, суммарная

длительность временных интервалов между импульсами должна быть порядка длительности «солид-эхо» в такой двухспиновой системе.

В результате проведенных расчетов получено, что максимум амплитуды многоимпульсного эхо, формирующегося в момент времени $t = t_{12} + 2 \cdot t_{23}$, достигается в последовательности $\pi/2 - t_{12} - \pi/3 - t_{23} - 2\pi/3$. То есть площадь первого импульса, численно равная произведению амплитуды импульса на его длительность, должна быть равна $\pi/2$, так далее. Зависящая от площадей импульсов $\alpha_i = \omega_i \cdot \tau_i$ часть амплитудного множителя в (3) имеет вид $V \sim \sin \alpha_2 / 2 \cdot \cos^3 \alpha_2 / 2 \cdot \cos \alpha_3 / 2 \cdot \sin^3 \alpha_2 / 2$.

Кроме того, возможно появление еще двух других многоквантовых сигналов трехимпульсного эхо. Сигнал эхо в момент времени $t = t_{12} - 2 \cdot t_{23}$ формируется при $t_{12} > 2 \cdot t_{23}$, а максимум амплитуды достигается в последовательности $\pi/2 - t_{12} - 2\pi/3 - t_{23} - \pi/3$. При $t_{12} < 2 \cdot t_{23}$ формируется многоквантовое эхо $t = -t_{12} + 2 \cdot t_{23}$ в последовательности $\pi/2 - t_{12} - 2\pi/3 - t_{23} - 2\pi/3$.

В случае трех синфазных возбуждающих импульсов многоквантовые сигналы эхо наблюдаются для y -компоненты намагниченности. Сигнал эхо сдвинут по фазе на $\pi/2$ относительно возбуждающих импульсов.

Для одного и двух возбуждающих импульсов сигналы эхо с участием многоквантовых эффектов не наблюдаются. В случае трех возбуждающих импульсов многоквантовые сигналы эхо формируются наряду с обычными одноквантовыми эхо, моменты формирования которых равны t_{12} , t_{23} , $t_{12} + t_{23}$ и $\pm t_{12} \mp t_{23}$.

РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК

Пономаренко В.И.¹, Лагунов И.М.²

¹ профессор, ² старший преподаватель кафедры экспериментальной физики

Физико-технического института

Крымского федерального университета имени В.И.Вернадского

vponom@gmail.com

Поглотители электромагнитных волн (ПЭВ) широко применяются в технике сверхвысоких частот (СВЧ) для радиомаскировки объектов. Традиционно, применяемым в ПЭВ материалом, диссипирующим электромагнитное поле за счет омических потерь, является тонкая проводящая пленка, впервые предложенная Саусвортом в конструкции, называемой «четвертьволновой поглотитель». Развитие структур такого рода, имеющее целью расширение широкополосности, шло вначале по пути наращивания числа пленок, разделенных слоями диэлектрика одного сорта с близкой к единице вещественной диэлектрической проницаемостью. Впоследствии было показано, на примерах структур с одной резистивной пленкой, располагаемой на слое диэлектрика либо внутри него, что широкополосность может быть значительно увеличена, если применяемая пленка обладает не только омическим, но и емкостным характером проводимости.

Цель наших исследований – изучение радиопоглощающих структур на основе резистивных пленок, с учетом их емкостной компоненты проводимости. Последнее, в частности, может быть обеспечено искусственно, путем создания зазоров между частями пленки с чисто омическими потерями. Например, для тонких алюминиевых пленок, полученных путем напыления на лавсановую основу, наличие емкостной компоненты поверхностного сопротивления является как следствием трещиноватости пленки, так и

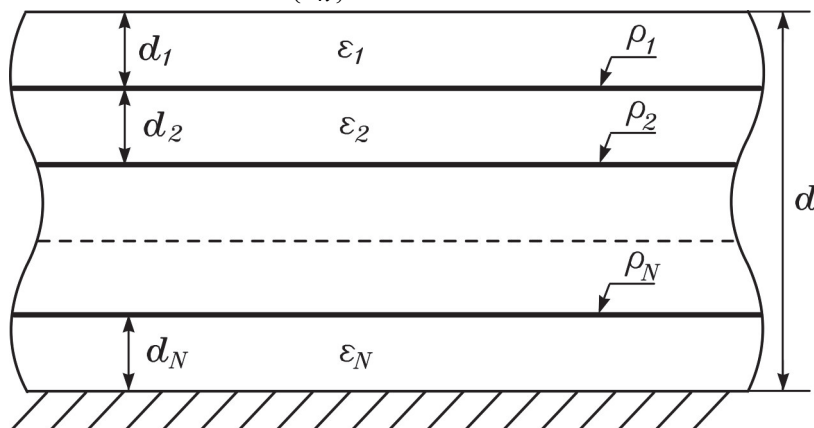
неравномерности ее по толщине. Однако, в комбинации, перечисленные возможности увеличения широкополосности такого рода структур, а именно – применение разных типов диэлектриков, разделяющих пленки, а также многослойных структур с резистивно-емкостными пленками, в проанализированной нами научной литературе не представлены.

Дополнительно, целью нашего исследования было сравнение возможностей таких покрытий для диапазона условных длин волн $\lambda_{\min} = 0.02$ м и $\lambda_{\max} = 0.12$ м, где $\lambda_{\min}$ и $\lambda_{\max}$ соответственно максимальная и минимальная длины волн рабочего диапазона, и различных толщин покрытия d , выражаемых в тех же единицах, что и длины волн.

Поставленная задача нами решалась путем оптимизации параметров структур, причем целевой функцией является минимум максимального в указанном диапазоне коэффициента отражения по мощности $R_{\max}$.

Исследуемая нами структура резистивно-емкостных пленок, расположенная на металлическом зеркале, изображена на рисунке. Структура состоит из N резистивно-емкостных пленок, обладающих поверхностным сопротивлением вида $\rho_n = \rho'_n + i\rho''_n$, $n = 1, 2, \dots, N$, где i - мнимая единица, ρ'_n - омическая часть поверхностного сопротивления пленки с номером n , ρ''_n - емкостная часть поверхностного сопротивления пленки с тем же номером, которая может варьироваться в широких пределах путем изменения зазоров между элементами пленки и зависит от длины волны по закону $\rho''_n = \alpha_n \lambda / \lambda_0$, где λ_0 - некоторая выбранная длина волны, а коэффициент α_n зависит от ширины зазоров (в качестве λ_0 выбрана условная длина волны, равная единице).

В рассматриваемой структуре, между резистивно-емкостными пленками находятся слои непоглощающего диэлектрика с толщинами $d_n = 1, 2, \dots, N+1$ и относительными диэлектрическими проницаемостями $\{\varepsilon_n\}$.



Нами выделены следующие задачи оптимизации для рассматриваемых структур: вариант 1, состоит из чисто омических пленок с вещественными поверхностными сопротивлениями $\rho_n = \rho'_n$ и слоев одного типа диэлектрика с толщинами $\{d_n\}$, выбранными так, что все толщины слоев равны, за исключением толщины верхнего (первого) диэлектрического слоя, которая вдвое меньше остальных, в данном варианте параметрами оптимизации являются величины $\{\rho_n\}$ и общая для всех слоев диэлектрическая проницаемость ε , число пленок N и число диэлектрических слоев $N+1$ менялось от 1 до 10 с целью достижения наименьшего значения $R_{\max}$; вариант 2, по сравнению с вариантом 1, предполагает наличие у пленок емкостных компонент поверхностного сопротивления $\rho''_n \neq 0$, также подвергающихся оптимизации наряду с $\{\rho'_n\}$ и общей для всех слоев

диэлектрической проницаемости; вариант 3 предполагает, в дополнение к варианту 1, варьирование толщины верхнего и промежуточных диэлектрических слоев при сохранении их общей задаваемой толщины; вариант 4 предполагает, в дополнение к варианту 2, оптимизацию толщин слоев (при сохранении общей заданной толщины d).

Относительные длины волн $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$, $\lambda_1 = \lambda_{\min}$, $\lambda_m = \lambda_{\max}$, на которых вычислялся коэффициент отражения (КО), выбирались по принципу геометрической прогрессии, $\lambda_{m+1} = q\lambda_m$, где $q > 1$ - знаменатель прогрессии, вычислявшийся по заданному общему числу длин волн рабочего диапазона, которое в проводившихся расчетах выбиралось равным 50, при этом каждая последующая длина волны превосходила предыдущую лишь в $q = 1.04$ раз, практически исключая возможность того, что $R_{\max}$, оказавшись между расчетными длинами волн, существенно отличался бы от значения КО на ближайшей из длин волн $\{\lambda_m\}$. Коэффициент отражения нормально падающей волны вычислялся матричным методом, при этом пленкам приписывалась малая толщина $\tau \ll d_n$, практически не влияющая на общую толщину структуры, и диэлектрическая проницаемость вида $\varepsilon = i\lambda / (2\pi c \varepsilon_0 (\rho'_n + i\rho''_n)\tau)$, где c - скорость света, ε_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума. В целях повышения надежности результатов оптимизации, последняя проводилась двумя различными методами: методом координатного спуска, с уменьшением шага по мере приближения к минимуму; методом Монте-Карло, причем, как оказалось, оба метода приводили к одинаковым конечным результатам.

Полученные нами результаты указывают на перспективность радиопоглощающих структур на основе резистивных пленок с учетом омической и емкостной компонент проводимости.

ДВУХИМПУЛЬСНОЕ ЭХО ЯМР В ГЕТЕРОЯДЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Рябушкин Д.С.¹, Якубова А.Р.²

¹доцент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

²студентка кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

druabushkin@cfuv.ru

Введение.

Из-за многочастичного характера реальных систем общая задача вычисления двухимпульсного отклика не имеет точного решения, поэтому на практике используются различные приближенные подходы. Одним из них является выбор несложного, но в то же время близкого к действительному закона распределения случайных полей на ядрах. В данном случае таковым является распределение Гаусса, при этом считается, что внутренняя молекулярная подвижность имеет марковский характер.

Цель и задачи исследования.

Целью работы является теоретическое исследование особенностей двухимпульсного отклика в многочастичной гетероядерной системе, содержащей два сорта ядер и характеризующей гауссовым распределением случайных полей на ядрах, изучение температурных и временных зависимостей. Рассмотрение ограничено лишь диполь-дипольными взаимодействиями. Использован стандартный метод расчета, базирующийся на формализме матрицы плотности.

Результаты исследования.

Исследуемая многочастичная система состоит из магнитных ядер двух сортов – резонирующих (т.е. дающих сигнал после второго импульса) I и нерезонирующих S . В начальный момент времени система подвергается воздействию 90° импульса на резонансной

частоте ядер I . По истечению некоторого интервала времени τ (значительно меньшего времени спин-спиновой релаксации) подается 180° импульс на резонансной частоте ядер S . После этого наблюдается сигнал от ядер I .

Вычисления приводят к следующему результату для отклика

$$V(t) = \exp \left[-\frac{1}{2} \overline{M}_{2II} t^2 - \Delta M_{2II} \tau_c^2 \left(\frac{t}{\tau_c} - 1 + e^{-\frac{t}{\tau_c}} \right) \right] \times \quad (1)$$

$$\times \exp \left[-\frac{1}{2} \overline{M}_{2IS} (t - 2\tau)^2 - \Delta M_{2IS} \tau_c^2 \left(\frac{t}{\tau_c} - 3 + 2e^{-\frac{t-\tau}{\tau_c}} + 2e^{-\frac{\tau}{\tau_c}} - e^{-\frac{t}{\tau_c}} \right) \right],$$

где использованы следующие обозначения: $\overline{M}_{2II}$ – вклад во второй момент линии поглощения, обусловленный взаимодействиями резонирующих ядер I друг с другом при интенсивных молекулярных движениях, $\overline{M}_{2IS}$ – вклад во второй момент линии поглощения, обусловленный взаимодействиями ядер I с ядрами S при интенсивных молекулярных движениях, ΔM_{2II} и ΔM_{2IS} – разности вторых моментов линий поглощения в жесткой и быстроподвижной решетках в случае гомо- и гетероядерных взаимодействий соответственно, τ – интервал времени между импульсами, t – текущее время, отсчитываемое от первого импульса, τ_c – время корреляции (среднее время жизни системы в данной решеточной конфигурации).

Первый множитель в формуле (1) представляет спад свободной прецессии, развивающийся после первого импульса и обусловленный только гомоядерными взаимодействиями резонирующих ядер. Второй множитель описывает сигнал эха. Анализ полученного сигнала позволяет выявить следующие особенности двухимпульсного эха в гетероядерных системах.

Эхо формируется гетероядерным взаимодействием, гомоядерное взаимодействие приводит к его подавлению.

При малых интервалах времени между импульсами момент формирования амплитудного значения эха (после второго импульса) равняется времени между импульсами. При увеличении τ момент формирования пикового значения эха смещается в сторону меньших времен. Данное обстоятельство, очевидно, не может быть объяснено в рамках классической модели движения магнитных моментов ядер, используемой для наглядного представления формирования спада свободной прецессии и эха Хана. Эта особенность объясняется в рамках квантово-механического рассмотрения изучаемого явления. Ранее сдвиг момента формирования амплитудного значения отклика наблюдался для сигнала солид-эха в гомоядерных системах.

При заданном значении величины $\frac{\tau}{\tau_c}$ амплитудное значение эха формируется при

одном и том же значении $\frac{t}{\tau_c}$.

Температурные зависимости гетероядерного эха имеют вид, типичный для самых разных сигналов эха: резкий спад амплитуды отклика при увеличении температуры, достижение минимума, медленный рост амплитуды сигнала при высоких температурах. Качественно данная зависимость объясняется следующим образом. Пока система является жесткой, условия для формирования эха наиболее благоприятны. При увеличении температуры в образце начинаются внутренние молекулярные движения, которые нарушают

согласованное движение магнитных моментов и приводят к уменьшению амплитуды эха. При некотором значении температуры хаос достигает максимума, в результате чего амплитудное значение эха становится минимальным. При дальнейшем увеличении температуры ядра столь быстро меняют свое расположение в образце, что начинают реагировать лишь на усредненное значение локального магнитного поля. Как следствие, сигнал эха начинает восстанавливаться, что приводит к росту амплитуды отклика.

Минимуму температурной зависимости амплитуды эха соответствует значение $\frac{\tau}{\tau_c} = 1,89$. Учитывая это обстоятельство и считая, что время корреляции зависит от температуры согласно закону Аррениуса, несложно вычислить энергию активации для данной системы.

Выводы.

Найденная в работе формула (1) позволяет выявить все специфические особенности двухимпульсного эха в многочастичной гетероядерной системе. Используемая модель подвижности, а также выбранное распределение случайных полей на ядрах дают возможность получить компактное, удобное для анализа выражение. Указанный подход может быть использован для расчета откликов гетероядерных систем при воздействии более сложных многоимпульсных последовательностей.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ НАНООСТРОВКОВЫХ СТРУКТУР

Торбек В.Ю.¹

¹ студент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ
научный руководитель: д. ф.-м. н., профессор Полулях С.Н.
zetsimf@mail.ru

Введение. Размеры, толщина и численность частиц наноструктур являются важными параметрами, определяющими свойства пленки. Во многих работах размер частиц определяется вручную, что приводит к ограниченному объёму анализируемого числа частиц и неполному анализу, и, в итоге, приводит к возможности появления субъективного фактора при подсчёте числа частиц.

Существуют готовые компьютерные программы, которые позволяют подсчитывать число частиц. Такие программы используются в биологии и химии. Недостатком этих программ является невозможность их модифицировать для своих целей.

Цель работы – анализ распределения числа частиц по размеру в наноструктурах с помощью компьютера. **Задача:** разработать алгоритм и написать программу для анализа островковых наноструктур.

В процессе обработки изображений наноструктур обнаружена неоднородность засветки. Поэтому первая задача состояла в повышении контрастности изображения. Вначале был использован метод “Пороговой бинаризации”. Суть метода заключается в том, что для всего изображения задаётся порог яркости от 0 до 1. Каждый пиксель изображения сравнивается с порогом, после чего пикселю присваивается значение яркости 0 (чёрный цвет) или 1 (белый цвет). Однако в процессе обработки различных изображений получено, что этот метод работает некорректно.

Для преобразования изображения с неоднородной яркостью пикселей в черно-белое изображение в работе использован метод “Адаптивной бинаризации”. Основным преимуществом “Адаптивной бинаризации” является то, что для каждого пикселя изображения рассчитывается локальный порог яркости путём поиска средней яркости его

окружения. Площадь этого диапазона задаёт пользователь. Данный метод значительно улучшает обработку изображений с неравномерной яркостью.

Для поиска кластеров был разработан собственный алгоритм, состоящий в поиске черных пикселей. После нахождения чёрного пикселя начинается сканирование вначале вправо, до первого белого пикселя (или края изображения). Затем движемся от стартовой точки влево. При этом на каждом шаге проверяем яркости верхнего и нижнего соседей. Все черные пиксели сохраняются в массиве. После прохождения строки все пиксели окрашиваются в случайный цвет, сгенерированный для каждого кластера индивидуально. Далее выбирается первый элемент из массива сохраненных пикселей и начинаются проходы вправо и влево, как и при первом вхождении в кластер. Программа удаляет кластеры, размер которых меньше заданного в программе как “шум”.

Результаты исследований. Для расчётов распределения кластеров были использованы изображения палладиевой плёнки на кремневой подложке, сделанные растровым электронным микроскопом (рисунок 1).

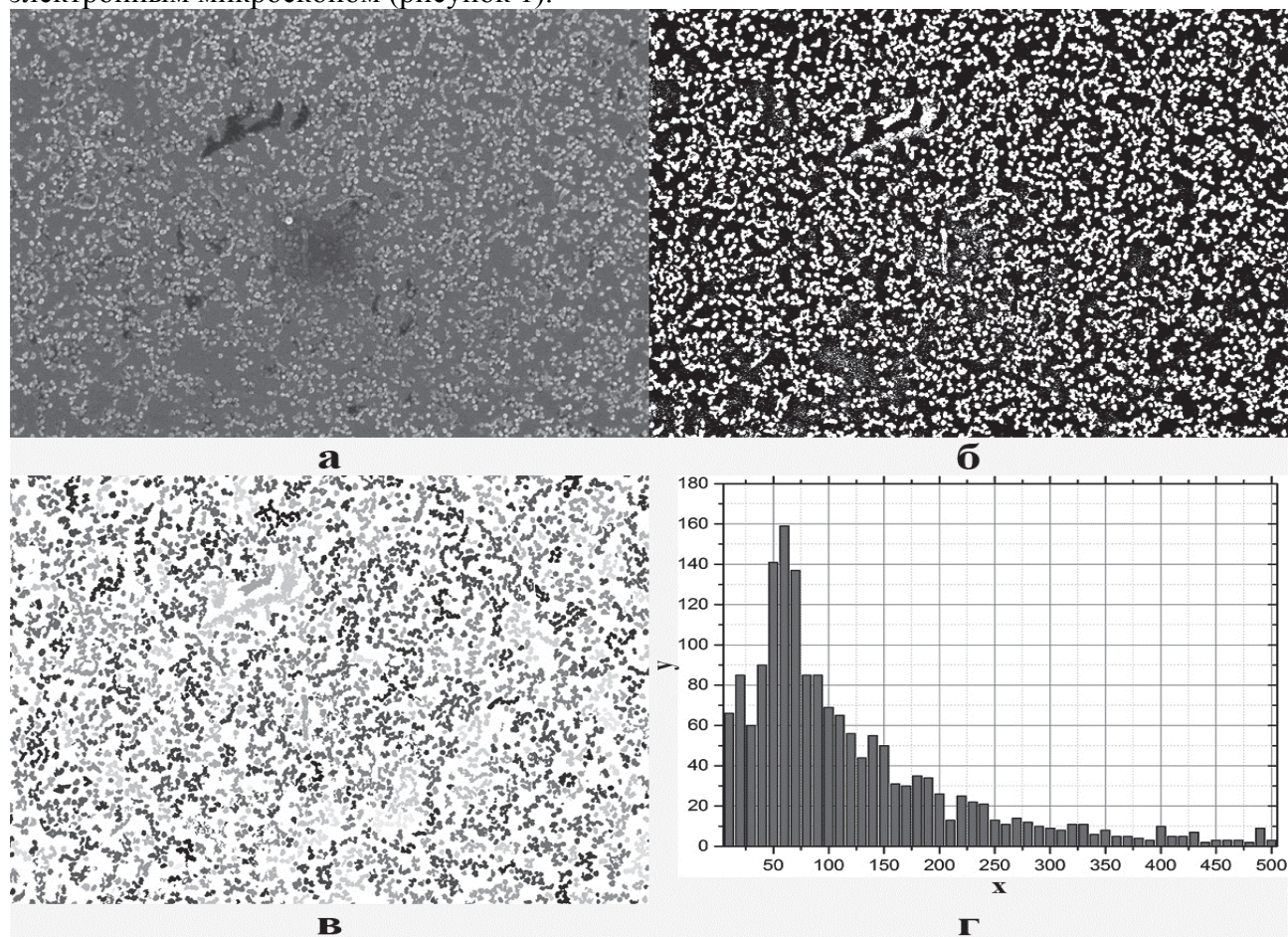


Рис. 1 Этапы обработки изображения островковой структуры палладиевой плёнки: а – исходное изображение палладиевой плёнки, б – результат адаптивной бинаризации изображения, в – результат поиска кластеров, г – график распределения кластеров (х – количество пикселей в одном кластере, у – количество кластеров).

Полученный график распределения по числу кластеров (рисунок 1г) показывает, что частицы распределены неравномерно, что согласуется с теорией. Всего программа обнаружила 1467 кластеров. По внешнему виду графика можно сказать, что наибольшее количество кластеров, а именно 160 кластеров, имеют средний размер 70 пикселей. Распределение остальных кластеров плавно убывает относительно максимума в обоих направлениях.

Выводы. Разработана компьютерная программа для обработки изображений, сделанных растровым электронным микроскопом. Для повышения контрастности изображения с неравномерной освещённостью использован алгоритм адаптивной бинаризации, который позволяет для каждого пикселя рассчитывать среднюю яркость по его окружению. Также был разработан алгоритм для поиска кластеров.

На первом этапе рассчитывалось распределение по числу кластеров, дальнейшее развитие программы может состоять в том, что числу кластеров будет поставлен в соответствие реальный размер островка. На уже обработанных изображениях чётко заметны группы слившихся кластеров. Для получения более точных результатов планируется разработать алгоритм разделения групп слившихся кластеров, что позволит значительно улучшить общую статистику распределения островков в наноразмерных пленках.

Автор выражает благодарность С.В. Томилину за предоставленные изображения наноостровковых структур.

СЕКЦИЯ КАФЕДРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(наименование секции)

ВОЗДУШНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР НАСТЕННОГО ТИПА

Асанов М. М.¹, Калафатов Н. И.²

¹*к.ф.-м.н., доцент кафедры электроэнергетики и электротехники
Физико-технического института КФУ*

²*студент кафедры электроэнергетики и электротехники
Физико-технического института КФУ*

k.nar@mail.ru

Введение. В данной работе рассматривается воздушный солнечный коллектор настенного типа, который может быть применен для обогрева жилых, промышленных и сельскохозяйственных помещений.

Цель и задачи. Целью исследования является создание коллектора, который позволил бы экономить органические виды топлива для обогрева помещений.

В основу изобретения положена задача повышения эффективности использования солнечной энергии, повышение интенсификации, теплоотдачи солнечного коллектора и надежности его работы, а также расширение функциональных возможностей путем обеспечения работы в режимах естественной и принудительной циркуляции воздуха, что дает большое снижение энергозатрат на кондиционирование с целью предотвращения перегрева помещения в жаркое лето.

Результаты исследований. Результатом исследований является макет коллектора, состоящего из корпуса с размещенным в нем абсорбером и прозрачной крышкой для образования между ними воздушного канала, подводящий и отводящий патрубки. Корпус выполнен в виде боковых металлических профилей и деревянного дна, а абсорбер в виде подвижных вокруг своих осей пластин, расположенных горизонтально, в которых одна сторона покрытия – свето-поглощающий материал, а вторая – светоотражающий, при этом воздушный канал соединен с серединой помещения подводным и отводным патрубками, которые смонтированы перпендикулярно ему.

Пластины абсорбера выполнены с возможностью регулировки положения их поверхности относительно солнечных лучей в зависимости от времени года. Система

регулирования положения пластин абсорбера смонтирована через отводящий патрубок в воздушном канале, а в подводном патрубке смонтирован вентилятор.

Такая конструкция солнечного устройства позволяет повысить эффективность использования солнечной энергии за счет поддержания стабильной температуры теплоносителя и обеспечить эксплуатационную надежность в работе, а главное удешевить процесс нагрева воздуха и его теплоотдачу внутрь помещения, когда на улице холодно.

Солнечное устройство может быть использовано и в жаркое лето, путем регулировки положения пластин абсорбера в зависимости от температуры воздуха, тогда помещение не нагревается. Это позволяет расширить функциональные возможности путем обеспечения работы в режимах естественной и принудительной циркуляции воздуха.

Результаты исследований коллектора площадью 1 м² в лабораторных условиях приведены в таблице 1 (Q_i – количество тепла выработанное коллектором, Вт).

Таблица 1.

Результаты исследований воздушного солнечного коллектора

Мес яц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ср. год
Q_i , Вт	435, 39	682, 53	1011 ,42	1373 ,61	1629 ,83	1702 ,08	1618 ,28	1414 ,06	1114 ,81	778, 31	509, 62	346, 77	1051 ,39

Вывод. Результатом исследования является рабочий макет воздушного солнечного коллектора. Были проведены лабораторные исследования макета, доказавшие эффективность его работы.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Бевз М. И.¹, Зайтов Я. С.²

¹ студент кафедры электроэнергетики и электротехники
Физико-технического института КФУ

² студент кафедры электроэнергетики и электротехники
Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н., доцент Воскресенская С. Н.

bevz_mixa01@mail.ru

Введение. В последнее время во всем мире наблюдается рост потребности в электроэнергии и внедрении экологически чистых источников возобновляемой энергии, что привело к развитию ветроэнергетики. Ветровая энергетика является лучшим решением для удаленных от электроэнергетической системы объектов, а также это экологически чистый вид энергии, использование которого не сопровождается выбросами углекислого газа. Уже давно известны сроки, когда запасы нефти и газа подойдут к концу, а это означает и конец традиционной энергетики, основанной на применении именно этих видов топлива. Энергия ветра, в отличие от ископаемого топлива, неистожима, а значит ветряные установки могут служить долгое время.

Цель и задачи исследований. Целью данной работы является анализ перспектив использования ветроэлектростанций на территории России. В качестве основной задачи будем рассматривать оценку ветропотенциала в различных регионах Российской Федерации.

Методика исследований. Использовался метод теоретического анализа и сбор данных.

Результаты исследований. На сегодняшний день в России разрабатываются новые более эффективные модели ветроустановок. Доля электроэнергии, вырабатываемой при

помощи энергии ветра, возрастает. Например, в 2004 году за счет ветроэлектростанций генерировалось 0,4% от общей выработки, а к 2020 году планируется увеличить данную цифру до 5-10%. Мачты ветряных энергетических установок, имея значительную высоту, дают возможность использовать силу ветра в полной мере. При проектировании ветроэлектростанции (ВЭС) в местности, где её планируется разместить, заблаговременно проводят исследования, определяющие силу и направления ветра при помощи приборов - анемометров. Ориентировочно распределение скоростей показано на рисунке 1.



Рис. 1 – Распределение среднегодовой скорости ветра на территории Российской Федерации

На рисунке 2 можно увидеть, где в России целесообразна установка ветроэлектростанций. Карта ветров показывает, что наиболее сильные ветра вдоль всего побережья Северного Ледовитого океана, Тихого океана, на берегах Черного и Азовского морей, в Калининградской и Ленинградской областях, на Байкале и Забайкалье, на Урале, Алтае, Кавказе, а также по всей Камчатке и Чукотке. Местностью с самым сильным ветровым потенциалом в России считается город Певек (Чукотка). Порывы ветра там достигают 36 м/с.

На территории России в настоящее время работает Куликовская ВЭС мощностью 5,1 МВт, ВЭС Тюпкильды – 2,2 МВт, Элистинская ВЭС – 2,4 МВт, Анадырская ВЭС – 2,5 МВт и др. В проекте в данный момент находится Ейская ВЭС с проектной мощностью 72 МВт и Оренбургская ВЭС – 150 МВт.

По экспертным оценкам, технический потенциал ветровой энергии России оценивается свыше 6000 млрд. кВтч/год. Экономический потенциал составляет примерно 31 млрд. кВтч/год. Россия - одна из самых богатых в этом отношении стран, что обуславливается наличием самой длинной на Земле береговой линии, обилием ровных открытых пространств, большими акваториями внутренних рек, озер и морей. Все эти факторы благоприятно влияют на возможности развития ветроэнергетики.

Выводы. Таким образом, ветроэнергетика является одним из наиболее перспективных направлений среди возобновляемых источников энергии. Большие и малые ВЭС могли бы высокоэффективно работать на значительных пространствах России, так как страна обладает мощным техническим потенциалом, который составляет более 6000 миллиардов киловатт часов, что в 6 раз превышает всё современное производство электроэнергии в нашей стране. Следовательно, ветроэнергетика может использоваться как дополнительный источник энергии наряду с иными способами производства электричества.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХ ТИПОВ СХЕМ ИНВЕРТОРОВ

Воскресенская С.Н.¹, Насибов Г.Ф.²

¹к.т.н., доцент кафедры электроэнергетики и электротехники
Физико-технического института КФУ

²студент кафедры электроэнергетики и электротехники
Физико-технического института КФУ

pa.ra.00@mail.ru

Введение. В данной работе были исследованы два инвертора малой мощности, изготовленные на основе двух различных типов транзисторов и микросхем. В результате сравнительного анализа можно отметить отличия выходных сигналов по параметрам и форме.

Цели и задачи. Целью работы является собрать две схемы инверторов, дающих на выходе различные типы сигналов. Задачей является анализ выходных параметров и возможностей их применения для преобразования электрической энергии, генерируемой солнечными батареями.

Методика исследований. Использовались аналитические и экспериментальные методы.

Результаты исследований. Рассмотрим, что собой представляет инвертор.

Инвертор - устройство для преобразования постоянного тока в переменный ток с изменением величины частоты и напряжения. Он представляет собой генератор периодического напряжения, по форме приближённого к синусоиде. Работа инвертора основана на переключении источника постоянного напряжения с целью периодического изменения полярности напряжения на зажимах нагрузки. Частота переключения задается сигналами управления, формируемыми управляющей схемой.

Выделяют три основные схемы инверторов напряжения:

- Мостовой инвертор без трансформатора.
- С нулевым выводом трансформатора.
- Мостовая схема с трансформатором.

Перед началом реализации сборки схемы необходимо проанализировать. Для достижения данной цели может использоваться программа Tina-TI 9. Она является инструментом симуляции рабочих схем в реальном времени. Таким образом программа выявляет ошибки, чтобы оператор смог устранить их и повторить опыт с исправленной виртуальной моделью.

Две схемы инверторов напряжения были смоделированы в Tina-TI, где были заданы начальные параметры. Питание производилось от аккумуляторной батареи с выходным напряжением 12 В. В результате проверки была выявлена пригодность выбранных схем к реализации с подобранной элементной базой.

Первый инвертор построен на базе n-канального полевого транзистора IRFZ44 и биполярного n-p-n транзистора TIP41C. Сама мостовая схема включает в себя два конденсатора емкостью 4,7 мкФ и резисторы с различными сопротивлениями. Энергия к потребителю подается через повышающий трансформатор. Недостатки схемы заключаются в отсутствии защиты, из-за чего полевые транзисторы могут перегреваться и выйти из строя. Но данная защита может быть создана дополнительно. На настоящий момент в связи с малыми нагрузками, на которые осуществлялся расчет элементов схемы, транзисторы справляются с поставленной задачей.

Данный преобразователь имеет максимальную мощность 300 Вт. Форма выходного импульса инвертора напряжения является прямоугольным синусом.

Вторая схема построена на базе n-канальных транзисторов IRL2505 и микросхемы КР1211ЕУ1. Максимальная мощность устройства 350 Вт. Микросхема служит для формирования прямоугольных импульсов. Импульсы формируются так, что между ними наблюдается пауза, что предотвращает появление сквозного тока через транзисторы. Это в свою очередь приводит к повышению КПД. В данной схеме присутствует регулирующий резистор, с помощью которого можно корректировать сопротивления для достижения лучших частотных показателей. На рисунке 1 приведено изображение экрана осциллографа при его подключении к собранному инвертору.

Оба инвертора поочередно были подключены к блоку питания с регулируемыми показателями напряжения и тока. Номинальное напряжение на входе блока питания равно 12 В. На выходе трансформатора в качестве нагрузки были подключены лампы накаливания разной мощностью (100 Вт, 15 Вт), металлизированный полипропиленовый конденсатор емкостью 4,7 мкФ, с номинальным напряжением 630 В. Конденсатор служит для сглаживания контура синусоиды. Так же на выходе были подключены измерительные приборы, с помощью которого измерялись напряжения и токи на выходе трансформатора. Использовался однофазный трехобмоточный трансформатор DV-130-1 15/250 В.



Рисунок 1. Аппроксимированная синусоида

Вывод. Таким образом, были собраны две схемы инверторов малой мощности и в первую очередь стоит отметить, что для получения чистой синусоиды необходимо обеспечить наличие дополнительных конденсаторов и резисторов, которые индивидуально подбираются под заданную схему.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

Гирич Д.М.

*студент кафедры электроэнергетики и электротехники
Физико-технического института КФУ*

научный руководитель: к.т.н., доцент Воскресенская С.Н.
dima.girich.95@mail.ru

Введение. В данной работе рассматриваются факторы, влияющие на эффективность преобразования солнечного излучения, и существующие методы их учета. Солнце – это уникальный источник энергии, который не иссякнет со временем. В свою очередь солнце дает безопасный и экологически чистый вид энергии.

Цель и задачи исследований. Целью данной работы является анализ эффективности генерации электроэнергии солнечными электростанциями и обзор способов ее повышения. Задачей исследований является рассмотрение существующих методов решения проблем, возникающих при преобразовании.

Методика исследований. Использовался метод теоретического анализа существующих проблем и способов повышения эффективности.

Результаты исследований. Основными факторами, которые влияют на генерацию энергии солнечными электростанциями, являются:

- погодные и климатические условия;
- смена времени суток;
- неравномерность освещения солнечных панелей;
- рост температуры солнечных панелей;
- загрязнение солнечных модулей;

Мощность и эффективность работы солнечных фотоэлектрических систем зависит от интенсивности солнечного излучения. В средних широтах днем интенсивность солнечного излучения достигает 800 Вт/м^2 летом $200 \dots 350 \text{ Вт/м}^2$ зимой уменьшаясь практически до нуля с заходом солнца. Солнечное излучение зависит от географической широты точки на земной поверхности, ее высоты над уровнем моря, времени года и суток, прозрачности атмосферы и облачности. Если интенсивность солнечного излучения мала или отсутствует вовсе, то мощность солнечных панелей снижается.

Фотоэлектрические преобразователи в основном работают днем. В утренние и вечерние часы их эффективность падает, но в вечерние часы наблюдается основной пик электропотребления, что видно из рисунка 1. Выходом из этого положения служит применение аккумуляторов. Их задача состоит в том, что в дневное время они накапливают энергию, а с приходом ночного времени суток отдают ее потребителям.



Рис. 1. Почасовая генерация и потребление энергии на юге России

Существует несколько способов увеличения энергоэффективности. Одним из них является выбор оптимального угла установки, так как солнце в течение года постоянно меняет свою высоту над горизонтом. Другой путь увеличения производительности – поворачивать солнечную панель вслед за солнцем в течение дня. Использование этих способов дает возможность улавливать максимальное количество солнечного излучения. Таким образом, можно увеличить выработку электроэнергии до 50% по сравнению с данными в стационарном положении.

Если солнечная панель равномерно освещена, она будет вырабатывать больше электроэнергии. То есть, если какойто фотоэлемент, который входит в состав солнечной панели, освещается менее интенсивно по сравнению с соседними, то он исполняет роль нагрузки, нагревается за счет излишков энергии. Вследствие этого снижается выходная мощность. Для того чтобы уменьшить влияние этого фактора, иногда удобно отключить затененный фотоэлемент.

С ростом температуры эффективность солнечных панелей падает. При нагреве до 100..125°C, их работоспособность снижается, а при дальнейшей увеличении температуры им могут грозить необратимые повреждения. Температурный режим фотоэлемента описывается с помощью индивидуальных температурных коэффициентов.

Чтобы рассчитать температуру солнечного модуля при заданной температуре внешней среды и освещенности применяется следующая формула:

$$T = T_{OC} + \frac{E}{800}(T_{норм} - 20) , \quad (1)$$

где T_{OC} - температура окружающей среды, °C; E - освещенность в Вт/м²; $T_{норм}$ - температура фотоэлемента в модуле (при температуре воздуха 20°C, освещенности 800 Вт/м² и скорости ветра 1 м/с), °C.

Для фотоэлементов $T_{норм}$ колеблется в пределах 41 – 46 °C. Для предотвращения нагрева применяют различные виды охлаждающих систем.

Другими влияющими факторами являются пыль и влага, которые приводят к загрязнению поверхности солнечных панелей, вследствие этого снижается эффективность генерации энергии. Для предотвращения этого применяют специальный состав, который уменьшает степень загрязнения или системы самоочистки. Система самоочистки фотоэлектрических преобразователей включает датчики, определяющие степень загрязненности поверхности, и специальное электризирующееся покрытие. Если управляющий блок получает сигнал от системы датчиков о необходимости проведения очистки панели, он подает волнообразный электроимпульс, который, распространяясь по поверхности панели, сметает до 90% осевшей пыли.

Для повышения генерации необходимо уменьшать необратимые потери солнечной энергии, которые возникают во время взаимодействия солнечного излучения и вещества, из которого произведены фотоэлементы. На данный момент КПД кремниевых фотоэлементов варьируется от 15 до 20%. Во всем мире ведутся работы по его увеличению, причем рост всего на 1 - 2% считается хорошим результатом.

Наиболее вероятными материалами для изготовления современных фотоэлементов считаются различные модификации кремния, арсенид галлия GaAs, а также структуры на основе соединений Cu(In,Ga)Se₂. Арсенид галлия обладает более высоким уровнем поглощательной способности солнечного излучения. Фотоэлементы на его основе обладают значительно меньшей толщиной 5-6 мкм (у кремневых 50-100мкм) и КПД не менее 20 %.

Выводы. Для России перспективы развития солнечной энергетики остаются неопределёнными, страна существенно отстаёт от уровня генерации других стран. Доля солнечной генерации составляет менее 0,001 % в общем энергобалансе страны. Основная причина такой отсталости заключается в таких факторах: климатические условия не всегда соответствуют желаемым, отсутствие государственной поддержки, высокая стоимость солнечных панелей.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОБОГРЕВА НА БАЗЕ УСТАНОВОК ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Коба А.А.

студент кафедры электроэнергетики и электротехники

Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н., доцент Муровский С.П.

Введение. В настоящее время сложившаяся энергетическая ситуация в Республике Крым, включающая низкую энергонезависимость, остро ставит ряд проблем, связанных с энергообеспечением и энергопотреблением и требует принятия активных действий в этом направлении.

При строительстве новых жилых домов нужно строить, основываясь на политике энергосбережения. Для этого необходимо использовать современные теплоизоляционные материалы, а также применять энергоэффективные системы обогрева, которые будут потреблять меньшее количество дефицитной электроэнергии при требуемой тепловой мощности.

Наиболее распространенным способом обогрева помещений на сегодня остается стандартная система водяного отопления, с подачей горячей воды в радиаторы отопления из центральной теплотрассы. С целью энергосбережения вместо традиционного радиаторного отопления целесообразно использование системы отопления «теплый пол», закладываемых на стадии строительства зданий. В тоже время существующие недостатки системы «теплый пол» являются основанием для разработки и применения вместо стандартных электрических или жидкостных теплых полов альтернативных систем обогрева зданий.

Цель и задачи исследований. Эффективным решением данной проблемы может стать создание системы отопления на базе электро-жидкостного теплого пола. Система электро-жидкостного теплого пола представляет собой трубы из структурированного полиэтилена, заполненные жидким теплоносителем с высокой температурой кипения и воспламенения. Внутри трубы протянут греющий кабель. Трубы с кабелем и теплоносителем запаиваются герметически. Теплоноситель статичен и не движется, потому в системе электро-жидкостных теплых полов не нужен насос, котел, смесительные и коллекторные узлы, а также нет потерь на обогрев воздуха на смесительном и коллекторном узле (рисунок 1). В качестве источника электроэнергии для системы можно использовать солнечные фотоэлектрические преобразователи или другие возобновляемые источники энергии.

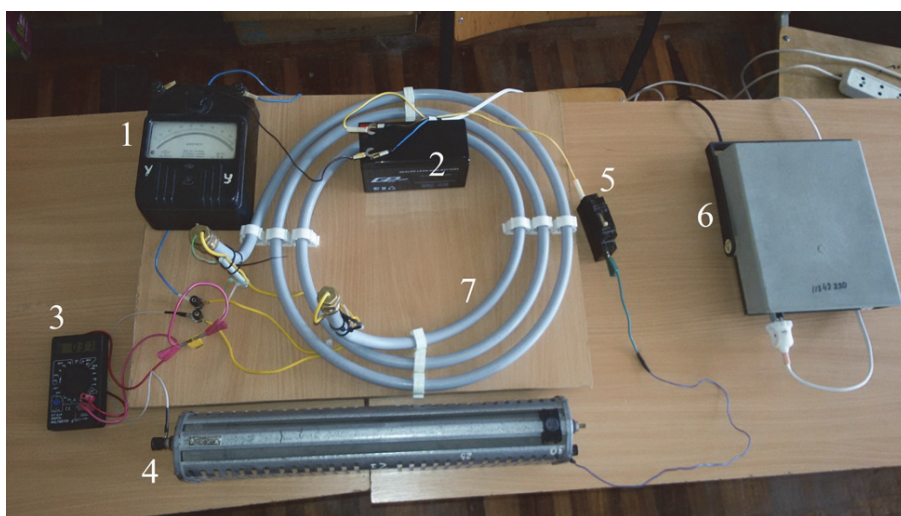


Рис. 1. Внешний вид экспериментального стенда разработанной модели «электро-жидкостной теплый пол»: 1 – амперметр Э-59, 2 – аккумулятор, 3 – измеритель температуры, 4 – реостат, 5 – автоматический выключатель, 6 – вольтметр В7-37, 7 – «электро-жидкостной теплый пол»

Результаты исследований. Проведенные натурные испытания разработанной модели «электро-жидкостной теплый пол» показали эффективность данной системы, позволяющей экономить до 56% энергии по сравнению со стандартным радиаторным отоплением, работающим от электродогревателя.

Еще одним из направлений повышения эффективности работы жидкостных теплых полов возможно использование низкопотенциальной энергии, преобразуемой в высокопотенциальную с помощью тепловых насосов и направляемую на нужды отопления зданий и сооружений.

В дальнейшей работе по повышению эффективности работы жидкостных теплых полов необходимо рассмотреть возможность повышения энергоэффективности тепловых насосов путем изменения рабочих параметров. Регулируемое повышение или снижение давления конденсации позволит изменять температурные параметры теплоносителя жидкостного теплого пола.

Выводы:

Использование энергии возобновляемых источников энергии в энергосберегающих системах теплоснабжения с применением жидкостных теплых полов приведет к значительному энергосбережению традиционных видов топлива и как следствие улучшению экологической ситуации по сравнению с районной котельной, работающей на органическом топливе.

Система теплоснабжения с применением теплового насоса может обеспечить нужды теплоснабжения различных объектов в зимние месяцы, а так же осуществить холодоснабжение потребителей в летнее время года, что значительно повысит энергоэкономические показатели системы.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВИЭ С УЧЕТОМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Курзо А.Н.

студент кафедры электроэнергетики и электротехники

Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н., доцент Муровский С.П.

Введение. В настоящее время постоянный рост энергопотребления населением с одновременным нарастанием глобальной экологической проблемы требует поиска новых альтернативных экологически чистых путей развития энергетики России. С целью децентрализованного обеспечения электроэнергией отдаленных от основной сети небольших населенных пунктов необходимо применять энергоустановки на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Например, небольшая деревушка на берегу реки может питаться от малой ГЭС совместно с небольшой СЭС.

Вода, которую еще в древние времена использовали для выполнения механической работы, до сих пор остается хорошим источником энергии, но теперь уже электрической. Солнечная энергетика как направление появилось относительно недавно. В апреле 1954 года, специалисты компании «Bell Laboratories» заявили о создании первых солнечных батарей на основе кремния для получения электрического тока.

Цель и задачи исследований. Целью данной работы является оценка эффективности комбинированной энергосистемы на базе ВИЭ с учетом применения аккумуляторов энергии и возможности размещения комбинированной электростанции на берегу р. Бельбек для обеспечения энергией удаленного от основных электросетей села Нижняя Голубинка. Для реализации поставленной цели необходимо решить задачи: провести анализ потребления

электроэнергии потребителями, провести анализ производства в поселке, оценить возможность размещения оборудования энергостанции.

Результаты исследований. Село Нижняя Голубинка расположено посередине Второй гряды Крымских гор, в юго-восточной части района, по берегам р. Бельбек, вдоль трассы Бахчисарай - Ялта (идущей через Ай-Петри). Высшая точка села составляет 181 м над уровнем моря. В данном населенном пункте расположено 94 двора и проживает 250 человек. Учитывая современную обеспеченность различным энергооборудованием, то средний пик потребления каждого двора составит 4 кВт, следовательно, суммарная максимальная нагрузка составит:

$$P_{\text{max}} = n \cdot P_{\text{max}} = 4 \cdot 94 = 376 \text{ кВт}$$

Чтобы обеспечить такую мощность, необходимо смонтировать на протекающей через поселок р. Бельбек мини ГЭС мощностью 330 кВт с турбиной типа ГА1, рабочие параметры которой приведены в таблице 1.

Таблица 1

Рабочие характеристики гидроагрегатов для мини ГЭС

Параметры	Тип гидроагрегата			
	ГА1	ГА14	Пр15	Пр30
Мощность, кВт	100-330	20-300	до 130,0	до 200,0
Напор, м	3,5-9,0	2,0-7,2	2,0-12,0	4,0-18,0
Расход, м ³ /с	2,3-6,2	2,5-5,75	0,44-1,5	0,38-1,3
Частота вращения ротора турбины, мин ⁻¹	200-360	250-375	600; 750; 1000	750; 1000; 1500
Номинальное напряжение, В	400	400	230/400	230/400
Номинальная частота тока, Гц	50	50	50	50

Средний расход воды на этом участке реки составляет - 2,7 м³/с, что подходит для данной турбины бесплотинного типа. Остальные 46 кВт будет обеспечивать солнечная электростанция с блоком аккумуляторов. В проекте рассмотрено применение фотомодулей мощностью 280 Вт с выходным напряжением 12В. Согласно проведенного расчета необходимо установить 170 модулей по последовательно-параллельной схеме. Для накопления избыточной энергии в схеме применены свинцово-кислотные аккумуляторы AGM с емкостью 200А·ч с номинальным напряжением 24 В.

В случае аварийной ситуации или резкого падения уровня воды в реке в работу включится аварийный дизель-генератор мощностью 380 кВт.

Выводы: Проведенные исследования и расчеты показали, что электроснабжение села Нижняя Голубинка можно перевести на полностью автономное энергоснабжение от комбинированной энергоустановки на базе ВИЭ. Если основной источник (мини ГЭС) выйдет из строя или не будет удовлетворять полную потребность села в электричестве, то можно использовать энергию аккумуляторов, заряженных от СЭС, или включить аварийный дизель-генератор. Стоимость строительства автономной энергостанции на базе НИЭ будет дешевле на стоимость прокладки ЛЭП от центральной сети до села.

Использование ВИЭ позволит сохранить окружающую среду, так как использование органического топлива будет производиться только в аварийной ситуации.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ АККУМУЛИРОВАНИЯ

Муровский С.П.¹, Тараненко Б.И.²

¹к.т.н., доцент кафедры электроэнергетики и электротехники
Физико-технического института КФУ

²студент кафедры электроэнергетики и электротехники
Физико-технического института КФУ

Введение. Аккумуляция энергии - не новая концепция в энергетике. Ископаемое топливо является эффективным аккумулятором энергии. Однако по мере того, как источники топлива становятся все менее доступными и все более дорогими, появляется необходимость в развитии других методов аккумуляции, и в качестве одного из них - производства возобновляемого топлива.

Водород как один из видов возобновляемого топлива может быть получен путем электролиза воды с помощью любого источника тока. В виде газа он может аккумуляться в емкости, транспортироваться по трубопроводам на значительное расстояние и сожжен для получения энергии. Единственным продуктом сгорания водорода является вода, не образуется никаких загрязняющих атмосферу веществ.

Цель и задачи исследований. В работе рассмотрена идея внедрения новых инновационных систем аккумуляции и проведена оценка их состояния в настоящий момент.

В качестве наиболее перспективных энергетических установок для децентрализованной энергетики могут быть рассмотрены получающие всё большее распространение в мире установки на основе топливных элементов. Топливные элементы не имеют ограничения по коэффициенту полезного действия, как у тепловых машин. В связи с этим они имеют очень высокий коэффициент преобразования химической энергии в электрическую.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема кислородно-водородного топливного элемента по превращению химической энергии в электрическую.

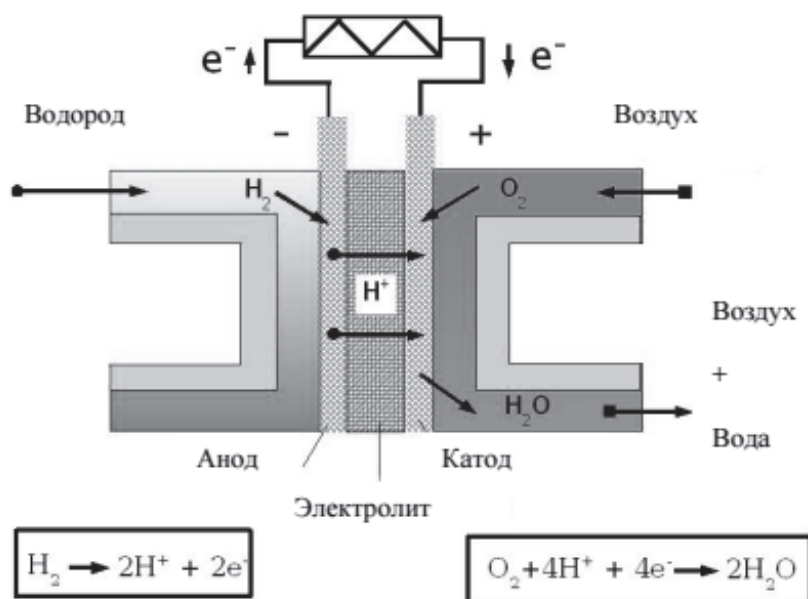


Рис. 1. Принципиальная схема работы кислородно-водородного топливного элемента

Результаты исследований. Одна из проблем энергетики, основанной на мини-электростанциях, состоит в наличии пиков и провалов потребления энергии, невозможностью быстрого регулирования работы станций и необходимостью запасать энергию во время спадов потребления. Водородная энергетика может предоставить возможность аккумулирования избыточной энергии и создания высокоманевренных электростанций.

Использование электрохимических аккумуляторов на базе топливных элементов (ТЭ) для небольших объектов обладает значительным техническим преимуществом по сравнению с обычными аккумуляторами, например, при необходимости высокой отдачи значительной мощности в короткие промежутки времени. На рисунке 2 представлена схема ветро-водородной гибридной электростанции.

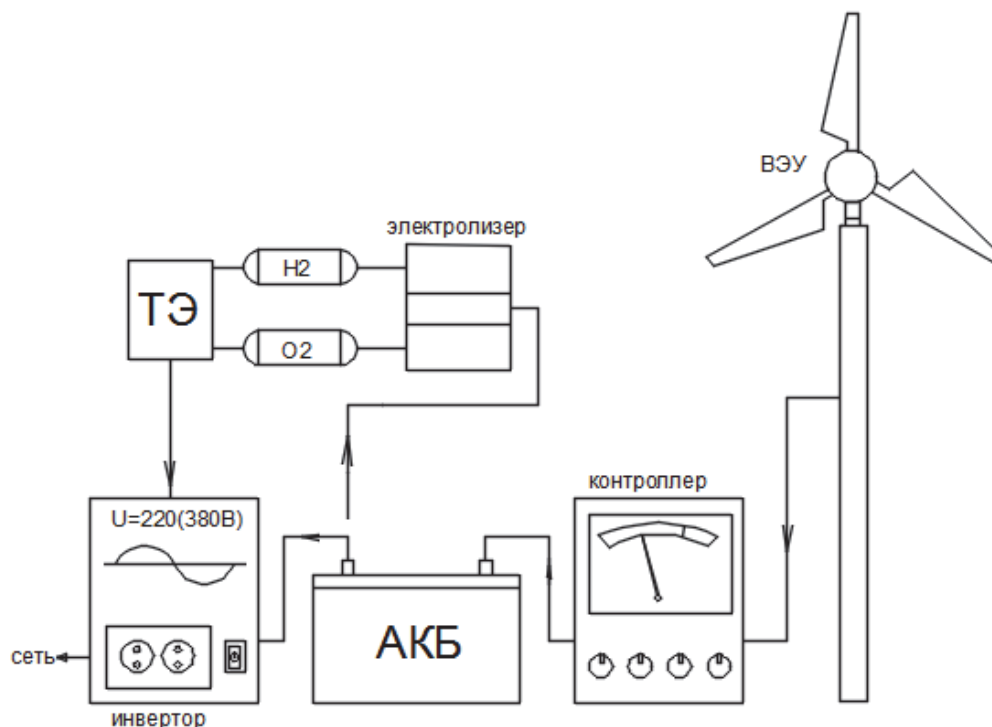


Рис. 2. Блок-схема ветро-водородной станции для удаленного объекта

Представленное схемное решение ветро-водородной станции для электроснабжения удаленного объекта позволяет одновременно обеспечивать потребность объекта в электроэнергии и производить заряд различных аккумуляторов при наличии избыточной выработки на ветроустановке, с последующей выдачей потребителю в нужной форме с заданными параметрами.

Вывод: Аккумулирование энергии за счет водородной энергетике имеет ряд преимуществ:

ВТЭ нет превращения химической энергии топлива в тепловую и механическую, как в традиционной энергетике. В связи с этим КПД топливных элементов значительно выше, чем у традиционных энергоустановок, и может теоретически достигать 90%.

Имеется возможность практически мгновенного возобновления энергоресурса на ТЭ, для этого достаточно присоединить новую емкость с используемым топливом. Применение не расходуемых в процессе реакции электродов позволяет создавать топливные элементы с очень большим сроком службы.

Высокая экологическая чистота энергоустановок на топливных элементах обеспечивается тем, что основным продуктом реакции является обычная вода.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Назарук П. В.¹, Сейтаблаев И. К.¹

¹студенты кафедры энергоснабжения и физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Асанов М. М.

nazarlo@yandex.ru

Гидроаккумулирующие установки (ГАЭС) — наиболее коммерчески освоенные накопители энергии, состоящие из гидроэлектростанций с насосотурбинами и двигатель-генераторами. Закачивание воды из нижнего резервуара в верхний осуществляется с потреблением энергии по низкой цене. ГАЭС выдает свою энергию в периоды пика потребления. Цикл накопления энергии — суточно-сезонный. Высокая маневренность агрегатов ГАЭС (переход из одного режима в другой производится за 15 секунд и менее) позволяет широко использовать их для регулирования и быстрого ввода резерва в энергосистемах.

Во всем мире установленная мощность ГАЭС составляет около 3 % от всей мощности электростанций.

Гидроаккумулирующие электростанции в энергосистеме выполняют следующие функции:

- быстро вводимый аварийный резерв,
- выравнивание графика нагрузки,
- сезонное накопление энергии.

Возможно их использование в качестве резерва установок возобновляемых источников энергии.

ГАЭС составляют около 5 % от генерирующей мощности в Германии и Франции. Во Франции ГАЭС с 70-х гг. эффективно поддерживают график потребления, дополняя работу АЭС с их базисной нагрузкой. В Германии главная задача ГАЭС — резерв пиковой мощности.

В США ГАЭС работают с 20-х гг. и составляют около 2,5 % от мощности всех электростанций. Однако строительство новых ГАЭС в стране практически невозможно из-за недостатка подходящих мест. Последний блок в США введен в 1997 г. после 20 лет отсутствия ввода. Также сложно с подбором мест и для ГАЭС в Европе.

За последние десять лет достигнуты большие успехи в повышении маневренности, надежности и экономичности агрегатов ГАЭС.

Построенные в 60-х гг. ГАЭС имели КПД около 60 %, есть потенциал для повышения КПД до 80 %. Особенно эффективно использование обратимых агрегатов с регулируемой частотой вращения. Кроме повышения КПД при этом появляется возможность регулирования частоты в насосном режиме, работы с частичной нагрузкой, при меньших вибрациях. Есть много примеров таких ГАЭС в мире. В Европе такие агрегаты используются на недавно принятой в эксплуатацию ГАЭС Goldisthal в Германии. Она имеет четыре агрегата мощностью по 265 МВт в генераторном режиме, из них два агрегата — рассчитанные на частоту вращения 333 об/мин и два — с регулируемой частотой вращения от 300 до 346 об/мин. В режиме насосной нагрузки эти агрегаты работают с мощностью от 300 до 362 МВт. Полная мощность этой ГАЭС — 1060 МВт, изготовитель агрегатов — VA Tech, собственник — Vattenfall Europe.

Большие надежды возлагаются на использование ГАЭС совместно с ветрогенераторами. Неравномерность выдачи ветроустановкой электрической мощности является серьезной проблемой при работе на общую сеть. Изменения выходной мощности ВЭУ в течение суток происходят вследствие изменений силы ветра: колебания от нуля при слишком сильном ветре или его отсутствии до 80 % при оптимальном ветре.

ГАЭС с ее возможностями накопления большого количества энергии и быстрым регулированием выходной мощности могли бы поддерживать на необходимом уровне отдаваемую в сеть энергию. Однако постройка ГАЭС достаточной мощности для компенсации неравномерности производства энергии планируемых к вводу ветрокомплексов в Европе усложнена из-за отсутствия подходящих мест.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

Новиков В.А.¹, Карташов В.С.¹

¹студент кафедры электроэнергетики и электротехники

Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н., доцент Воскресенская С.Н.

Feniks.vn@yandex.ru

Введение. В данной работе рассматривается возможность минимизации затрат электроэнергии, расходуемой на освещение, с помощью введения различных режимов работы установок, обеспечивающихся путем использования различных датчиков: датчиков движения, датчиков освещенности, таймеров.

Цель и задачи исследований. Целью работы является оценка энергоэффективности использования устройств, регулирующих работу осветительных приборов. Для этого необходимо провести расчет по затратам энергии с контролирующими устройствами и без них для жилого дома типовой планировки.

Методика исследований. Исследования базируются на аналитическом и вычислительном методах.

Результаты исследований. Рассмотрим типы существующих датчиков движения, которые могут быть использованы для уменьшения энергопотребления жилых комплексов.

Под датчиком движения, исходя из его названия, подразумевается прибор, обнаруживающий передвижение любых объектов в зоне непосредственного действия.

По принципу работы все приборы контроля движения подразделяются на определённые группы:

1. Устройства, работающие благодаря ультразвуку. Такие системы используются для фиксации движения посредством отражённой звуковой волны.
2. Приборы на основе микроволнового излучения. Принцип их работы основан на использовании волн высокой частоты.
3. Инфракрасные приборы – устройства, регистрирующие движение посредством инфракрасного излучения, которое присуще всем источникам тепла и теплокровным организмам.

По способу фиксации движения датчики также можно поделить на группы:

1. Активный прибор сам излучает и регистрирует отражённый от объекта сигнал. Такие устройства конструктивно состоят из приёмника и излучателя. Но по этой причине значительно усложняется конструкция прибора, а соответственно и цена.
2. Пассивное устройство регистрирует собственное излучение объектов. Конструктивно такое устройство намного проще и, естественно, дешевле. Но пассивные приборы имеют высокий уровень ложных срабатываний.

Датчик освещенности (освещения) или сумеречный выключатель – это устройство автоматического управления источниками света, в зависимости от уровня освещенности окружающего пространства. Иными словами, датчик освещенности - это выключатель, работающий в автоматическом режиме, включающий и выключающий свет при достижении определенной степени освещенности в месте его установки.

Проведем расчет для девятиэтажного жилого дома типовой планировки серии П-3М с двух- и трехкомнатными квартирами.

Рассчитаем энергопотребление в течении года для одного подъезда взятой планировки при использовании ламп накаливания, а также с учетом человеческого фактора (возможное время через которое человек вспомнит о не выключенном свете) и сравним результат с аналогичным подсчётом, но уже с использованием датчиков. Результат отобразим в таблице 1.

Таблица 1. Расход электроэнергии жилого дома

Место	Возможный расход энергии на освещение без использованием датчиков	Возможный расход энергии на освещение с использованием датчиков
	Энергопотребление, кВт*ч	
3-х комнатная квартира		
Кухня	164	118
Туалет	43,2	32,4
Ванная	75,6	64,8
Прихожая	108	86,4
Гостиная	388,8	345,6
Спальня 1	194,4	172,8
Спальня 2	194,4	172,8
Итого на дом	21031,2	17870,4
2-х комнатная квартира		
Кухня	164	118
Туалет	43,2	32,4
Ванная	75,6	64,8
Прихожая	108	86,4
Гостиная	388,8	345,6
Спальня 1	225	198
Итого на дом	18082,8	15213,6
Подъезд		
1 подъезд	11996	8190
Итого	51110	41274

Как видно из таблицы 1 сэкономленное количество электроэнергии составило 9836 кВт*ч в течении года с одного подъезда.

Выводы. Итак, только при предварительном расчете экономится 9836 кВт*ч, что при нынешних тарифах составляет около 20000 рублей. Так же стоит учесть, что кроме экономической составляющей необходимо помнить о проблеме энергодефицита во многих регионах России, особенно это касается Республики Крым. Внедрение современных технологий и регулирование режимов работы даже в пределах только городов может улучшить ситуацию с энергопотреблением во всём регионе.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПЛОСКИХ И ВАКУУМНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Сейтумеров Э. Н.¹, Мамутов Э. Э.¹

¹студент кафедры энергоснабжения и физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.т.н., профессор Бекиров Э. А.

seitumerov96@gmail.com

Введение. Рассмотрены плоские и вакуумные коллекторы солнечной энергии, их типы и конструктивные и технические особенности, перспективы использования для теплоснабжения в индивидуальном жилищном строительстве. Произведен анализ падения и отражения света от вакуумных трубок коллектора. Выделены основные преимущества и недостатки разных типов конструкций коллекторов солнечной энергии. Выявлены основные направления повышения тепловой эффективности плоских коллекторов солнечной энергии путем снижения оптических и тепловых потерь, применением нескольких слоев прозрачной изоляции, вакуумизации пространства между двумя слоями остекления или между лучепоглощающей поверхностью и прозрачной изоляцией, а также внедрению фокусирующих гелиоследящих концентраторов. Произведена оценка основных параметров, влияющих на коэффициент полезного действия КПД (мгновенный) коллекторов солнечной энергии. Указаны характеристики наиболее употребительных типов коллекторов солнечной энергии.

По типу конструкции наибольшее распространение в системах солнечного теплоснабжения получили плоские и вакуумные солнечные коллектора. Каждый из них имеет определенные преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при проектировании систем. Простые и дешевые в изготовлении плоские коллектора состоят из элемента, поглощающего солнечное излучение (абсорбера), прозрачного покрытия и теплоизолирующего слоя. Стандартным решением повышения эффективности коллектора стало применение абсорбера из листовой меди, из-за ее высокой теплопроводности, стали и алюминия. Для повышения эффективности абсорбер покрывается чёрной краской либо специальным, оптически селективным покрытием, максимально поглощающим тепловую энергию. Это покрытие представляет собой единственный наукоемкий элемент в конструкции устройства. Прозрачный экран обычно выполняется из стекла с пониженным содержанием металлов либо рифленого поликарбоната. Задняя часть панели покрыта теплоизоляционным материалом. Трубки, по которым распространяется теплоноситель, изготавливаются в основном из меди. Сама панель является воздухонепроницаемой. Коллектор способен улавливать прямую и рассеянную радиацию и устанавливается, как правило, стационарно на крыше здания.

Преимущества плоского солнечного коллектора:

- большая площадь абсорбера;
- отношение улавливающей площади к общей площади плоского солнечного коллектора;
- дешевизна, простота изготовления;
- возможность реализации режима принудительной оттайки выпавшего снега путем пропускания в течение нескольких минут горячего теплоносителя через солнечный коллектор;
- способность улавливать как прямую, так и рассеянную радиацию;
- стационарная установка без применения гелиоследящих устройств;
- стоимость солнечной установки можно существенно уменьшить путем совмещения конструкции кровли с плоским солнечным коллектором.

Недостатки плоского солнечного коллектора:

- хрупкость светопрозрачного листового покрытия;

- низкий КПД при высоких температурах абсорбера;
- возможность замерзания теплоносителя зимой;
- низкая рабочая температура (максимальная рабочая температура теплоносителя (без застоя) не превышает 100 °С);
- коррозия

Тепловая эффективность плоских коллекторов солнечной энергии может быть увеличена путем снижения оптических и тепловых потерь благодаря применению нескольких слоев прозрачной изоляции (остекления), созданию вакуумного пространства между лучепоглощающей поверхностью и прозрачной изоляцией, а также внедрению фокусирующих гелиоследящих концентраторов.

Вакуумный солнечный коллектор состоит из так называемых тепловых трубок и по своему устройству, напоминает термос. Наружная часть такой трубки прозрачна, а на внутренней части трубки наносится высокоселективное покрытие, эффективно улавливающее солнечную энергию. Между внешней и внутренней стеклянной трубкой находится вакуум. Внутри трубки находится низкокипящая жидкость или теплоноситель. При облучении установки солнечным светом жидкость, находящаяся в нижней части трубки, нагреваясь, превращается в пар. Пары поднимаются в верхнюю часть трубки (конденсатор), где конденсируясь, отдают тепло коллектору. Благодаря цилиндрической форме трубок солнечные лучи падают на поверхность абсорбера перпендикулярно к оси трубки, но при этом все остальные лучи, не перпендикулярные оси трубки, будут отражаться. Отражение вдоль трубок будет такое же, как и у плоских солнечных коллекторов.

Преимущества вакуумированного трубчатого солнечного коллектора:

- высокая рабочая температура;
- высокий КПД;
- отсутствие вероятности заморозки (для пароконденсатных);
- способность улавливать как прямую, так и рассеянную радиацию;
- стационарная установка без применения гелиоследящих устройств;
- отсутствие условий для коррозии.

Недостатки вакуумированного трубчатого солнечного коллектора:

- хрупкость светопрозрачного листового покрытия;
- небольшая площадь абсорбера;
- отношение апертурной площади к общей площади плоского солнечного коллектора;
- высокая стоимость, простота изготовления;
- невозможность реализации режима принудительной оттайки выпавшего снега без внедрения дополнительных систем.

При выборе солнечного коллектора любой конструкции необходимо учитывать их отличия, стоимость, реальный КПД, область применения и климатические данные и экономический эффект от внедрения.

ПОРТАТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Шеметов И. В.¹

¹студент кафедры электроэнергетики и электротехники

Физико-технического института КФУ

научный руководитель: ст. преподаватель Химич А.П.

ilyashpb1@gmail.com

Для проектирования фотоэлектрических систем важно знать количество доступной солнечной энергии в данном месте в определенное время. Интересующая нас величина характеризующая солнечное излучение – плотность потока энергии.

Плотность потока энергии – физическая величина, численно равная потоку энергии через малую площадку единичной площади, перпендикулярную направлению потока. Плотность потока энергии изменяется на протяжении суток и сильно зависит от местоположения и погодных условий. Существуют несколько приборов для измерения данной величины:

- Пиранометр. Измеряет плотность потока солнечного излучения, попадающего на всю поверхность полусферы.
- Пиргелиометр. Измеряет прямую солнечную радиацию, падающую на поверхность перпендикулярную солнечным лучам.

Данные приборы позволяют получить фактическое значение плотности потока солнечного излучения в определенном месте и в определенное время без необходимости расчета.

Часто для проектирования солнечной энергоустановки требуется проводить измерения солнечной радиации в конкретной местности. Указанные измерения могут быть автоматизированы с использованием портативного устройства для регистрации интенсивности солнечного излучения и оценки параметров солнечных энергоустановок. Было принято решение разработать и сконструировать данное устройство.

Конечным потребителем портативного устройства будут являться специалисты по предварительному расчету системы солнечных батарей, а также энтузиасты солнечной энергетики.

Так как проектируемая солнечная энергоустановка обычно располагается на крыше уже существующего здания, теоретический расчет, основанный на данных ближайшей метеостанции, не будет учитывать конфигурацию кровли и другие особенности местности, поэтому использование прибора, позволяющего осуществлять измерения непосредственно на месте, является перспективным.

Предполагаемый функционал прибора:

- Вывод на дисплей мгновенного значения плотности потока энергии при заданной площади (Вт)
- Вывод на дисплей значения площади солнечных батарей для обеспечения заданной мощности (м²)
- Возможность подключения к ПК и снятия мгновенных значений плотности энергии за выбранный промежуток времени в виде графика.
- Вывод всех вышеперечисленных показаний для различных фотоэлементов.
- Сбор данных о солнечной радиации за указанный период – сутки, месяц, год – с последующим расчетом параметров энергоустановки.

Прибор будет представлять собой моноблок со съемными фотоэлементами, которые будут выбираться из числа существующих в продаже полноразмерных солнечных батарей, дисплеем для вывода мгновенных значений, клавишами для ввода значений площади и

мощности, а также разъемом для подключения к ПК. Питание будет осуществляться от аккумулятора.

Основные предполагаемые достоинства портативного устройства:

- дешевизна в производстве
- удобство и простота использования
- компактность
- универсальность

Таким образом, с использованием данного устройства можно будет наглядно продемонстрировать заказчику потенциал установки солнечных батарей, необходимую площадь для обеспечения его потребностей в электрической мощности. Также можно будет применить указанное портативное устройство для регистрации данных за интересующий промежуток времени.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Акимова Я. Е., 30
Алексеев К.Н., 61
Алексеева М.К., 61
Арсеничев С.П., 59
Асанов М. М., 101

Б

Бабаджан Р.-Д. А., 69
Бахов В.А., 55
Бабка А.А., 32
Бевз М. И., 102
Близицкий В.В., 87
Бурдин Д.В., 4
Бурова В.Ю., 28
Буряк В.В., 48

В

Викулин Д.В., 85
Вишневская О.В., 61
Воскресенская С.Н., 104

Г

Гирич Д.М., 106
Глумова М.В., 59
Гонцова С.С., 73
Горишний В.А., 89
Григорьев Е.В., 52, 59
Григорьев П.Е., 24, 26

Д

Дровосеков А. Б., 84
Дубинянский Ю.М., 47

З

Заитов Я. С., 102
Замковская А.И., 63, 79
Зуев С.А., 18, 59

И

Ибрагимов А.Э., 35, 37
Иванов Р.А., 53
Ильясова А.А., 35, 39
Исмаилов И.А., 41

К

Калафатов Н. И., 101
Карсаков П.В., 7
Карташов В.С., 114
Клевец Ф.Н., 65
Коба А.А., 108
Ковалева А.О., 43
Козик Г.П., 5, 21
Кореньков П.А., 53
Космачев О.А., 67
Кривцова А.В., 67
Крикун А.С., 90
Кувшинов В.М., 59
Курзо А.Н., 109

Л

Лагунов И.М., 95
Лاپин Б.П., 61
Леяков А.П., 69, 71

М

Мазинов А.С., 54
Максимова Е.М., 73
Мамадалиева Э.А., 74
Мамутов Э. Э., 116
Марущак Б.А., 54
Милодан А.В., 61
Милуков В.В., 9, 10
Милукова Е.Т., 73
Михерский Р.М., 9, 10
Могиленец Ю. А., 84
Муровский С.П., 111
Мястковская И.В., 24

Н

Назарук П. В., 113
Насибов Г.Ф., 104
Наухацкий И.А., 73
Неклюдов Е.А., 76
Новиков В.А., 114
Нудьга А.А., 56

О

Ожегов А.Ю., 12
Осокин К.С., 71

П

Парменов О.И., 13
Перескоков В.С., 92
Побаченко С. В., 28
Побаченко С.В., 26
Покрова С.В., 16
Полетаев Д.А., 50, 53, 54, 55, 56
Полулях С. Н., 93
Пономаренко В.И., 95

Р

Руденко М.А., 14, 16
Рябушкин Д.С., 97

С

Савицкий И.В., 24
Сейтаблаев И. К., 113
Сейтумеров Э. Н., 116
Селезнева К. А., 84
Слюсарь А.А., 24
Снегирев Н.И., 81
Соколенко Б.В., 54, 55
Соколов М.В., 26
Сосновский Ю.В., 9, 10
Старостенко В.В., 59
Стругацкий М. Б., 84

Т

Таран Е.П., 18, 59
Тараненко Б.И., 111
Тимофеева С.В., 18
Торбек В.Ю., 99
Тютюнник А.А., 13

Ф

Фесенко Ф.Ф., 51
Филиппов Д.М., 5, 21
Фитаев И.Ш., 52
Фридман Ю.А., 65, 67
Фурсенко А.В., 5, 16

Х

Халилов С.И., 35, 37, 39

Ч

Чабанов В.В., 21
Чельшев Л.С., 50, 53
Черкасская К.В., 82

Ш

Шадрин А.А., 56
Шаповал М.А., 79

Шевченко А.И., 54
Шеменов И. В., 118
Шостка В.И., 47, 48
Шостка Н.В., 45

Щ

Щепоткин А.В., 78

Ю

Юрчук С.А., 20

Я

Яворский М.А., 85
Ягунов С. В., 84
Якубова А.Р., 97
Якушкин Е.Ю., 24