

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

СБОРНИК ТЕЗИСОВ УЧАСТНИКОВ

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

«ДНИ НАУКИ КФУ им. В.И. ВЕРНАДСКОГО»

г. Симферополь 2017 год

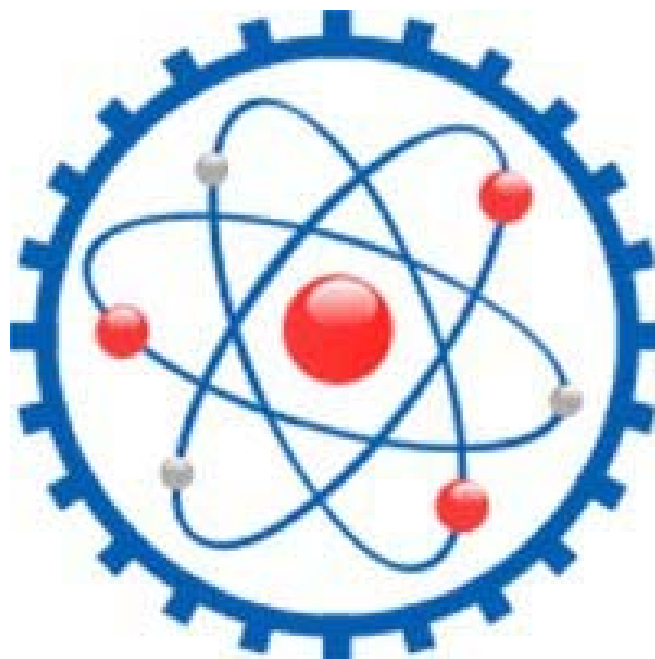
Техническая редакция и верстка:

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

III научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «**Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского**» (Симферополь, 2017), сборник тезисов участников. Симферополь, 2017. Т.7. – 118 с.

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

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



ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СЕКЦИЯ «ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ»

ВЫЧИСЛЕНИЕ СПАДА СВОБОДНОЙ ПРЕЦЕССИИ В ТЕОРИИ ЯМР

Рябушкин Д.С.

доцент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ
druabushkin@cfuv.ru**Введение.**

Вычисление спада свободной прецессии (ССП) является традиционной задачей теории ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Экспериментально наблюдать СПП относительно несложно, поскольку исследуемая система подвергается воздействию всего одного резонансного импульса (с последующим Фурье-преобразованием сигнала, дающим спектр поглощения). Однако в теоретическом плане задача очень сложна, так как реальные образцы представляют из себя многочастичные системы, что делает невозможным прямой расчет отклика. По этой причине в теории ЯМР существуют несколько методик, позволяющих упростить выкладки и получить результаты, согласующиеся с данными эксперимента. Из них последним по времени является так называемый метод аппроксимантов, хорошо зарекомендовавший себя при нахождении откликов самых разных систем. В настоящей работе обсуждаются некоторые новые возможности, предоставляемые методом аппроксимантов при анализе сигналов ЯМР различных систем.

Цель и задачи.

Цель работы – проанализировать возможности, предоставляемые методом аппроксимантов при вычислении СПП (формы линии поглощения) в жестких системах.

Методика исследований.

Метод аппроксимантов в приложении к теории ЯМР.

Результаты исследований.

Как показано в работах М. Энгельсберга и И. Лоу «Approximants of the Nuclear-Spin Autocorrelation Function. Application to CaF_2 » и Дж. Паркера и Ф. Ладо «Calculation of NMR line shapes in calcium fluoride from modified moment expansions», в рамках метода аппроксимантов задача вычисления СПП сводится к нахождению функции времени A_0 из системы уравнений вида

$$\dot{A}_k = iA_{k-1} + i\nu_k^2 A_{k+1},$$

где A_k являются функциями времени, а коэффициенты ν_k^2 зависят от моментов линии поглощения. Данная система содержит бесконечное количество уравнений, поэтому ее непосредственное решение невозможно. В данной работе посредством зануления коэффициентов ν_k^2 проводится обрыв системы, что позволяет найти сигнал СПП.

При $\nu_0^2 = 0$ сигнал поглощения представляет одиночную линию на резонансной частоте. В случае равенства нулю коэффициента ν_1^2 СПП имеет вид косинуса, что соответствует паре линий поглощения (двухспиновая система). Если $\nu_2^2 = 0$, то наблюдается триплет, характерный для квадрупольного ядра со спином 3/2. Если второй и четвертый моменты линии поглощения связаны соотношением $M_4 = 3M_2^2/2$, то СПП описывается функцией Бесселя $G_0 = J_0(\sqrt{2M_2}t)$.

Выводы.

Метод аппроксимантов позволяет вычислить СПП как в модельных, так и многочастичных системах при использовании начальных моментов линии поглощения.

ФОРМИРОВАНИЕ ВИХРЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ

Перескоков В.С.

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

Введение. Генерация поверхностных плазмон-поляритонов (ППП) происходит на границе раздела проводника и диэлектрика в результате взаимодействия фотонов, плазмонов и фононов. Условием возбуждения ППП является то, что действительная часть диэлектрической проницаемости у одной из двух сред должна быть отрицательной. Этому условию отвечает диэлектрическая проницаемость металлов в диапазоне от радиочастот до оптических частот. Волны ППП распространяются в тонком слое, который находится вблизи границы раздела металла и диэлектрика.

ППП обладают рядом уникальных свойств, важнейшим из которых является наномасштаб слоя, в котором локализовано электромагнитное поле. Эти свойства представляют огромный интерес для изучения условий генерации и управления ППП, что связано с требованиями к миниатюризации фотонных и плазмонных компонентов, конструированием и созданием плазмонных логических элементов.

Цель и задачи исследований. Целью работы является математическое моделирование процесса генерации ППП на границе диэлектрик-металл, изучение свойств ППП и анализ условий, при которых возникают оптические вихри при интерференции ППП, падающих и отраженных от криволинейной границы неоднородности в металле.

В работе были поставлены следующие задачи:

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

Результаты исследований.

На границе металл-воздух ($\varepsilon_T \equiv \varepsilon_0$, $\beta_T \equiv \beta$) до рассеяния на неоднородности в линейном режиме формируется ТМ-мода ППП с компонентами поля

$$E_{1x} = \frac{c\beta A}{\omega\varepsilon_0} \exp \phi_T, \quad E_{1z} = -i \frac{c\alpha_0 A}{\omega\varepsilon_0} \exp \phi_T, \quad B_{1y} = A \exp \phi_T$$

где $A = \text{const}$, $\phi_T = -\alpha_0 x + i\beta z$ - фаза ТМ моды ППП, $\alpha_0 = (\beta^2 - c^{-2}\omega^2\varepsilon_0)^{1/2}$ - коэффициент затухания в воздухе, $\beta = c^{-1}\omega(\varepsilon_M\varepsilon_0)^{1/2}(\varepsilon_M + \varepsilon_0)^{-1/2}$ - постоянная распространения.

Компоненты поля Е-моды отраженных от границы неоднородности ППП имеют вид

$$E_{2x} = \frac{c\beta A}{\omega\varepsilon_0} \exp \phi_R, \quad E_{2y} = -i \frac{c\alpha_0 A \cos \varphi}{\omega\varepsilon_0} \exp \phi_R, \quad E_{2z} = -i \frac{c\alpha_0 A \sin \varphi}{\omega\varepsilon_0} \exp \phi_R, \quad B_{2y} = A \sin \varphi \exp \phi_R, \\ B_{2z} = -A \cos \varphi \exp \phi_R$$

На рисунке 1 представлено распределение амплитуды (а, в, е) и фазы (б, г, д, ж, з), вектора Пойнтинга $\mathbf{S} = c(4\pi)^{-1} \mathbf{E} \times \mathbf{B}$ при интерференции ТМ-моды и Е-моды ППП. В областях нулевой интенсивности поля (рисунок 1, в, е) имеются сингулярные точки, в которых претерпевает скачок фаза $\phi_j = \arctan(Im S_j / Re S_j)$ вектора Пойнтинга $S_j = S_{ja} \exp(i\phi_j)$, (где $S_{ja} = [Re S_j^2 + Im S_j^2]^{1/2}$ - амплитуда, $j = x, y, z$), и образуются плазмон-поляритонные вихри.

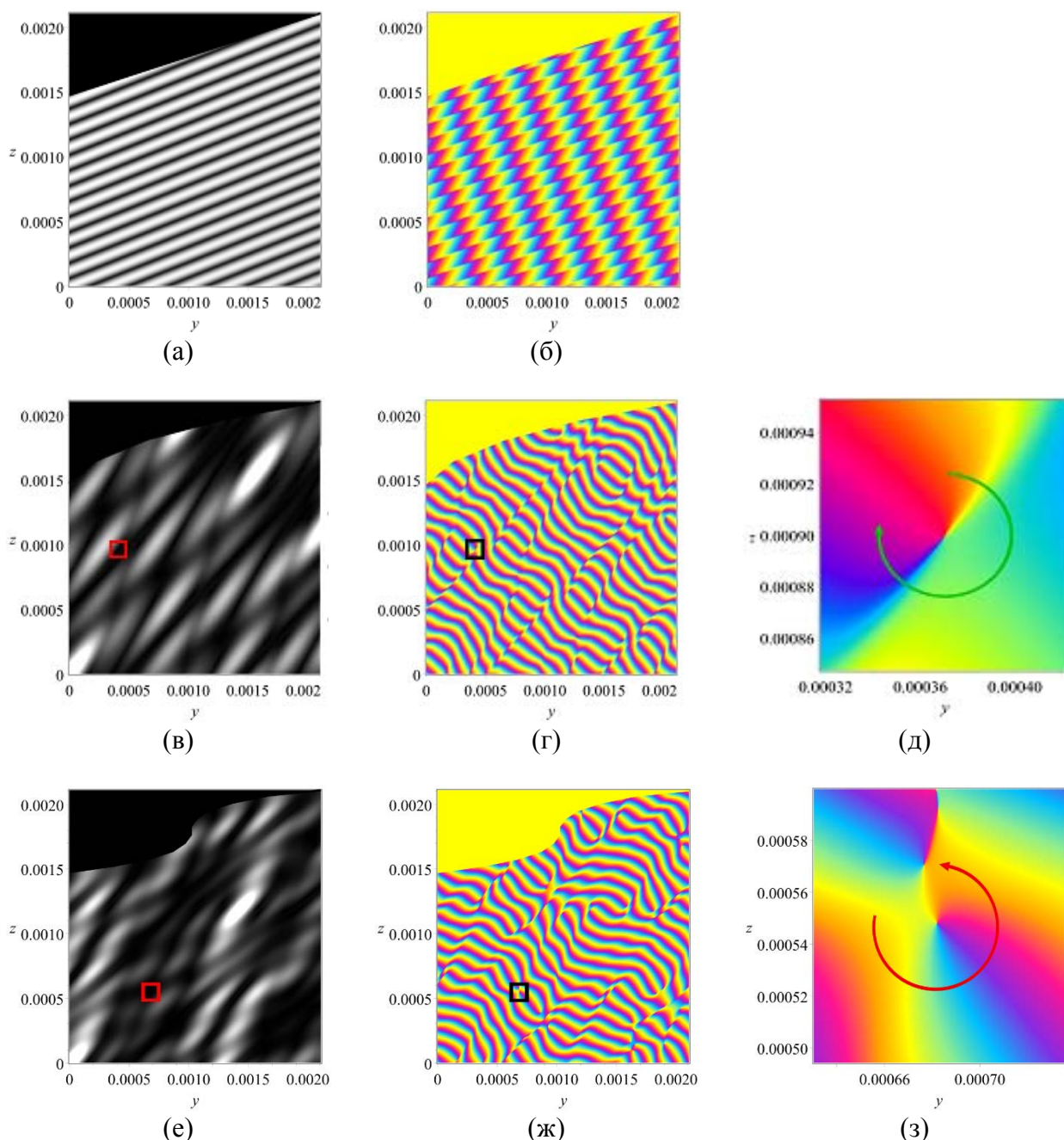


Рис. 1. Распределение амплитуды (а, в, е) и фазы (б, г, д, ж, з) вектора Пойнтинга ППП при интерференции ТМ-моды и Е-моды. На рисунках (а, б) граница неоднородности в металле линейная, на рисунках (в, г) граница имеет вогнутую форму, на рисунках (е, ж) граница имеет волнистую форму, рисунки (д) и (з) представляют плазмонные вихри с топологическими зарядами -1 (д) и +1 (з).

Выводы. В работе представлено теоретическое исследование распределения амплитуды и фазы вектора Пойнтинга ППП на границе диэлектрика и металла. Плазмон-поляритонные вихри образуются при интерференции падающих и отраженных поверхностных волн, а топология вихревой решетки определяется кривизной границы неоднородности в металлическом слое. Генерация поверхностных плазмон-поляритонов и управление топологией решетки плазмон-поляритонных вихрей имеют большие перспективы для конструирования элементов плазмоники и фотоники.

ОРИЕНТАЦИОННАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ

Луговской Н.В.¹, Кириленко А.В.²

¹ аспирант кафедры экспериментальной физики Физико-Технического Института КФУ

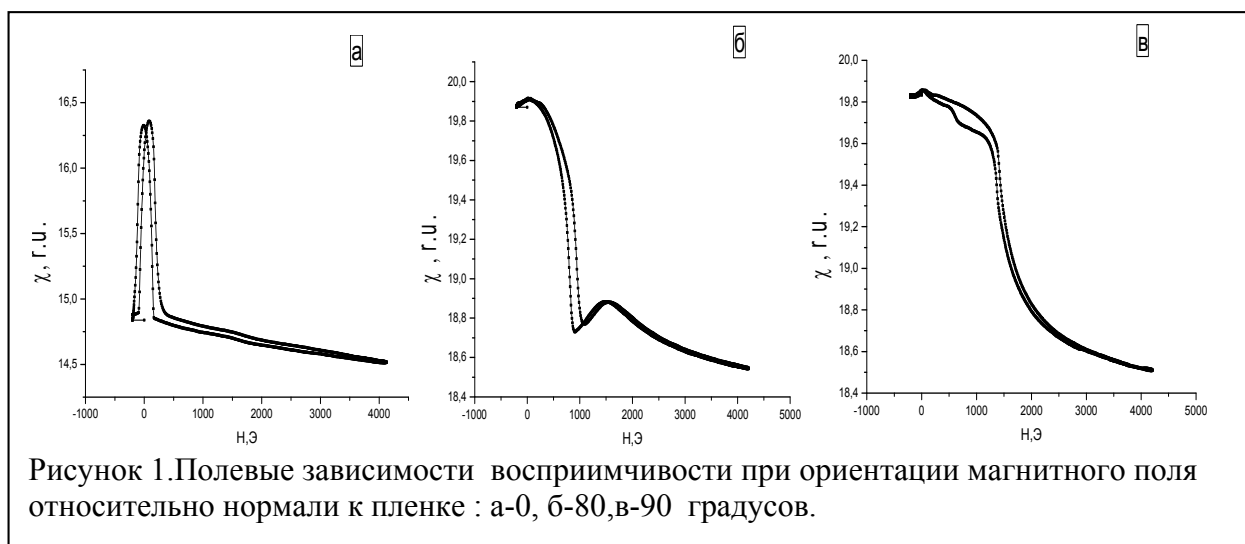
² студент кафедры экспериментальной физики Физико-Технического Института КФУ

научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Бержанский В.Н.

Изучение магнитных свойств монокристаллических эпитаксиальных пленок феррит-гранатов (ЭПФГ) является одним из важных направлений в современной физике твердого тела. Эти пленки достаточно широко используются в магнитооптике, магнотонике, спинтронике, сенсорике, на их основе создаются разнообразные миниатюрные датчики, чувствительные к магнитным и электрическим полям, температуре и другим физическим величинам. Одной из основных характеристик ЭПФГ является магнитная восприимчивость, которая позволяет судить о процессах намагничивания и влияния на них различных физических и структурных параметров. Поэтому целью данной работы было исследование полевых зависимостей восприимчивости тонких пленок феррит-гранатов при различном направлении поля намагничивания относительно нормали к плоскости пленки в диапазоне магнитных полей от 0 до 4000 Э. Пленки состава $(\text{YBiGd})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ были выращены методом жидкофазной эпитаксии на подложке $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ ориентацией [111] и имели толщину от 1,9 до 7,2 мкм.

Исследование магнитной восприимчивости осуществлялось индукционным методом на частоте 1 МГц на установке «Эталон-1Б». Установка «Эталон-1Б» в лабораторных и производственных условиях позволяет осуществлять оперативный контроль статических свойств тонких ЭПФГ толщиной от 0,5 до 30 мкм с анизотропией типа «легкая ось» или «угловая фаза», позволяет проводить неразрушающий контроль количества слоев и определять статические свойства каждого из них; исследовать изменения, происходящие в феррит-гранатовых пленках под действием различных технологических обработок (отжига, имплантации, металлизации, ультразвуковой обработки т.д.).

На рис.1 представлены несколько полевых зависимостей восприимчивости (динамических петель гистерезиса) одного из образцов ЭПФГ № И03 толщиной 4 мкм,



измеренных при углах 0, 80 и 90 градусов. Как видно из приведенных зависимостей для них характерны две существенно различные области – максимум в малых полях (Рис.1а) и медленно спадающая часть в больших. При ориентации магнитного поля в плоскости пленки (90 градусов) наблюдается сравнительно монотонная зависимость восприимчивости от поля (Рис.1в). При некоторых углах ориентации внешнего поля (от 60 градусов и выше)

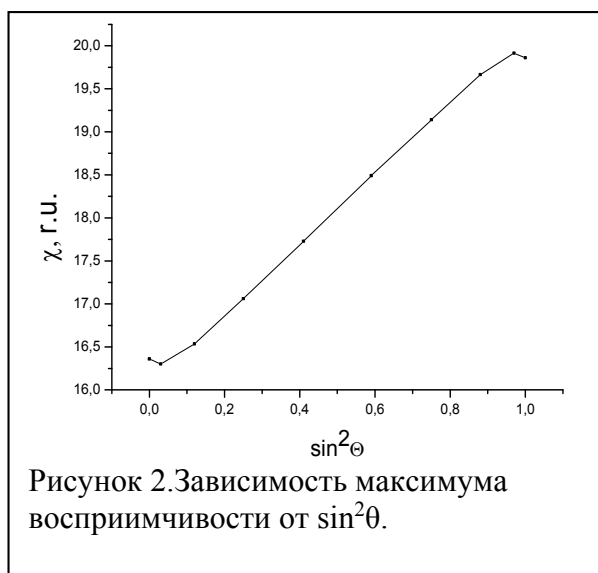
обнаруживается дополнительный пик восприимчивости в диапазоне полей от 1500 до 2000 Э (рис. 1.б).

Максимум восприимчивости связан с перестройкой доменной структуры и активностью процессов смещения доменных границ и вращения магнитных моментов под действием магнитного поля. Спад восприимчивости в больших полях связан с парапроцессом в спиновой системе ферримагнетика. По расстоянию между двумя максимумами, соответствующими прямому и обратному ходу намагничивания, было определено значение динамической коэрцитивной силы, которое при $\theta=0$ составляет 48 Э. По величине поля перехода к парапроцессу определялось значение поля насыщения пленок.

При изменении полярного угла величина восприимчивости растет и достигает максимума при повороте магнитного поля на 90° , что соответствует ориентации магнитного момента в плоскости пленки (рис. 1в). Подобная зависимость может быть объяснена в рамках механизма вращения магнитных моментов. В соответствии с теорией процессов вращения восприимчивость зависит от полярного угла θ в виде:

$$\chi_{\text{вр}} = \frac{M_s^2}{2K_u} \sin^2 \theta, \quad (1)$$

где M_s – намагниченность насыщения, K_u – константа одноосной анизотропии.



Как видно из рис.1, величина восприимчивости увеличивается при переходе от нормали к плоскости. На рис.2 представлена зависимость максимума восприимчивости от квадрата синуса полярного угла, которая в широком диапазоне углов носит линейный характер. Это означает, что доминирующим вкладом в ориентационную зависимость магнитной восприимчивости вносят, согласно (1), процессы вращения магнитных моментов.

Поле насыщения $H_{\text{нас}}$, имеет минимальное значение 400Э при намагничивании вдоль нормали и увеличивается до 4000Э при намагничивании в плоскости. Поле насыщения определяется внутренним магнитным полем, которое

зависит от размагничивающих факторов формы образца и поля анизотропии. Поэтому увеличение $H_{\text{нас}}$ при увеличении θ связано с преодолением поля одноосной анизотропии, которое значительно превышает размагничивающее поле обусловленное формой образца.

Наличие дополнительного пика восприимчивости при углах больших 60 градусов свидетельствует о том, что структура пленки носит двухслойный характер. Параметры второго слоя константа магнитной кристаллографической анизотропии и намагниченность существенно отличаются от параметров основного слоя. Как видно из рис.1 в основном слое тип анизотропии имеет характер «легкая ось», а во втором слое - «угловая фаза».

Выводы. Исследование полевых зависимостей восприимчивости пленок ферритов гранатов показало, что пленки имеют двухслойную структуру с существенно различными магнитными характеристиками слоев. Доминирующий вклад в процесс намагничивания основного слоя вносят процессы вращения.

Дзедолик И.В.

профессор кафедры экспериментальной физики Физико-технического института, КФУ

Введение. На границе раздела металлического слоя и диэлектрика при выполнении граничных условий высокочастотной электромагнитной волной возбуждаются поверхностные плазмон-поляритоны (ППП). PPP распространяются вдоль границы раздела сред в тонком приграничном слое. Падая на неоднородность в металлическом слое, например, на границу отверстия, PPP рассеиваются, отражаются в обратном направлении. Падающие и рассеянные PPP интерферируют, и, в зависимости от конфигурации границы неоднородности, в минимумах интерференционного поля могут возникнуть точки сингулярности. В таких точках формируются плазмон-поляритонные вихри. Изменение конфигурации границы неоднородности в металлическом слое приводит к перестройке вихревой решетки. Наблюдение и регистрация плазмон-поляритонных вихрей возможна с помощью методов ближнепольной микроскопии.

Цель и задачи исследований. Целью работы является теоретическое обоснование экспериментального метода генерации и наблюдения с помощью ближнепольного микроскопа поверхностных плазмон-поляритонов на верхней границе золотой пленки, напыленной на подложку из плавленого кварца.

В работе поставлены задачи:

- выбор оптической схемы для генерации PPP;
- определение условий интерференции падающих и отраженных от границы неоднородности в металлическом слое PPP, при которых формируются плазмон-поляритонные вихри;
- определение условий наблюдения и регистрации вихревой решетки PPP с помощью ближнепольного микроскопа.

Результаты исследований. Обоснован выбор стандартной оптической схемы Кретчманна для генерации PPP на поверхности золотой пленки, напыленной на подложку из плавленого кварца. Выбор схемы Кретчманна обусловлен генерацией PPP на ТМ-моды из-за отсутствия магнитного отклика обеих сред. Вектор Пойнтинга ТМ-моды имеет нормальную к поверхности металлического слоя компоненту, необходимую для наблюдения PPP в ближнем поле. PPP ТМ-моды, отражаясь от криволинейной границы неоднородности в металлическом слое, интерферируют с падающими PPP. В точках минимумов интерференционного поля PPP, в зависимости от кривизны границы неоднородности, могут возникнуть точки сингулярности, в которых формируются плазмон-поляритонные вихри. Топология вихревой решетки определяется конфигурацией границы неоднородности. Изменяя конфигурацию границы неоднородности можно управлять топологией вихревой решетки. Наблюдение и регистрация вихревой решетки PPP возможна с помощью методов ближнепольной микроскопии.

Выводы. Анализ динамики поверхностных плазмон-поляритонов представляет интерес как для фундаментальных, так и для прикладных исследований. Плазмон-поляритонные вихри образуются при интерференции падающих и отраженных от неоднородности в металлическом слое поверхностных плазмон-поляритонов, а топология вихревой решетки определяется кривизной границы неоднородности. Наблюдение и регистрация плазмон-поляритонных вихрей возможна с помощью методов ближнепольной микроскопии. Генерация поверхностных плазмон-поляритонов и управление топологией решетки плазмон-поляритонных вихрей имеют большие перспективы для конструирования элементов плазмоники и фотоники.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ГЕНЕРАЦИИ ВИХРЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ

Горишний В.А.

аспирант кафедры экспериментальной физики, ФТИ, КФУ

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

Введение. В последние годы генерация, управление и регистрация плазмонных волн привлекают большое внимание в связи с перспективой создания процессоров с быстроедействием, превосходящим полупроводниковые процессоры в $\sim 10^5$ раз. Такое превосходство в скорости плазмонных процессоров над традиционными полупроводниковыми обусловлено их работой на оптических частотах $\sim 10^{14}$ Гц в отличие от мегагерцовых частот $\sim 10^9$ Гц функционирования полупроводниковых устройств.

На границе металла с диэлектрической средой при выполнении граничных условий могут быть возбуждены поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) с компонентами поля в металле $\sim \exp(-i\omega t + i\beta y + \alpha_M z)$, и в диэлектрической среде $\sim \exp(-i\omega t + i\beta y - \alpha_0 z)$, где $\alpha_M > 0$, $\alpha_0 > 0$. PPP локализуются вблизи границы раздела двух сред: затухают вдоль нормальной к поверхности оси z в диэлектрике и в металле, а распространяются по продольной оси y .

Диэлектрическая проницаемость металла $\varepsilon_M \sim 1 - \omega_e^2 / \omega^2$ зависит от отношения плазменной электронной частоты ω_e и частоты электромагнитной волны ω , и может иметь как положительное, так и отрицательное значение. При выполнении граничных условий $-\varepsilon_M \alpha_0 = \varepsilon_0 \alpha_M$ в области отрицательных значений диэлектрической проницаемости металла $\varepsilon_M < 0$, и положительных значений $\varepsilon_0 > 0$ диэлектрической проницаемости среды, PPP распространяются вдоль поверхности металла. В области положительных значений $\varepsilon_M > 0$, либо за границей неоднородности, например, отверстия в металлическом слое, граничные условия распространения нарушаются, PPP рассеиваются на границе области неоднородности. В последнем случае прямые и отраженные волны плазмон-поляритонов интерферируют. Интерференция PPP, отраженных от границ области неоднородности с различной конфигурацией границы, приводит к возникновению ряда эффектов, в частности, к фокусировке PPP, к формированию вихрей. При отражении PPP от криволинейной границы неоднородности на поверхности металла в интерференционном поле возникают сингулярные точки, в которых образуются вихри PPP. При этом топология интерференционного поля зависит от кривизны границы.

Вихри PPP на поверхности металла можно наблюдать с помощью методов ближнепольной микроскопии.

Цель и задачи исследований.

Целью работы является генерация и наблюдение PPP методом ближнепольной микроскопии на поверхности тонкой металлической пленки, а также анализ условий, при которых возникают оптические вихри при интерференции PPP, падающих и отраженных от криволинейной границы неоднородности в металле.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Изготовить экспериментальные образцы тонких металлических пленок на подложке из плавленого кварца:

– на поверхность подложки из плавленого кварца с размерами 10x10x0.5 мм напылить слой золота толщиной 50 нм; слой золота должен занимать половину поверхности подложки.

- в слое золота выгравировать два одинаковых соприкасающихся отверстия диаметрами 2-5 мкм так, чтобы граница отверстий в слое золота имела форму ласточкина хвоста.

2. Для наблюдения ППП в ближнем поле по схеме Кретчманна модифицировать подставку для образцов в атомно-силовом микроскопе:

- закрепить кварцевую треугольную призму на подставке для образцов;
- закрепить на боковой поверхности призмы оптическое волокно, подводящее излучение полупроводникового лазера видимого диапазона длин волн;
- подобрать угол закрепления оптического волокна на призме, при котором возбуждаются ППП.

3. План эксперимента:

- поместить образец в атомно-силовой микроскоп ИНТЕГРА Прима;
- изменяя угол закрепления оптического волокна на призме добиться возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов (ППП) на верхней поверхности слоя золота. Для этого с помощью фотодиода регистрировать мощность излучения, отраженного от нижней поверхности слоя золота, фиксируя минимум мощности;
- с помощью сканирования поверхности образца оптическим кантилевером зарегистрировать интерференционную картину падающих и отраженных от криволинейной границы отверстий в слое золота ППП.

Выводы. Положительные результаты экспериментов позволят подтвердить теоретические модели формирования плазмон-поляритонных вихрей при интерференции ППП, падающих и отраженных от криволинейной границы неоднородности в металлическом слое.

РАЗВИТИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Салов В.Е.

Студент кафедры судебной экологии с курсом экологии человека экологического факультета Российского университета дружбы народов
научный руководитель: к психол.н., доцент Глебов В.В.

Введение. На современном этапе развития общества в сфере высокотехнологичных направлений и информационных технологий отмечаются большие изменения. Данные изменения связывают с результатами научных исследований, связанных созданием материалов и устройств, размеры которых находятся в нанометровом диапазоне (1 нм = 10⁻⁹ м), которые с успехом используются в сфере промышленных технологий и диагностического оборудования. Развитие нанотехнологий служит началом третьей научно-технической революции. В 60 странах мира существуют программы по развитию нанонауки и нанотехнологий.

На сегодняшний день уже существует разработанная оценка воздействия новых высокотехнологичных материалов, оказывающее огромное влияние на психосоматическое и функциональное состояние человека, а также окружающую природную среду.

Научными исследованиями показано, что наночастицы способны нанести огромный вред здоровью, что было доказано многими исследованиями. Вещества, которые не имеют опасности, становятся опасными для здоровья при диспергировании. Одним из примеров является «цинковая» лихорадка, которая образуется при сгорании цинка, после чего вдыхаем аэрозоли оксида цинка. После попадания наночастиц в организм, начинает развиваться различные заболевания. Как правило, в клетки и ткани нашего организма попадают размером менее 20-30 нм, после чего происходит накопление наночастиц в ядре и цитоплазме клеток,

далее происходит нарушение защитных систем клеток. Как правило, наночастицы попадают в организм через дыхательные пути. Так, человеком ежедневно через свои легкие пропускается около 20 м³ воздуха вместе с содержащимися в атмосферном воздухе наночастиц. Огромный вред здоровью происходит после вдыхания наночастиц углерода, которые обычно образуются при недостаточно полном сжигания дизельного или иного топлива в моторных двигателях, на электростанциях и, особенно в процессе курения. Механизмы защиты легочной системы человека не может полностью справиться с углеродной пылью, и она достаточно легко и быстро поступает легочную систему организма человека, а оттуда нанометровые частицы углерода разносятся через кровяную систему по всему организму. Как вывести наночастицы из организма пока неизвестно как, однако наночастицы могут проявиться по прошествии 40 и более лет.

Деструктивность для организма наноматериалами для организма человека не заканчивается острыми респираторными патологиями легких. Выявлено канцерогенное действие широко используемых асбестовых волокон в строительных материалах, которые могут спровоцировать злокачественные опухоли плевры и брюшины (силикоз). После вдыхания наночастиц оксида бериллия, происходит постепенное развитие заболевания легочно-бронхиальной системы, которое часто становится причиной смертельного исхода (бериллоз). Так химически инертный и безопасный полимер фторопласт, который используется при изготовлении посуды может стать причиной различных патологий и смерти организмов. Показано, что распыленный в атмосферном слое в виде наночастиц полимер фторопласт (диаметром 26 нм) при концентрации (60 мкг/м³) может вызывать смерть у крыс (вызывает закупорку в легких животных). Было доказано, что фторопластовая нанопыль является высокотоксичным веществом, чем вещества нервно-паралитического действия.

В отчете Научного комитета Европейской комиссии и в «Руководстве по рискам нанотехнологий» Международного совета, была выдвинута гипотеза о возможности возникновения у наночастиц уникальных вредных эффектов, которые не наблюдались у химических веществ в других физических формах. В первую очередь, направлены усилия наноэкологов и наногигиенистов.

Детальная токсиколого-гигиеническая характеристика новых наноматериалов – это сложный процесс, на которые требуются месяцы и эксперты, также оборудование дорогое и много лабораторных животных. На рисунке показано число видов продуктов наноиндустрии. Прогноз составлен на основе определения числа патентных разработок, начиная с «базового» для нанотехнологий 1998 г. В настоящее время число видов нанопродукции для пищевой промышленности невелико, однако ожидается лавинообразный рост: счет числа видов пищевой нанопродукции пойдет на сотни и тысячи.

Была создана в Центре Уилсона база данных применения наночастиц и потребительских товаров. Там перечислено 1628 продуктов, и в 383 из них используются наночастицы серебра. Одним из самых распространенных элементов является титан - 179 позиций. Наночастицы можно найти повсюду, даже в предметах личной гигиены (зубной пасте, косметике, питательных кремах), а также в пищевых красителях и добавках и т.д.

Нанотехнологии предлагают потенциальные выгоды. Также был создан проект, чтобы после разработки изучить влияние на здоровье человека и риски, а также чтобы ими управлять.

Государство пытается разработать комплекс мер по обеспечению контроля за продукцией нанотехнологий. Изучаются угрозы в сфере жизнедеятельности человека, связанные с развитием высокотехнологичных технологий. Так в 2011 году был разработан и выпущены Методические рекомендации (МР 1.2.0023-11) по контролю наноматериалов в пищевой продукции.

Заключение. Таким образом, широкое применение наноматериалов в мире может привести к самым непредсказуемым последствиям. Сторонники нанотехнологий обязаны доказать, что их товары или материалы безопасны, прежде чем вводить в общее пользование. Для начала надо убедиться в их безопасности для человека и окружающей среды

MAGNETOOPTICAL EFFECTS IN A COMPOSITE GGG/Au_(NP)/Bi:YIG

Tomilin S.V.¹, Prokopov A.R.¹, Berzhansky V.N.¹, Shaposhnikov A.N.¹, Karavaynikov A.V.¹, Milyukova E.T.¹, Lyashko S.D.¹, Borovkova O.V.², Kozhaev M.A.^{2,3}, Belotelov V.I.^{2,4}

¹Physical-Technical Institute, Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

²Russian Quantum Center, Skolkovo, Moscow Region, Russia

³Prokhorov General Physics Institute RAS, Moscow, Russia

⁴Faculty of Physics, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Introduction. Currently magneto-plasmonic nanocomposites are of prime interest due to optical and magneto-optical properties enhancement. Such type of structures became possible with progress in creating self-organized metal nanoparticles and technology of micro- and nanosized medium manipulation. Metal nanoparticles in dielectric matrix are known for enhancement of magneto-optical properties by means of field localization with local plasmons excitation and light effective path amplification. Self-organization has the advantage over other methods of nanostructuring due to simplicity of sample preparation. So in this work the sample growing technique with self-organized gold particles is considered.

Purpose and objectives. Development of methods and techniques for the synthesis of magneto-plasmonic nanocomposite structures which consist of self-organized gold nanoparticles in the matrix of a bismuth-substituted ferrite garnet magneto-optical layer. Investigation of optical and magneto-optical effects in these structures.

Research results. The samples of ultrathin and nanostructured Au films (Fig. 1) were prepared by thermal evaporation and condensation in vacuum.

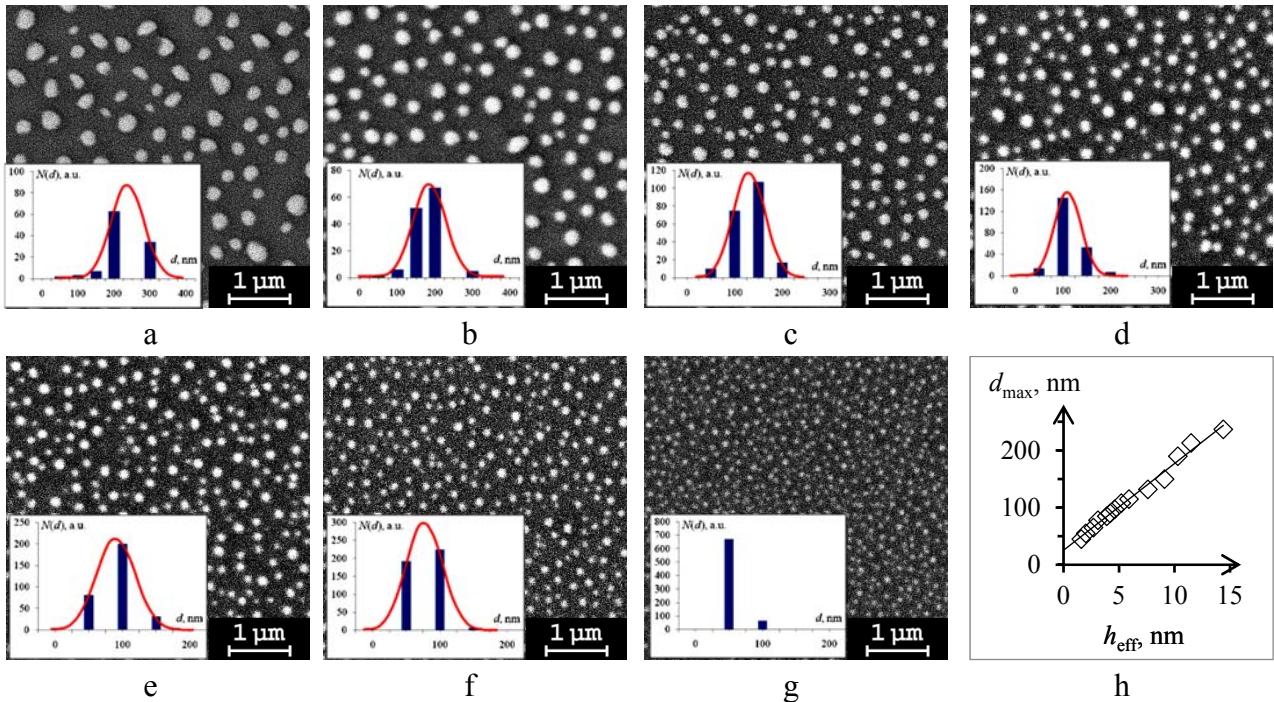


Fig. 1 – SEM-study of surface morphology in different areas of nanostructured Au film with gradient of the effective thickness. Film was annealed at 950°C, 10 min. Insets shows the dispersion of islands size: columns are experimental data, line is Gaussian approximation. (a–g) – the different areas of thickness gradient. (h) – the dependence of nanoparticles direct diameter from film effective thickness.

The plate of gallium-gadolinium garnet (GGG) was used as the substrate. Metal evaporation was carried out from molybdenum (Mo) boats at a residual pressure of atmospheric gases not more than $5 \cdot 10^{-4}$ Pa. Before deposition the substrates were annealed in vacuum at $T = 450^\circ\text{C}$ during 30 min. The deposition of Au was carried out on substrates at 150°C . At the deposition process the original technique for obtaining the films with a gradient of thickness along the sample plane was used. This technique allows one to research films with different thicknesses, which are obtained in a single technological cycle. After deposition gold film was annealed at $T = 950^\circ\text{C}$ during 10 min to formation the self-organized gold nanoparticles. Au nanoparticles layer covered by 100 nm thick film of bismuth-substituted iron garnet $\text{Bi}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Fe}_{3.8}\text{Al}_{1.2}\text{O}_{12}$. Magnetic film was created by reactive ion beam sputtering followed by crystallization at 680°C . It demonstrates planar anisotropy with the out-of-plane saturation magnetic field of about 500 Oe.

Direct magneto-optical effects were measured by Faraday rotation spectroscopy with 400..1000 nm wavelength range. Gold nanoparticles layer leads to appearance of resonant optical properties. Sample is made so that the nanoparticles size changes smoothly from one edge to another (Fig. 1). Thus localized surface plasmon resonance shifts when moving along the sample (Fig. 2a).

Localized surface plasmon polariton modifies magneto-optical properties of the sample. It manifests itself in increasing of Faraday rotation of transmission light polarization (Fig. 2b). Compared to the single magnetic film the Faraday rotation enhanced by the factor up to 2. Variation of gold nanoparticles size allows to manipulate resonance in magneto-optical spectrum.

Sample fabrication process is interesting due to possibility to combine many gold nanoparticles layers in iron garnet magnetic dielectric. It is the way to create compact time-reversal-noninvariant devices based on electromagnetic field focusing by surface plasmon polaritons.

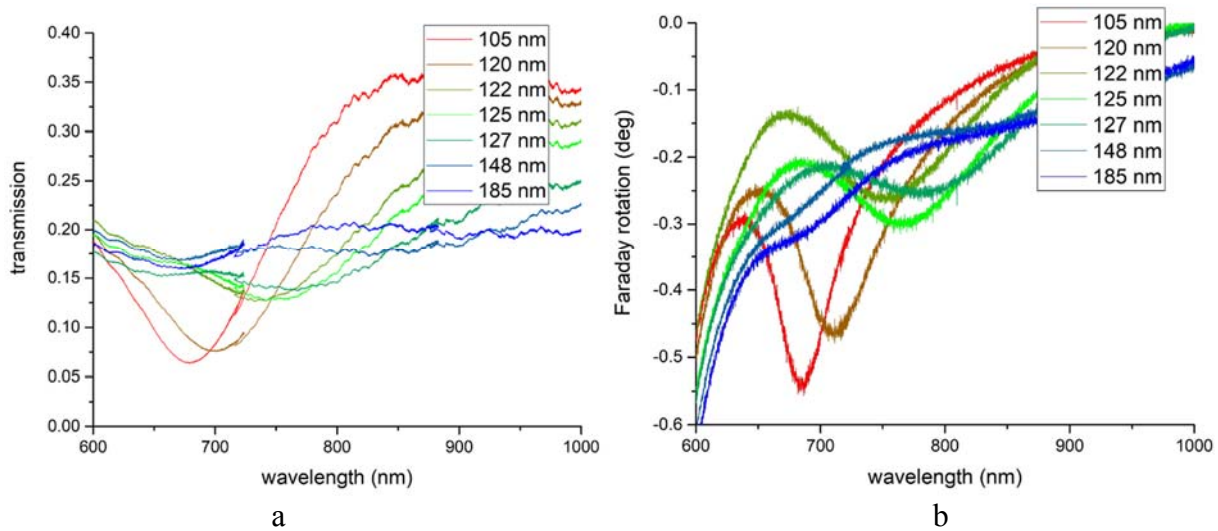


Fig. 2 – Transmission spectra for different areas of the sample with different gold nanoparticles diameters (a), Faraday rotation spectra for different areas of the sample with different gold nanoparticles diameters (b).

Conclusions. Proposed new kind of magnetoplasmonic structures with gold nanoparticles layer under the iron garnet magnetic dielectric layer. Here we studied optical and magneto-optical properties of such a structure. We demonstrated Faraday effect enhancement with localized surface plasmon polariton excitation by the factor up to 2.

This work is supported by the RF Ministry of Education and Science in the framework of the base part of the state task (Project No. 3.7126.2017/БЧ)

ОСОБЕННОСТИ УГЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В АМОРФНЫХ МИКРОПРОВОДАХ

Эсаулова К.А.¹, Попов В.В.²

¹студент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

²доцент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

esaulovakarina@mail.ru

Введение. Аморфные магнитные микропровода находят применение в датчиках магнитного поля и в качестве активных элементов при конструировании композиционных материалов. Для обоих практических приложений актуальной является задача выявления новых особенностей взаимодействия провода с электромагнитным полем при различных условиях возбуждения.

Методика исследований. Основные результаты получены методом ферромагнитного резонанса с применением ЭПР-спектрометров Bruker ELEXSYS-II и ЭПР10-МИНИ.

Результаты исследований. Были получены спектры ферромагнитного резонанса при различных углах размещения образца относительно внешнего подмагничивающего поля для двух характерных образцов микропровода: на основе кобальта образец 4670 (номинальный состав $Co_{68.7}Fe_4Ni_1B_{13}Si_{11}Mo_{2.3}$, диаметр металлической жилы 8 мкм) и на основе железа образец 5184 ($Fe_{76.2}B_{7.8}Si_{13}C_3$, диаметр жилы 18 мкм). Результаты измерений представлены на Рисунке.

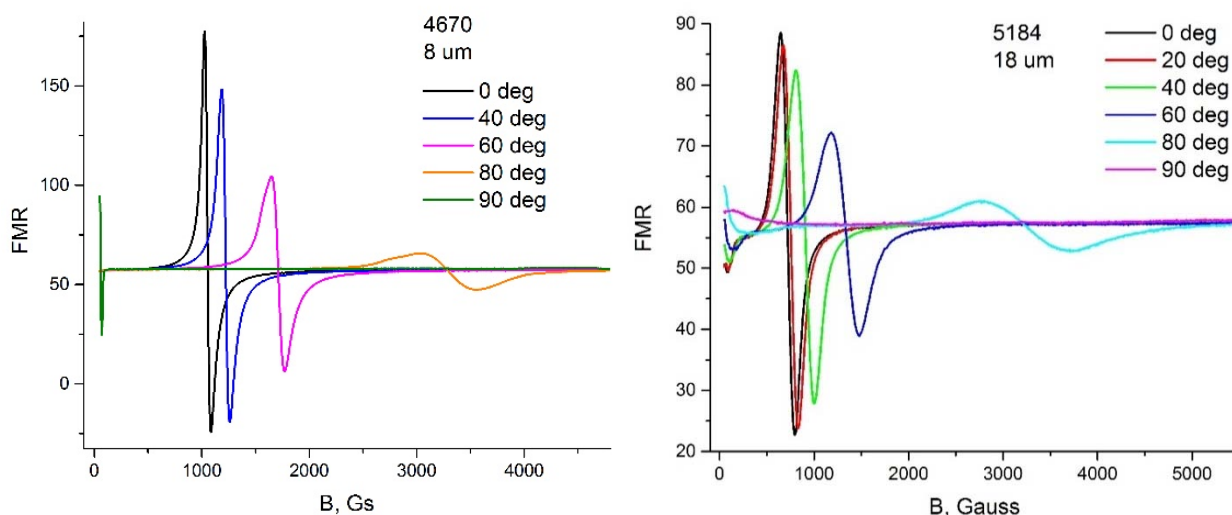


Рисунок – Угловые зависимости ФМР для провода на основе кобальта и железа.

Минимальное значение $H_{рез}$ имеет место при ориентации образца вдоль подмагничивающего поля. Отметим, что для провода на основе кобальта минимальное значение $H_{рез}$ существенно превышает аналогичную величину для провода на основе железа. При повороте образца, вследствие увеличения вклада размагничивающих факторов, происходит смещение пика ФМР в область более высоких полей и одновременное уменьшение амплитуды пика. Наряду с основным пиком ФМР для обоих образцов наблюдаются характерные отклики в области ненасыщающих полей. Для провода на основе железа наблюдается при любой ориентации образца, для провода на основе кобальта сигнал поглощения появляется только при намагничивании поперек образца.

Выводы. Получены угловые зависимости спектров ФМР для двух типов аморфных микропроводов. Особенности спектров в области ненасыщающих полей служат признаком наличия эффекта гигантского магнитного импеданса при соответствующих условиях возбуждения.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПИРОЛИЗА ЭТАНОЛА

Федосов Э.Э.

студент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ
научный руководитель: старший преподаватель, к. ф.-м. н. Михайлова Т.В.

Введение. Исследования углеродных нанотрубок ведутся на протяжении более 20 лет, но только в последние годы человечество подбирается к практическому применению ранее открытых свойств углеродных нанотрубок. Этим событиям предшествовало детальное изучение природы углеродных нанотрубок, физических свойств, зависящих от структуры, длины, диаметра и количества стенок. Использование свойств углеродных нанотрубок может улучшить 2/3 существующих материалов. Также интересны в создании совершенно новые отдельные композиты на основе углеродных нанотрубок. Углеродные нанотрубки требуют дополнительного изучения и подтверждения уже известных данных для создания новых электрических элементов, которые придут на замену старым, создания новых армирующих композитов, открытие новых возможностей сканирующей зондовой микроскопии, синтеза новых соединений и создание наночистот. Всесторонний анализ свойств нанотрубок необходим при идентификации выхода различных технологических циклов при применении той или иной технологии синтеза нанотрубок. Так при методе каталитического пиролиза необходима идентификация получаемого углеродного порошка, который может содержать в себе, как и углеродные нанотрубки, так и другие формы углерода.

Цель и задачи исследований. Целью данного исследования являлось проведение измерений различных физических параметров (геометрических размеров и структуры, оптического коэффициента пропускания, магнитной восприимчивости) углеродных нанотрубок, синтезированных методом каталитического пиролиза этанола.

Методика и результаты исследований. С использованием методов растровой электронной микроскопии, лазерной дифракции и полуконтактной атомно-силовой микроскопии была проведена оценка геометрических размеров углеродных нанотрубок. На рисунке 1 представлено изображение фрагмента углеродной нанотрубки, зафиксированной на поверхности подложки кремния.

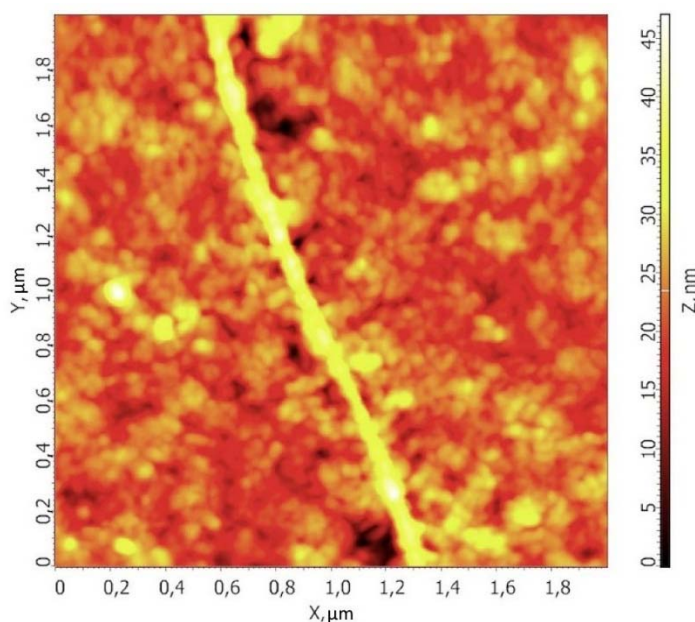


Рисунок 1. Изображение, полученное фрагмента углеродной нанотрубки, зафиксированной на поверхности подложки кремния.

Изображение было получено на сканирующем зондовом микроскопе Ntegra Prima методом атомно-силовой микроскопии. Ее диаметр составил 67 нм. Такое значение диаметра типично для многостенных нанотрубок. Диаметр нанотрубок в исследуемой массе варьировался в диапазоне от 20 до 70 нм, а длина – от 1 до 350 мкм. Наиболее вероятная длина нанотрубок, определенная по методу лазерной дифракции, составила 50 мкм.

Рентгенограмма исследуемых углеродных нанотрубок показала отличие от рентгенограммы фуллеренов C_{60} , графита и $C_{13}H_{10}$ и показала соответствие рентгенограммам многостенных углеродных нанотрубок, взятых из литературных источников. Также были выявлены и посчитаны межплоскостные расстояния между стенками нанотрубок.

В полученных спектрах оптического пропускания был выделен набор пиков поглощения и пропускания оптического излучения на таких длинах волн: 460 нм, 472 нм, 478 нм, 487 нм, 496 нм, 499 нм, 504 нм, 513 нм, 534 нм, 551 нм, 580 нм, 588 нм, 592 нм, 663 нм, 700 нм и 710 нм. Также была выявлена линейная зависимость магнитной восприимчивости от магнитного поля, которая демонстрирует диамагнетизм исследуемых углеродных нанотрубок. Тангенс угла наклона прямой расстройки контура равен магнитной восприимчивости, а именно $1,5 \cdot 10^{-4}$.

Выводы. Полученные результаты измерений позволяют производить паспортизацию физических свойств многостенных углеродных нанотрубок, полученных каталитическим пиролизом этанола. Результаты исследований будут использованы при проектировании и синтезе композитных структур на основе многостенных углеродных нанотрубок с использованием установки CVDomna.

Часть работы была выполнена на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Электронная и зондовая микроскопия» в научно-исследовательской лаборатории мезо- и наноструктурированных функциональных материалов.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ОПТИКА И МАГНИТООПТИКА МАГНИТОФОТОННЫХ КРИТАЛЛОВ ПРИ НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ СВЕТА

Бокова А.П.

студентка кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ
научный руководитель: старший преподаватель, к. ф.-м. н. Михайлова Т.В.

Введение. В наше время среди различных оптических явлений магнитооптические эффекты, возникающие при взаимодействии электромагнитных волн оптического диапазона с находящемся во внешнем магнитном поле веществом, занимают одно из основных мест. Это обусловлено тем, что благодаря магнитооптическим эффектам возникает возможность модулировать поляризацию или интенсивность оптического излучения с частотой порядка нескольких десятков и даже сотен гигагерц. Перспективными материалами для подобной модуляции являются многослойные структуры магнитофотонных кристаллов. Интенсивность магнитооптических эффектов в них усиливается за счет явлений интерференции, дифракции и локализации света внутри дефекта структуры и/или, для структур с металлическими слоями, за счет возникновения таммовских плазмон-поляритонов (оптических таммовских состояний). Такие состояния представляют собой связанную моду стоячей поверхностной волны и поверхностного плазмонного возбуждения и возникают только на границе фотонного кристалла и среды с отрицательной диэлектрической проницаемостью.

Цель и задачи исследования. Основной целью исследований являлось освоение методики моделирования и анализ спектров коэффициента пропускания и угла вращения плоскости поляризации линейно поляризованного света в геометрии эффекта Фарадея (фарадеевского вращения) структур магнитофотонных кристаллов при нормальном и наклонном падении световой волны. В качестве типовых структур были рассмотрены структуры, которые были

разработаны коллективом научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий Физико-технического института:

$$\text{No.1 } \text{Bi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12} / \text{SiO}_2 / (\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{0,5}\text{Gd}_{1,5}\text{Fe}_{4,2}\text{Al}_{0,8}\text{O}_{12} / \text{SiO}_2)^3 / \text{Au};$$

$$\text{No.2 } (\text{TiO}_2 / \text{SiO}_2)^4 / \text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{0,5}\text{Gd}_{1,5}\text{Fe}_{4,2}\text{Al}_{0,8}\text{O}_{12} / \text{Bi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12} / (\text{SiO}_2 / \text{TiO}_2)^4;$$

$$\text{No.3 } (\text{TiO}_2 / \text{SiO}_2)^4 / \text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{0,5}\text{Gd}_{1,5}\text{Fe}_{4,2}\text{Al}_{0,8}\text{O}_{12} / \text{Bi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12} / (\text{SiO}_2 / \text{TiO}_2)^4 / \text{SiO}_2;$$

$$\text{No.4 } (\text{TiO}_2 / \text{SiO}_2)^4 / \text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{0,5}\text{Gd}_{1,5}\text{Fe}_{4,2}\text{Al}_{0,8}\text{O}_{12} / \text{Bi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12} / (\text{SiO}_2 / \text{TiO}_2)^4 / \text{SiO}_2 / \text{Au}.$$

Уникальность исследуемых структур заключается в наличии двойного слоя феррита-граната с высокой концентрацией висмута (No.2-4) и формировании дополнительных резонансов в их спектральных характеристиках за счет возбуждения таммовских плазмон-поляритонов (No.1 и No.4).

Используемые методы и результаты исследований. С помощью метода матрицы переноса 4x4 были смоделированы спектральные свойства вышеперечисленных структур при нормальном и наклонном падении света (0° и 15°). Рассчитанные спектры коэффициента пропускания и фарадеевского вращения продемонстрировали синий сдвиг интерференционных и таммовских резонансов. Интерес представляет динамика преобразования спектров для структур No.2-4. При добавлении буферного слоя из оксида кремния спектр структуры изменяется мало. Пик коэффициента пропускания и фарадеевского вращения, связанные с резонансом на магнитном слое, находятся на длине волны 700 нм при нормальном падении света. При падении света под углом 15° резонанс смещается на длину волны 680 нм. С нанесением золотого покрытия (структуры No.4) происходит формирование спектральной зависимости с тремя резонансами внутри фотонной запрещенной зоны, два из которых обусловлены формированием оптического таммовского состояния. Резонансы расположены на длинах волн 640, 715 и 785 нм для нормального падения света и на длинах волн 590, 660 и 685 нм при падении света под углом 15° . Модельные спектры фотонного кристалла No.4 для наклонного падения света 15° представлены на рисунке 1.

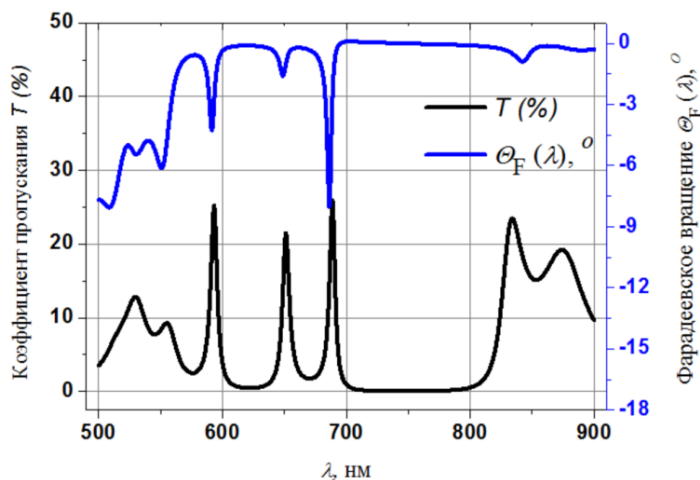


Рисунок 1. Спектры коэффициента пропускания и фарадеевского вращения структуры No.4 при падении света на структуру под углом 15° .

Идентификация резонансов разной природы для данной структуры осуществлена по расчету распределения интенсивности электрического поля световой волны внутри структуры.

Выводы. Освоен матричный метод расчета свойств многослойных структур и проведен анализ спектров коэффициента пропускания и угла фарадеевского вращения для четырех разных структур магнитопотонных кристаллов при нормальном и наклонном падении света. Смоделированные спектры коэффициента пропускания и фарадеевского вращения всех структур продемонстрировали синий сдвиг. Наиболее сильное смещение резонансов будет происходить в микрорезонаторной структуре с таммовским оптическим состоянием, возникающем на границе фотонного кристалла и металла.

ОСОБЕННОСТЬ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ПРИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ МНОГОМОДОВОГО МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С ПЛАЗМОННЫМ ПОКРЫТИЕМ

¹Басиладзе Г.Д. ²Долгов А.И. ³Бержанский В.Н.

¹Ст. научный сотрудник НИЦ ФМ и НТ, физтех КФУ

²Научный сотрудник НИЦ ФМ и НТ, физтех КФУ

³Зав. кафедрой Экспериментальной физики физтеха КФУ, д.физ-мат.н., профессор

Магнитооптические волноводы с плазмонным покрытием представляют значительный интерес в связи с возможностью создания на их основе миниатюрных модуляторов света. Ранее в работе «Waveguide magnetoplasmonic structure based on ferrite-garnet film / Basiladze G.D. and all., // MISM 2017, Moscow, 1-5 July 2017 : Book of Abstracts. – М., 2017. – Р. 197» мы сообщали об экспериментальной реализации новой планарной волноводной магнитоплазмонной структуры (ВМПС), в которой в качестве волноведущей среды использована эпитаксиальная пленка феррита граната (ЭПФГ) толщиной $d_f = 10 \text{ мкм}$ с образованным на ее поверхности плазмонным покрытием на основе слоя меди, толщиной $d_{Cu} = 30 \text{ нм}$ и буферного подслоя из SiO_2 толщиной 13 -15 нм. ЭПФГ, выращенная методом жидкофазной эпитаксии на подложке из гадолиний галлиевого граната обладала плоскостной магнитной анизотропией с относительно малыми полями насыщения вдоль трудной ($\sim 4 \text{ Э}$) и легкой ($\sim 0,6 \text{ Э}$) осей намагничивания и удельным фарадеевским вращением $\theta_F = 55^\circ/\text{мм}$ на длине волны 1550 нм. Входной и выходной торцы ВМПС были отполированы вдоль оси трудного намагничивания ЭПФГ так что бы свет в магнитооптическую (МО) пленку могли вводить в направлении оси легкого намагничивания. Расстояние между полированными торцами составляло $L_f = 4,6 \text{ мм}$, длина плазмонного покрытия между ними – $L_{pc} = 3,9 \text{ мм}$. Такая ВМПС поглощала ТМ-поляризованное лазерное излучение длиной волны 1550 нм при его волноводном распространении в МО пленке. Было установлено, что наблюдаемое в исследованном образце поглощение обусловлено резонансным взаимодействием световой волны с возбуждаемой ею в плазмонном покрытии SiO_2/Cu плазмонной волной, в энергию которой трансформировалась энергия оптической волны.

В настоящей работе приводятся результаты эксперимента, которые были получены в процессе изучения модуляции света в ВМПС, при воздействии на структуру внешнего переменного магнитного поля, вызывающего фарадеевское вращение плоскости поляризации света в МО волноводе. В эксперименте использовался укороченный до размера 2,95 мм между торцами образец, плазмонное покрытие которого вплотную прилегал к одному из полированных торцов МО волновода, в то время как от противоположного торца оно отстояло на расстоянии 0,27 мм.

Магнитное поле создавалось катушками Гельмгольца на которые подавалось синусоидальное напряжение амплитудой $\pm 215 \text{ мВ}$, частотой 0,5 Гц. При этом в центре магнитной системы создавалось магнитное поле, напряженность которого вдоль ее оси пропорциональна поданному напряжению, в соотношении 0,02 Э/мВ. ВМПС располагалась между катушками таким образом, что ось МО волновода совпадала с осью катушек.

Линейно поляризованное излучение полупроводникового лазерного источника света длиной волны 1550 мкм вводилось в МО волновод через полированный торец с помощью пристыкованного к нему одномодового оптического волокна SMF-28, которое было связано с волоконно-оптическим (ВО) поляризатором, служившим для установки необходимого положения плоскости поляризации света на входе МО волновода. Оптический сигнал с выхода МО волновода непосредственно поступал на вход германиевого фотоприемника, электрический отклик которого регистрировался с помощью осциллографа.

На рисунке **1а, б** представлены осциллограммы модулированного оптического сигнала при вводе в ВМПС, соответственно ТМ- и ТЕ-поляризованного света со стороны МО волновода с прилегающим к торцу плазмонным покрытием и на рисунке **1в** – осциллограмма модулированного оптического сигнала при вводе в ВМПС линейно поляризованного света со стороны МО волновода, где плазмонное покрытие отстоит от торца на расстоянии 0,27 мм.

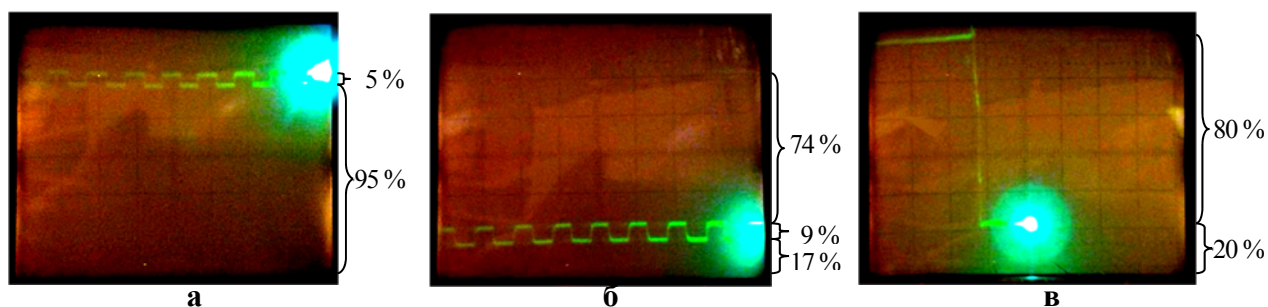


Рисунок 1а, б, в – Осциллограммы модулированного оптического сигнала (указанные амплитуды сигналов выражены в относительных единицах)

Из рисунков **1а, б** видно, что в первом случае возбуждения МО волновода величина амплитуды модуляции оптического сигнала намного меньше чем во втором случае возбуждения (рис. 1в). Важно отметить, что в первом случае изменение азимута плоскости поляризации на входе волновода не приводило к существенным изменениям амплитуды импульсов (менялся лишь общий уровень оптического сигнала на выходе ВМПС), в то время как в случае ввода излучения со стороны «не полного покрытия» амплитуда модуляции менялась существенно. Осциллограмма на рисунке **1в** получена при настройке азимута плоскости поляризации на максимальную амплитуду колебаний при вводе излучения со стороны, где край плазмонного покрытия отстоит на 0,27 мм от торца МО волновода.

Наблюдаемая зависимость поглощения от расположения края плазмонного покрытия относительно входного торца волновода, может быть объяснена многомодовостью использованного МО волновода. Она может приводить к заметной трансформации поперечного распределения поля световой волны по мере ее распространения в волноводе, особенно, если волновод оптически не совсем однороден. Поэтому первоначально высокая степень локализации поля на границе с металлом, которая свойственна ТМ моде низшего порядка в металлизированном волноводе, по мере удаления от торца может постепенно нарушаться из-за появления мод более высокого порядка, приводя соответственно к ослаблению резонансной связи ТМ-поляризованного поля в волноводе с плазмон-поляритонной волной. В результате эффективность плазмонного покрытия как поглощающей структуры ТМ-поляризованных компонент светового поля в волноводе с расстоянием от входа заметно падает. Это наглядно демонстрирует осциллограмма на Рис. 1б, где видно, что ТМ-компонента светового поля которая благодаря действию эффекта Фарадея образуется из ТЕ-поляризованного поля на входе, оставаясь достаточно большой по уровню интенсивности на расстоянии $l = 1,6$ мм ($90^\circ/\theta_F$) не претерпевает существенного поглощения. Тогда как на расстоянии 0,27 мм от входного торца, как следует из Рис. 1 в, плазмонное покрытие еще действует достаточно эффективно.

Таким образом, исследования показывают, что при конструировании активного элемента для модулятора интенсивности на основе ВМПС расстояние на котором от входного торца будет расположено плазмонное покрытие может существенно влиять на работоспособность изделия.

Наблюдаемая зависимость поглощения от расположения края плазмонного покрытия относительно входного торца волновода, может быть объяснена многомодовостью использованного МО волновода. Она может приводить к заметной трансформации поперечного распределения поля световой волны по мере ее распространения в волноводе, особенно, если волновод оптически не совсем однороден. Поэтому первоначально высокая степень локализации поля на границе с металлом, которая свойственна ТМ моде низшего порядка в металлизированном волноводе, по мере удаления от торца может постепенно нарушаться из-за появления мод более высокого порядка, приводя соответственно к ослаблению резонансной связи ТМ-поляризованного поля в волноводе с плазмон-поляритонной волной. В результате эффективность плазмонного покрытия как поглощающей структуры ТМ-поляризованных компонент светового поля в волноводе с расстоянием от входа заметно падает. Это наглядно демонстрирует осциллограмма на Рис. 1б, где видно, что ТМ-компонента светового поля которая благодаря действию эффекта Фарадея образуется из ТЕ-поляризованного поля на входе, оставаясь достаточно большой по уровню интенсивности на расстоянии $l = 1,6$ мм ($90^\circ/\theta_F$) не претерпевает существенного поглощения. Тогда как на расстоянии 0,27 мм от входного торца, как следует из Рис. 1 в, плазмонное покрытие еще действует достаточно эффективно.

Таким образом, исследования показывают, что при конструировании активного элемента для модулятора интенсивности на основе ВМПС расстояние на котором от входного торца будет расположено плазмонное покрытие может существенно влиять на работоспособность изделия.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТОНКИХ ПЛЕНОК

Алентьев Д.В., Томилин С.В.

*НИИЦ Функциональных материалов и нанотехнологий
Физико-технического института КФУ им. В. И. Вернадского*

Введение. Металлические сверхтонкие пленки широко используются в микро- и нано-электронике, плазмонике, спинтронике, сенсорике и тд. В частности, научный интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения представляет исследование структурных и оптических параметров металлических наноразмерных плёнок. Одним из передовых методов прецизионного неразрушающего контроля и исследования является метод эллипсометрии. Однако, основное уравнение эллипсометрии, описывающее подобные системы, является трансцендентным и не имеет аналитического решения. Таким образом, эффективность эллипсометрического метода определяется совокупностью трех компонент: аппаратной (прибор), методологической (методика измерений) и расчётной (метод и алгоритм анализа). Данная работа посвящается анализу проблемы численного решения обратной задачи эллипсометрии как одной из составляющих расчётной компоненты.

Цель и задачи исследования. Разработка алгоритма для численного решения обратной задачи эллипсометрии, составленной для моделей однородного и градиентного слоя, а также многослойной модели. Написание программного обеспечения для реализации алгоритма численного решения описанных моделей, визуализации хода решения и вывода результатов в удобной пользовательской форме.

Результаты исследований. В качестве тестовых были получены образцы сверхтонких плёнок золота на ситалле методом термического напыления в вакууме. Толщина плёнок

составляла 90 и 180 нм, которая определялась с помощью микроинтерферометра МИИ-4 с программным блоком цифровой обработки результатов.

Эллипсометрические исследования оптических параметров плёнок проводились с использованием монохроматического нуль-эллипсометра ЛЭФ-3М-1 с длиной волны лазера 632.8 нм.

При исследовании оптических свойств сплошных покрытий методом эллипсометрии возможно одновременная вариация трёх независимых параметров: коэффициент поглощения, показатель преломления и оптическая толщина. Соответственно алгоритм решения обратной задачи эллипсометрии был реализован в двух вариантах. Первый пользовательский позволяет зафиксировать значения двух из трёх независимых параметров и искать оптимальное значение третьего параметра в заданном диапазоне. Второй метод подразумевает поиск наименьшего отклонения результата расчёта от совокупности измеренных эллипсометрических данных. При этом результат расчёта представляет собой массив частных решений, полученных при варьировании всех трёх параметров в заданном диапазоне и с заданным шагом. На Рис. 1 показан графический интерфейс программы, используемый при расчете пленки Au ($d = 180$ нм).

Анализ результатов эллипсометрических исследований плёнок золота показал расхожимость по толщине не более 10 % по сравнению с данными, полученными на микроинтерферометре. При этом были определены следующие оптические параметры. Для ситалловой подложки показатель преломления $n_0 = 1.62$, показатель поглощения $k_0 = 0.02$. Соответственно для плёнок золота получены значения оптической толщины $d_1 = 74$ нм, показателя преломления $n_1 = 0.53$ и показателя поглощения $k_1 = 2.65$, а также $d_2 = 162$ нм, $n_2 = 0.50$ и $k_2 = 2.75$ соответственно.

По результатам анализа экспериментальных данных было выявлено, что для улучшения точности результата численного расчёта необходим предварительный прогноз оптимальных углов падения луча при определении эллипсометрических параметров. Данный

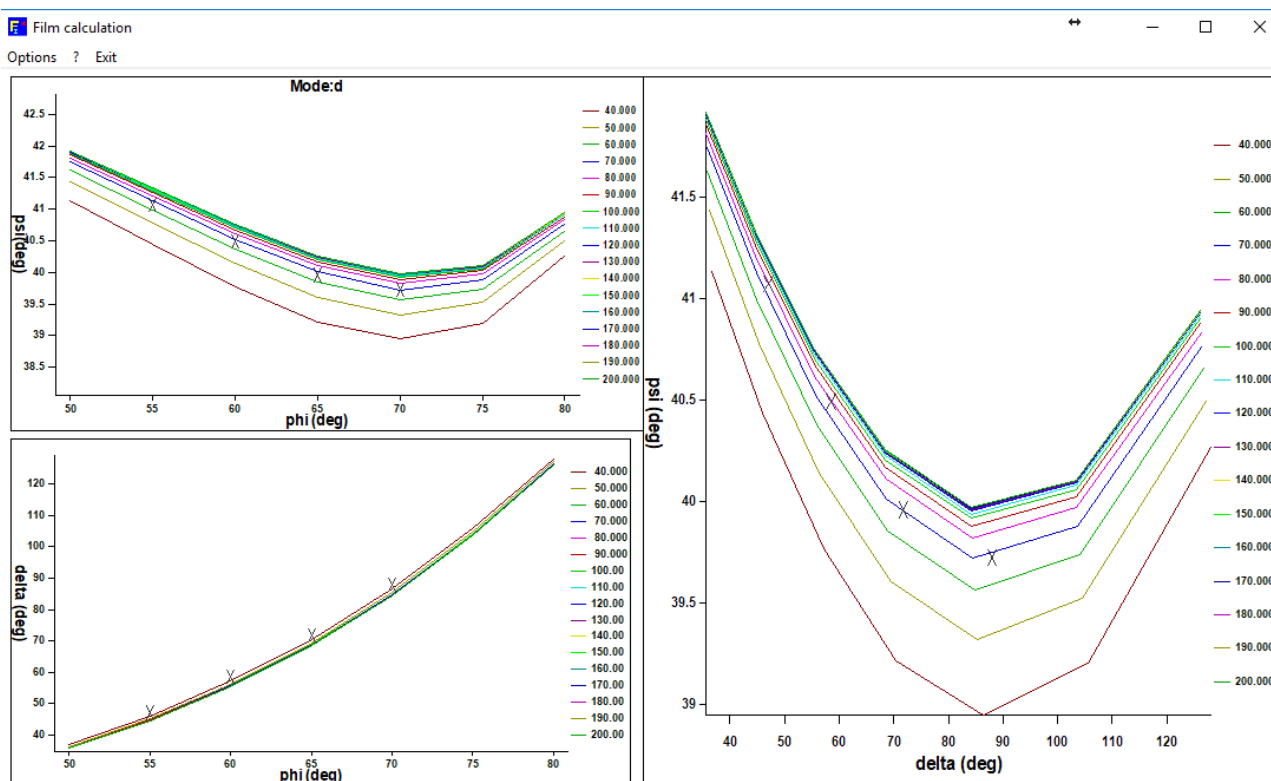


Рис. 1. Графический интерфейс программы расчета сверхтонких пленок.

факт обусловлен тем, что эллипсометрические параметры имеют нелинейную функциональную зависимость от угла падения луча и в общем случае для различных

исследуемых систем данная функциональная зависимость может весьма существенно изменять вид. Таким образом, углы падения нужно подбирать таким образом, чтобы добиться максимального разброса по значениям измеряемых Δ и ψ . Кроме того, с математической точки зрения для повышения точности нахождения неизвестных параметров (в нашем случае трёх d , n , k), необходимо решить систему уравнений для выборки углов, которые более чувствительны к изменяемым параметрам по предварительному моделированию данной структуры. На практике же из-за возможной погрешности измерений эллипсометрических параметров предельно малое число уравнений может привести к существенному искажению результата. Таким образом, необходимо выполнять измерения для большего числа углов, чем число искомых неизвестных параметров.

Выводы и заключения. Решение обратной задачи эллипсометрии несомненно играет одну из ведущих ролей, определяющих быстроту и достоверность экспериментального нахождения оптических параметров сверхтонких металлических пленок. Однако, методы численного решения не дают прямого значения погрешностей определяемых величин, поскольку погрешность сама по себе может быть следствием целого ряда как аппаратных, так и расчётных факторов. При проверке метода на уже исследованных «эталонных» пленках, заложенные в программе модель и алгоритм решения системы уравнений для данной модели дали возможность с достаточной точностью определить показатели преломления и поглощения для ситалловой подложки и золотых плёнок, а также значения оптических толщин данных пленок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания (Проект № 3.7126.2017/БЧ)

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ НА СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВЕРХТОНКИХ ПЛЁНОК ПРИ ТЕРМОАКТИВИРОВАННОЙ ГРАНУЛЯЦИИ

Томилина О.А., Бержанский В.Н., Томилин С.В., Милюкова Е.Т.

НИИЦ Функциональных материалов и нанотехнологий

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

Введение. Получение систем самоорганизующихся наночастиц методом термоактивированной грануляции (ТАГ) является наиболее простым и доступным способом получения металлических островковых покрытий. Такие покрытия широко применяются в плазмонике, магнитооптике, для целей гетерогенного катализа и т.д. Однако, несмотря на простоту реализации метода ТАГ на сегодняшний день нет чёткого понимания процессов и механизмов приводящих к грануляции тонких плёнок при их отжиге. Данная работа посвящена проблемам влияния размерных эффектов на особенности изменения структуры тонких плёнок Au/GGG при их вакуумном отжиге.

Цель и задачи исследования. Отработка технологии «низкотемпературного» синтеза наноструктурированных островковых покрытий методом вакуумного отжига сплошных сверхтонких металлических плёнок. Анализ влияния размерных эффектов на особенности структурных изменений, происходящих в тонких плёнках Au/GGG при их вакуумном отжиге.

Результаты исследований. Синтез сверхтонких металлических покрытий Au/GGG осуществлялся методом термического вакуумного напыления при давлении остаточных газов не более $5 \cdot 10^{-4}$ Па. В качестве подложек были использованы полированные пластины гадолиний-галлиевого граната (GGG). Напыление осуществлялось на подложки при комнатной температуре. При напылении сверхтонких плёнок была использована оригинальная методика формирования покрытий с градиентом эффективной толщины h_{eff} .

Данная методика позволяет, выбирая различные участки (с различной эффективной толщиной), проводить сравнительный анализ влияния размерных эффектов на физические свойства и особенности протекания различных процессов. В данном эксперименте градиент эффективной толщины покрытия составлял от 5 нм («толстый» участок) вплоть до нулевой толщины (чистая подложка).

После напыления плёнки подвергались термоактивированной грануляции методом отжига в вакууме при температуре 450°C в течение 120 мин. Отжиг плёнок осуществлялся сразу после напыления без извлечения образцов из вакуума. Такая методика позволяет избежать дополнительных загрязнений покрытия. Следует отметить, что температура грануляции в данном эксперименте была значительно ниже температуры плавления золота.

Морфология поверхности полученных покрытий была исследована с использованием методов растровой электронной микроскопии (РЭМ). На рис. 1 показаны РЭМ-снимки морфологии различных участков поверхности гранулированной плёнки Au/GGG вдоль градиента h_{eff} .

Как видно из представленных снимков, для наиболее «толстого» участка плёнки ($h_{eff} \approx 5$ нм) после ТАГ наблюдается образование разрозненных дефектов сплошности покрытия в виде «трещин» шириной до 20 нм и длиной до 150 нм (рис. 1а). Однако на данном участке покрытие сохраняет свою интегральную сплошность.

На рис. 1б представлен РЭМ-снимок участка плёнки с меньшей эффективной толщиной ($h_{eff} \approx 4$ нм), чем на предыдущем участке. Видно, что плёнка на данном участке содержит многочисленные протяжённые дефекты типа «трещина», которые образуют на поверхности хаотичную сетку. На данном участке дефекты имеют большую протяжённость до 200 – 250 нм и сложную разветвлённую структуру, при этом ширина трещин меньше чем на предыдущем участке (порядка 2 – 10 нм). Однако следует отметить, что участки металлического покрытия всё ещё образуют сплошные перколяционные каналы.

На рис. 1в показана морфология поверхности плёнки на участке с $h_{eff} \approx 3$ нм. Видно, что на данном участке дефекты типа «трещина» образуют сплошную замкнутую сетку. При этом перколяционные каналы разрушаются, образуя дискретные плоские острова неправильной формы. Снимки на рис. 1б и 1в наглядно демонстрируют явление перколяционного перехода в структуре покрытия, которое ранее неоднократно наблюдалось авторами данной работы при исследовании особенностей электропроводности сверхтонких наноструктурированных плёнок.

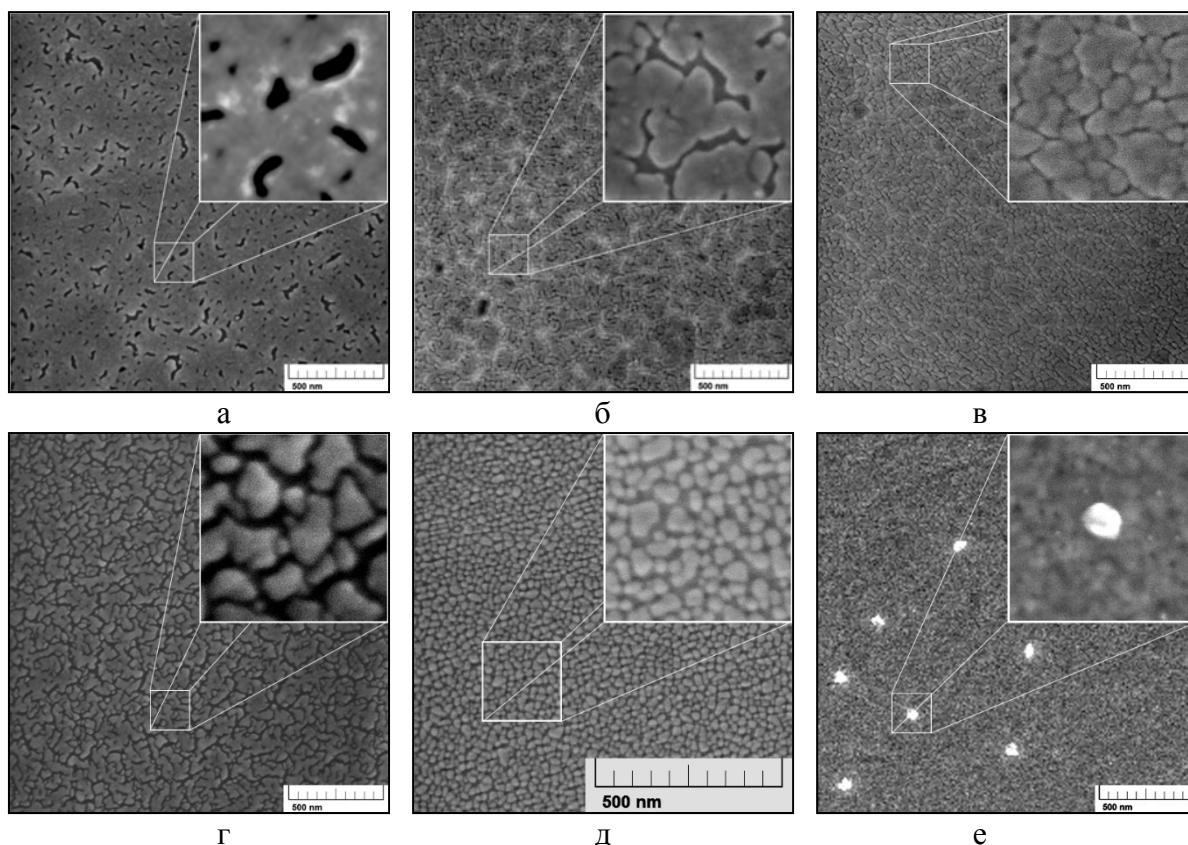


Рис. 1 - Плёнка Au/GGG с градиентом h_{eff} после отжига при 450°C в течение 120 мин.
(а – е) – различные участки плёнки вдоль градиента.

Рисунки 1г, 1д и 1е демонстрируют последовательные этапы развития островковой структуры покрытия по мере уменьшения его эффективной толщины. Так на рис. 1г ($h_{eff} \approx 2$ нм) показаны разрозненные дискретные островки неправильной формы, разделённые «широкими» промежутками до 20 нм. На рис. 1д ($h_{eff} \approx 1$ нм) так же видны отдельные дискретные островки, однако данные островки имеют меньшие размеры (порядка 5 – 50 нм) и более правильную форму (либо близкую к круговой, либо такую, которая может быть аппроксимирована как система двух или более округлых элементов). И наконец на рис. 1е (h_{eff} стремится к 0 нм) мы можем наблюдать отдельные островки с формой близкой к окружности и размером порядка 20 – 50 нм, отстоящие друг от друга на значительном расстоянии порядка 0.3 – 1 мкм.

Выводы и заключения. Как было экспериментально показано в данной работе эффективная толщина покрытия, как размерный фактор, существенно влияет на структуру тонких плёнок, подвергнутых термоактивированной грануляции. При этом было наглядно показано изменение структуры плёнки при её размерном перколяционном переходе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания (Проект № 3.7126.2017/БЧ).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СИНТЕЗА МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР С ВИСМУТ-ЗАМЕЩЕННЫМИ ФЕРРИТ-ГРАНАТАМИ

Крикун А.С.

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

Введение. Поиск новых методик синтеза пленок висмут-замещенных ферритов-гранатов является актуальной задачей при создании многослойных структур магнитофотонных и магнитоплазмонных кристаллов с брэгговскими зеркалами из оксида кремния и титана. Процесс синтеза ферритов-гранатов в подобных образцах заключается в нанесении методом ионно-лучевого распыления пленки определенного состава и её последующей кристаллизации при высокой температуре (650-700°C) на воздухе. Синтезированные по такой технологии пленки имеют поликристаллическую структуру, характерный размер зерен которой в зависимости от состава пленки и продолжительности отжига варьируется от нескольких десятков до нескольких сотен нанометров (A.N. Shaposhnikov, A.R. Prokopov, A.V. Karavainikov, V.N. Berzhansky, T.V. Mikhailova, V.A. Kotov, D.E. Balabanov, I.V. Sharay, O.Y. Salyuk, M. Vasiliev, V.O. Golub, Materials Research Bulletin 55, 19 (2014)).

Цель и задачи исследований. Основной целью данной работы являлось исследование морфологии поверхности диэлектрического слоя оксида кремния, нанесенного на слой висмут замещенного феррита-граната состава $Bi_{1,5}Gd_{1,5}Fe_{4,5}Al_{0,5}O_{12}$, при различных условиях кристаллизации слоя феррита-граната.

Методика и результаты исследований. С целью уменьшения шероховатости слоев, покрывающих слой феррита-граната в многослойных структурах, коллективом научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий было предложено проводить совместный кристаллизационный отжиг слоя висмут-замещенного феррита-граната и расположенного над ним слоя оксида кремния. Исследование морфологии и шероховатости поверхности образцов осуществлялось на сканирующем зондовом микроскопе NTEGRA методом атомно-силовой микроскопии.

Для проверки предложенного метода однослойная пленка состава $Bi_{1,5}Gd_{1,5}Fe_{4,5}Al_{0,5}O_{12}$ и двухслойная пленка состава $Bi_{1,5}Gd_{1,5}Fe_{4,5}Al_{0,5}O_{12} / SiO_2$ были синтезированы на монокристаллических подложках гадолиний галлиевого граната с кристаллографической ориентацией (111). Как показали исследования магнитооптических петель гистерезиса, для удачной кристаллизации аморфный слой граната должен быть осажден на подложку со структурой граната. Кристаллизационный отжиг проходил при температуре 680 °C. Толщина слоев граната в обоих образцах составила 140 нм. Толщина слоя оксида кремния составила 100 нм. На рисунке 1 показана морфология поверхности одно- и двухслойной пленки. Среднеквадратичная шероховатость соответствующих поверхностей составила 7,4 нм и 1,4 нм. Характер морфологии поверхности образцов указывает на образование зерновых кластеров в пленках гранатов. Для сравнения была исследована морфология пленок ферритов-гранатов состава $Bi_{1,0}Y_{0,5}Gd_{1,5}Fe_{4,2}Al_{0,8}O_{12}$ на слое оксида кремния и двухслойной пленки $Bi_{1,0}Y_{0,5}Gd_{1,5}Fe_{4,2}Al_{0,8}O_{12} / SiO_2$ на поверхности многослойной структуры магнитофотонного кристалла. Но слой оксида кремния в двухслойной структуре был уже нанесен на кристаллизованный гранат. Среднеквадратичная шероховатость поверхности пленки и поверхности структуры составила 11,4 нм и 6,1 нм соответственно.

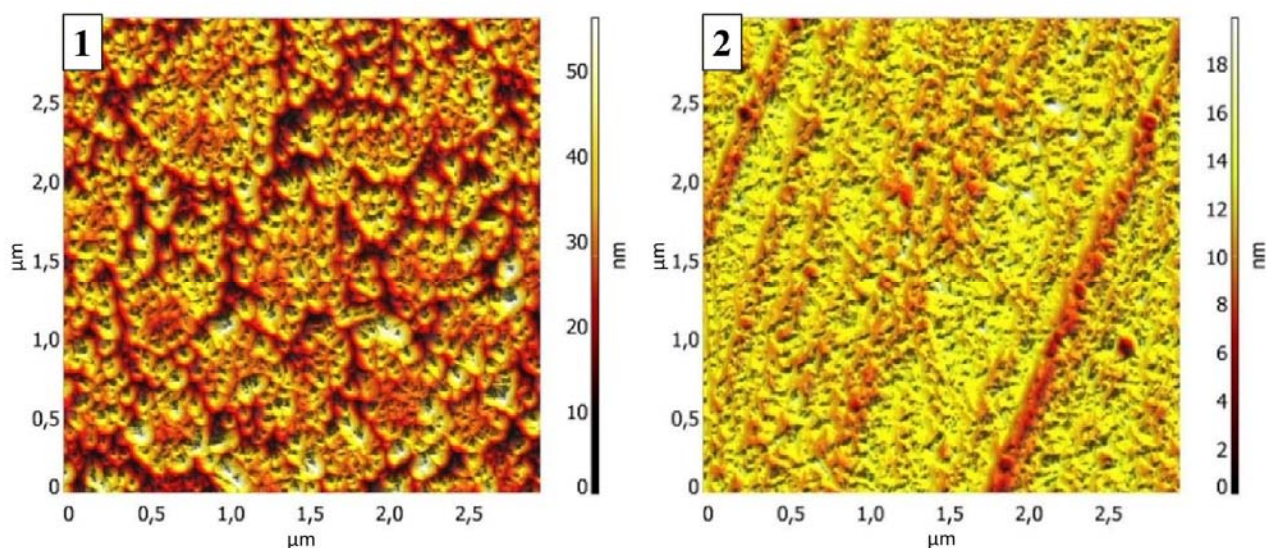


Рисунок 1. Морфология поверхности: 1 – однослойной состава $Bi_{1,5}Gd_{1,5}Fe_{4,5}Al_{0,5}O_{12}$ и 2 – двухслойная пленки состава $Bi_{1,5}Gd_{1,5}Fe_{4,5}Al_{0,5}O_{12} / SiO_2$.

Выводы. Из полученных данных можно сделать вывод, что применение совместного кристаллизационного отжига слоя висмут-замещенного феррита-граната и расположенного над ним слоя оксида кремния уменьшает шероховатость поверхности слоев в 3-5 раз.

МЕСТО МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ В ОБЩЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Луговской Н.В.¹, Глечик Д.А.²

¹аспирант кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

²студент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Бержанский В.Н.

Среди всех существующих методов неразрушающего контроля (НК) немногие предназначены для контроля немагнитных металлов, притом что в современном мире их применяют практически повсеместно, в том числе в таких областях как машиностроение, авиастроение, ракетостроение и т. д. Необходимость контроля на микро- и наноуровне в данных областях невозможно переоценить, ведь от этого зависят жизнь и здоровье людей. При этом не один метод неразрушающего контроля не может дать полной оценки исследуемой конструкции, поэтому зачастую их приходится комбинировать между собой и, следовательно, всегда остается актуально совершенствование существующих и создание новых методов НК.

В зависимости от того, какой физический принцип лежит в основе каждого конкретного метода, их делят на следующие типы: радиационный, радиоволновой, тепловой, магнитный, электрический, оптический, акустический, проникающими веществами, вихретоковый. Вихретоковый (электроиндуктивный) НК основан на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте. Вихревые токи (ВТ) создают собственное поле, направленное навстречу первичному. Результат взаимодействия этих полей измеряется специальным датчиком и отображается на индикаторе. Показания индикатора зависят от электропроводности и магнитной проницаемости металла и зависят от структурных неоднородностей или нарушений его сплошности. Датчики вихретоковых дефектоскопов выполняют в виде катушек индуктивности, внутрь которых помещают изделие (проходные

датчики), или которые накладывают на изделие (накладные датчики). В последнем случае для увеличения чувствительности в качестве датчиков используют феррозонды. Для увеличения разрешающей способности используют матрицу феррозондов и цифровую обработку полученных сигналов. Вихретоковые дефектоскопы широко применяются в авиационной и космической отрасли, строительстве, атомной энергетике, машиностроении и металлургии, в лабораториях для выявления микротрещин на поверхности различных деталей, контроля сварных швов и прочности арматуры. Также вихретоковый дефектоскоп может помочь выявить мягкие зоны в металле, так называемые зоны усталости, коррозии или просто неоднородные по структуре места, которые могут стать причиной излишнего напряжения и последующего разрушения металла.

В основе магнитооптического (МО) способа регистрации поля вихревых токов лежит эффект Фарадея, заключающийся в том, что при распространении линейно поляризованного света через оптически неактивное вещество, находящееся в магнитном поле, параллельном направлению распространения излучения, наблюдается вращение плоскости поляризации света. Наиболее удобно наблюдать данный эффект на МО эпитаксиальных плёнках ферритов-гранатов (ЭПФГ) с перпендикулярной анизотропией, которые позволяют визуализировать магнитное поле, создаваемое вихревыми токами. От МО параметров ЭПФГ во многом зависит чувствительность метода и контрастность отображения. Доменная структура пленки, с помощью которой и происходит визуализация магнитного поля ВТ, имеет определенный период, который влияет на минимальные размеры регистрируемых дефектов. Поле насыщения ЭПФГ определяет, как скоро сенсор перейдет в намагниченное монокристаллическое состояние, т.е. насколько сильные поля ВТ прибор может визуализировать.

Устройство для реализации магнитооптического вихретокового метода НК состоит в следующем. МО плёнка феррит-граната приводится в контакт с исследуемой поверхностью объекта контроля. Светодиодный излучатель освещает исследуемую область поляризованным белым светом. Отражаясь от зеркальной поверхности, напылённой на нижнюю поверхность плёнки, свет дважды проходит сквозь активную область магнитооптического преобразователя и меняет угол поляризации в зависимости от её магнитного состояния. После отражения свет проходит анализатор, линзовую систему и попадает на чёрно-белую видеокамеру, которая позволяет наблюдать магнитооптический образ дефектов в режиме реального времени. МО дефектоскоп вобрал в себя все преимущества вихретокового НК, такие как: простота конструкции, высокая точность и повторяемость выявления дефектов, высокая скорость контроля, не очень строгие требования к состоянию поверхности, возможность контроля через защитные покрытия, возможность различать типы дефектов. При этом магнитооптический способ регистрации полей вихревых токов, реализованный в данной модели, позволяет визуализировать наблюдаемые дефекты, что позволяет точнее определить их тип и опасность для исследуемой конструкции. Выставляются жёсткие технические требования к направлению и шагу сканирования детали стандартным феррозондовым преобразователем из-за чего приходится определять ложные срабатывания прибора при наличии локальных градиентов магнитного поля. Также возникают трудности при контроле деталей с малыми геометрическими размерами, соизмеримыми с размерами самого феррозондового преобразователя. При использовании МО визуализации все эти недостатки устраняются.

Ограничения МО метода контроля, как и для всех ВТ методов, состоят в невозможности применения его для контроля непроводящих материалов, а также относительно малой глубиной контроля, что позволяет проводить в основном поверхностное и подповерхностное исследование объекта.

Таким образом, магнитооптический метод, обладая несомненными преимуществами с точки зрения непосредственной визуализации дефектов, может занять лидирующее место среди всех ВТ методов контроля, легко конкурируя с ними при их использовании для дефектоскопии таких конструкций, как корпуса автомобилей, нагруженные части поездов, фюзеляжи самолётов и ракет.

ПЛАЗМОННЫЕ БИОСЕНСОРЫ

Хацаюк В.В.

*студентка 3 курса кафедры экспериментальной физики
Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского*

научный руководитель: зав. каф. ЭФ, д.ф.-м.н., проф. Бержанский В.Н.

научный консультант: ассист. Томилин С.В.

veronika74069@yandex.ru

Введение. Статья посвящена плазмонным биосенсорам, которые получили широкое применение в медицинской диагностике, биологических исследованиях, а также в мониторинге окружающей среды.

Целью работы был анализ методов получения, исследования и применения плазмонных биосенсоров различных типов.

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

1. Раскрыть понятие плазмонных эффектов и изучить явление поверхностного плазмонного резонанса.
2. Проанализировать состояние исследований и разработок в области плазмонной сенсорики.
3. Ознакомиться с результатами работ научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского (НИЦ ФМиНТ) по созданию плазмонных систем на базе сверхтонких и наноостровковых плёнок Au, композитных металл-диэлектрических систем и фотонных кристаллов.

Результаты исследований. На сегодняшний день плазмонные биосенсоры являются одними из наиболее эффективных инструментов для исследования биомолекулярных взаимодействий, детектирования определённых химических или биологических соединений и микроорганизмов. Они дают возможность детектировать молекулы, бактерии, клеточные органеллы с концентрацией менее 1 нг/мл. В зависимости от нанесённой на чувствительный элемент адсорбционно-селективной среды сенсор может использоваться для детектирования разных веществ. Именно это обуславливает разнообразие областей, в которых в настоящее время применяется более 100 типов оптических биосенсоров, начиная от медицинской диагностики и биологических исследований, заканчивая мониторингом окружающей среды, проверкой качества и безопасности еды.

В основе плазмонных биосенсоров лежит явление поверхностного плазмонного резонанса (ППР), основанного на возбуждении поверхностного плазмона (электромагнитной волны, распространяющейся вдоль поверхности тонкого металлического слоя) на его резонансной частоте внешней электромагнитной волной.

Основным элементом плазмонного сенсора является призма, одна из поверхностей которой, покрыта плёнкой металла. Если плёнка имеет значительную толщину, то энергия падающего света поглощается в объёме плёнки и переизлучается в обратном направлении, т.е. плёнка будет служить зеркалом. В случае если толщина плёнки достаточно мала, часть электромагнитной волны достигнет её внешней поверхности. Если энергия электрического поля фотонов будет достаточно велика, то они будут взаимодействовать со свободными электронами на поверхности металла. Часть фотонов при этом поглотится, передавая свою энергию поверхностным плазмонам, что приведёт к уменьшению интенсивности отражённого света. Поверхностный плазмонный резонанс возникает при условии равенства импульсов поверхностного плазмона и компоненты вектора импульса фотона, параллельной плоскости плёнки. Импульс плазмона зависит от процессов, протекающих на поверхности плёнки, например, адсорбции на нем различных биомолекул. Импульс фотона в свою очередь зависит от угла падения и его энергии, то есть длины волны.

Основными конфигурациями, позволяющими реализовать этот процесс являются конфигурации Отто и Кретчмана. В схеме Кретчмана, выходящий из призмы свет попадает на плёнку металла, нанесённую на нижнюю границу призмы, и, отражаясь от неё, направляется в детектор. Обратная сторона металлической плёнки контактирует с анализируемой средой. В схеме Отто свет отражается от границы раздела призмы и анализируемой среды, а слой металла помещается вблизи этой границы. В ППР-анализе преимущественно используются призмённые согласующие устройства с геометрией Кретчмана, что обусловлено простотой их реализации и высокой эффективностью возбуждения плазмонов.

Российскими физиками из МГУ имени М. В. Ломоносова и Российского квантового центра (Сколково) совместно с коллегами из Политехнического института Лозанны (Швейцария) 16 июня 2016 года в журнале «Scientific Reports» была опубликована статья, в которой представлен новый тип структуры для плазмонных биосенсоров на поверхностных волнах. Учеными предложены биосенсоры нового типа, которые содержат фотонный кристалл, магнитные и диэлектрические слои. В данной структуре реализуются сверхдобротные магнитоплазмонные резонансы, за счет чего значительно увеличивается чувствительность сенсора, что и было показано при тестировании структуры на предмет взаимодействия с различными газами.

В настоящее время деятельность НИЦ ФМиНТ посвящена разработке методов высоковакуумного напыления пленок Au и анализа их ППР. В результате была изобретена и запатентована методика нанесения покрытий с градиентом толщины. Суть данной методики заключается в следующем: между испарителем и подложкой размещается «тонкая» заслонка с микрометрически заостренным краем. Вследствие неточности испарителя на подложке формируется неоднородное по эффективной толщине покрытие, в котором можно выделить три зоны: зона с максимальной эффективной толщиной покрытия, зона чистой подложки, а между ними зона геометрической «полутени», которая представляет собой монотонно спадающее по эффективной толщине покрытие («клин»), в том числе и с островковой структурой, является основным предметом исследования. При выборе для исследований различных участков «полутени» имеется возможность не только изучать свойства различных по толщине и структуре покрытий, но и проводить сравнительный анализ свойств конденсатов, полученных при абсолютно идентичных условиях осаждения в одном технологическом цикле. Плазмонные эффекты наблюдаются как в таких конденсатах, так и островковых пленках Au и основная задача дальнейших наших исследований будет заключаться в получении максимально добротной плазмонной структуры.

Выводы. Таким образом, плазмонный биосенсор является устройством, работа которого основывается на явлении поверхностного плазмонного резонанса. НИЦ ФМиНТ КФУ им. В.И. Вернадского достиг значительных результатов в создании плазмонных покрытий, систем и структур. Это послужит дальнейшему развитию биосенсоров в различных сферах деятельности, а именно позволит создать устройства, позволяющие производить высокоточную и высокоскоростную диагностику состояния здоровья человека, идентифицировать на ранней стадии такие заболевания как рак и ВИЧ, а также облегчит работу экологов в исследовании состояния окружающей среды.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ
ОБОГРЕВА ПОМЕЩЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Коба А.А.

студент кафедры электроснабжения и физики Физико-технического института
научный руководитель: к.т.н., доцент Муровский С.П.

Введение. Наиболее распространенный способ обогрева помещений, на сегодня, остается стандартная система водяного отопления, с подачей горячей воды в радиаторы из центральной теплосети. С целью энергосбережения вместо традиционного радиаторного отопления целесообразно использование систем теплых полов, закладываемых на стадии строительства зданий. Как сказано в работе Кобы А.А. «Перспективы развития геотермальной энергетики в России», возможно использование низкопотенциальной энергии геотермальных источников преобразуемой в высокопотенциальную с помощью тепловых насосов и расходуемую на нужды отопления.

Теплый пол – система отопления, использующая для нагрева помещений проложенные в полу электрические кабели или трубы с жидким теплоносителем. Такие системы обеспечивают более равномерный нагрев воздуха помещения и энергопотребление у них ниже, чем у радиаторного отопления.

На данный момент наиболее распространены 2 типа теплых полов водяные и электрические.

Водяной теплый пол – система, в которой в качестве источника тепла используется горячий теплоноситель. Система состоит из трубопровода и узла смешения теплоносителя.

Для управления температурой водяного пола и поддержания ее постоянной устанавливают узел смешения теплоносителя, состоящий из коллектора, циркуляционного насоса, термостатического вентиля. Источником тепла для теплого пола является газовый котел или система центрального отопления. Чтобы водяной пол не зависел от перепадов давления, сезонных отключений центрального отопления, перепада температур, трубопровод предпочтительнее подключать к индивидуальному газовому котлу.

Электрические теплые полы – наиболее часто используемые в системе обогрева зданий в настоящее время. Они позволяют существенно повысить комфорт помещения и удобство эксплуатации. При работе системы вся поверхность пола является большой рабочей панелью, равномерно излучающей тепло. Температура пола только на несколько градусов превышает температуру воздуха, создавая мягкий, комфортный обогрев для человека.

В электрическом теплом полу основным элементом нагревательный элемент – резистивный кабель, выполненный в виде одножильного или двухжильного проводника с постоянным сопротивлением.

Нагрев и поддержание температуры проводятся по специальному алгоритму, по которому контроль температуры воздуха в одной точке является интегральной оценкой всего помещения. Поддержание заданной температуры в этой точке обеспечивает необходимую температуру везде. Автоматизированные системы управления теплыми полами считаются их неотъемлемой частью.

Использование жидкостных теплых полов нецелесообразно из-за необходимости эксплуатации индивидуальных газовых котлов, а для использования электрических полов необходимо большое количество дефицитной электроэнергии.

Это послужило основанием для разработки новой системы отопления на базе электрожидкостного теплого пола – альтернативной системы отопления зданий в целях

энергосбережения. Такая система объединяет в себе положительные свойства как электрического, так и водяного теплых полов, т.е. не использовать энергию органического топлива и потреблять небольшое количество электроэнергии.

Цель и задачи. В ходе исследовательской работы планируется проведение ряда экспериментов с целью подтверждения выдвинутой гипотезы, направленной на изучение свойств разработанной модели электро-жидкостного теплого пола. Постановка экспериментов направлена на исследование режимных особенностей работы различных систем теплых полов, а именно электрического, водяного, с применением теплового насоса и электро-жидкостного теплых полов. Испытания будут проводиться в лаборатории кафедры с использованием физических моделей теплых полов. Цель испытаний: замер показателей нагрева и расход энергоресурсов в различные периоды времени, а также способность поддерживать комфортную температуру чистового покрытия пола.

Результаты исследований. По результатам экспериментов будут построены графические зависимости температуры от времени, и проведён сравнительный анализ полученных результатов с целью подтверждения выдвинутой гипотезы.

Вывод. Исходя из полученных результатов будет сделан вывод о целесообразности применения электро-жидкостных теплых полов в системах отопления зданий различного назначения.

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ В РАБОТЕ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Акулиничев Н. М.

студент кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н., доцент Сокут Л. Д.
shmisser@gmail.com

Введение. В настоящее время основная доля электроэнергии от возобновляемых источников вырабатывается на ветровых и солнечных электростанциях. С точки зрения надёжности ветряная электростанция менее надёжна, чем солнечная. Это объясняется наличием подвижных механизмов ветроэлектростанции (ВЭУ), узлы которых обладают большой массой и подвергаются значительным физическим нагрузкам в процессе всей эксплуатации.

В данной работе проводится анализ причин выхода из строя ВЭУ на ветроэлектростанциях (ВЭС).

Целью работы является анализ отказов работы ВЭУ.

Методика исследований заключается в анализе и оценке показателей надёжности эксплуатации ВЭУ промышленной ВЭС на опыте работы Сакской ВЭС на примере ВЭУ типа USW56-100. В качестве основного показателя надёжности выбран наработка отказа.

Согласно техническим условиям, ветротурбина (ВТ) USW56-100 при эксплуатации должна соответствовать следующим показателям:

- средняя наработка на отказ (T_o) не менее 2200 ч;
- среднее время восстановления работоспособного состояния не более 8 ч;
- средний срок службы до первого капитального ремонта не менее 10 лет;
- полный средний срок службы не менее 30 лет.

Критериями отказов, по которым должны определяться показатели надёжности ВЭУ USW56-100, являются десять видов отказов, приведших к разрушению составных частей ВТ, таких как: лопасть, приводной вал, механизм питча для одновременного поворота трех лопастей, узел гайки питча, привод «питча», узел ступицы, главный вал, трансмиссия.

Применён непараметрический метод, который применяется при неизвестном законе распределения случайной величины и который включает непосредственную оценку показателя надёжности по выборочным данным.

Используем статистические данные по категориям учитываемых отказов, сведенные в таблицу 1.

Оценка средней наработки на отказ определяется по формуле (1).

$$T_0 = \frac{I}{r} \left(N \cdot T - \sum_{j=1}^r t_{\theta j} \right); \quad (1)$$

где r – число отказов за время T ;

N – объем выборки изделий для проведения испытаний;

$t_{\theta j}$ – длительность восстановления работоспособности состояния после j -го из r – отказов.

По данным в работе Даниленко А. И. «Оценка показателей надёжности эксплуатации ветроэлектрического оборудования промышленной ветровой электростанции» рассматривается период отказов ВЭУ с 13 октября 2004 г. по 28 января 2006 г. Сакской ВЭС. Количество отказов составило 20 при общем количестве выбранных ВЭУ 18. Подставив значения в формулу (1) получим оценку средней наработки на отказ, по учитываемым категориям отказов.

$$T_0 = \frac{I}{20} \cdot (18 \cdot 11352 - 3713) = 10031 \text{ ч};$$

Таблица 1 – Учет отказов по выбранным ВЭУ USW56-100

Номер ВЭУ	Наименование отказавшей детали	Дата отказа	Дата восстановления	Кол-во часов простоя, ч
115	Питч	13.10.2004	13.10.2004	3
71	Питч	15.10.2004	15.10.2004	2
99	Лопасть	19.10.2004	24.10.2004	1
80	Лопасть	20.10.2004	21.10.2004	24
88	Питч	21.10.2004	22.10.2004	19
97	Ступица	02.11.2004	04.11.2004	41
125	Питч	02.11.2004	02.11.2004	2
53	Ступица	02.11.2004	03.11.2004	26
76	Ступица	12.11.2004	03.12.2004	28
46	Питч	18.11.2004	19.11.2004	22
02	Питч	27.05.2005	15.06.2005	68
02	Вал питча	11.10.2005	12.10.2005	24
86	Питч	13.10.2005	14.10.2005	12
100	Питч	20.10.2005	23.06.2006	28
54	Питч	29.10.2005	30.01.2006	2238
37	Приводной вал	01.11.2005	14.11.2005	314
71	Редуктор	10.12.2005	12.12.2005	32
89	Лопасть	17.12.2005	19.12.2005	63
93	Лопасть	30.10.2005	28.01.2006	660
134	Питч	31.12.2005	05.01.2006	106

По результатам расчёта можно видеть, что количество часов наработки на отказ составляет приблизительно 14 месяцев, что является приемлемым для данного типа ВЭУ. Можно заметить, что наибольшее количество отказов среди выбранных категорий приходится на систему питча, что связано с большими механическими нагрузками, которые испытывает механизм в процессе изменения скорости ветра. Для повышения надёжности и увеличения наработки на отказ ВЭУ необходимо свести к минимуму использования «питча» при колебаниях скорости ветра.

Заключение. Тип ВЭУ USW56-100 является морально устаревшим, но с учётом количества ВЭУ и большого периода их применения, опыт их использования полезен при эксплуатации современных ВЭУ.

В качестве повышения надёжности целесообразно применять в составе ВЭУ асинхронные генераторы с фазным ротором, в цепь роторной обмотки которых необходимо установить полупроводниковое устройство с управляемым выпрямителем и инвертором. Это позволит поддерживать заданные электрические параметры ВЭУ без использования системы поворота лопастей в моменты резкой, кратковременной или незначительной смены скорости ветра, а также уменьшит общий диапазон регулирования питча в рабочем диапазоне скоростей ветра.

АВТОНОМНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Кушнаренко Д.С.

магистр кафедры электротехники и электроэнергетики

Физико-технического Института КФУ

научный руководитель: к.т.н., доцент Муровский С.П.

Введение. Крым – один из живописных уголков Российской Федерации. Но, как и в любом другом регионе России существует ряд проблем в бесперебойном энергоснабжении. Недостаток собственной генерации и перебои в электроснабжении с материка, а также низкое качество передаваемой электроэнергии по морально устаревшим сетям, приводят к падению ниже допустимого уровня напряжения в сетях бытовых потребителей, особенно в зимнее время года.

Крым богат собственными природными ресурсами, которые могут обеспечить выработку электроэнергии, без выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. А именно: энергия солнца, ветра, воды и геотермальная энергия.

Цель и задачи исследований. Целью работы является анализ состояния электроснабжения на полуострове и разработка схемных решений, позволяющих минимизировать негативные последствия в электроснабжении потребителей.

Результаты исследований. Рассмотрим варианты схем полного или частичного замещения традиционных способов выработки и передачи электроэнергии на нетрадиционные, возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Первый вариант, где электроснабжение выполняется от ветроэнергетической установки (ВЭУ), которая преобразует кинетическую энергию ветрового потока в электрическую энергию (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема электроснабжения объекта: ВЭУ – Потребитель

Сразу следует отметить основные преимущества и недостатки данной системы.

Преимущества:

- при выработке электроэнергии отсутствуют выбросы в окружающую среду;
- при передаче электроэнергии потребителю потери в линиях электропередач (ЛЭП) минимальны, так как ВЭУ небольшой мощности может располагаться вблизи объекта;
- небольшая занимаемая площадь.

Недостатки:

- при отсутствии минимальной скорости ветра, требуемой для запуска ВЭУ, выработка электроэнергии прекращается.

Второй вариант. Данная схема базируется на предыдущей, но в качестве дополнительного источника энергии используются солнечные фотобатареи (ФБ) (рис. 2).

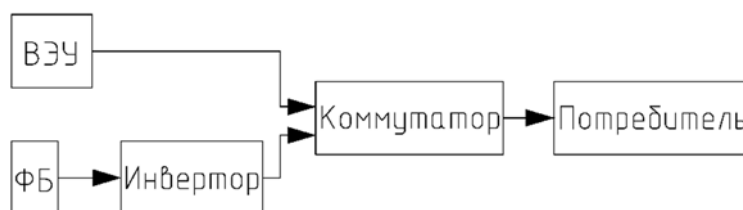


Рис. 2. Блок-схема электроснабжения объекта: ВЭУ+ФБ – Потребитель.

Данная схема также имеет ряд преимуществ и недостатков.

Преимущества:

- за счет комбинирования систем генерации, достигается большая стабильность в системе электроснабжения (при отсутствии ветра выработка возможна за счет солнечной энергии и наоборот)

Недостатки:

- по сравнению с первым вариантом, занимает большую площадь;
- при отсутствии ветра, прекращается выработка на ВЭУ и в ночное время суток прекращается выработка на ФБ.

Основной недостаток обеих схем, а именно перебои в электроснабжении, возможно решить использованием одной из следующих схем (рис. 3, 4).

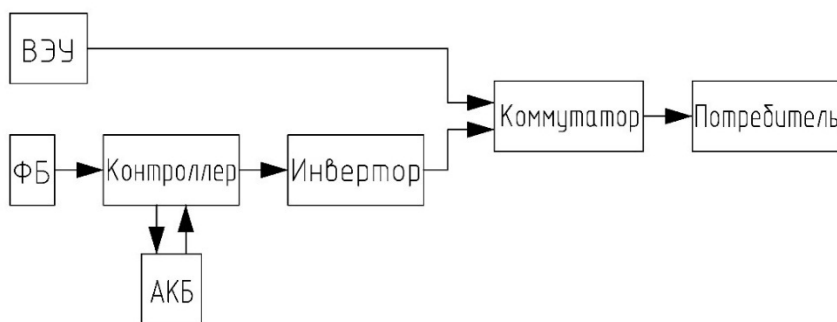


Рис. 3. Блок-схема автономного электроснабжения: ВЭУ+ ФБ+АКБ – Потребитель

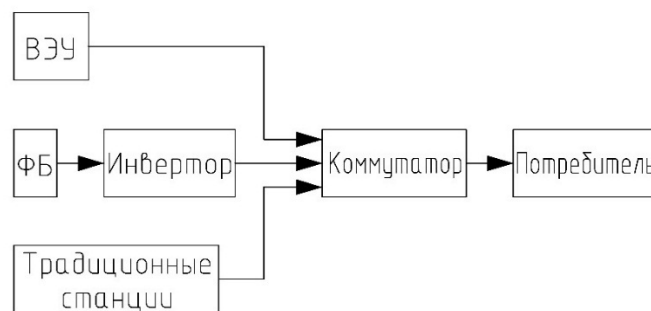


Рис. 4. Блок-схема комбинированного электроснабжения: ВЭУ+ФБ и традиционные генерирующие станции – Потребитель

На рис. 3 представлена блок-схема автономного электроснабжения, с компенсацией перебоев в электроснабжении, методом аккумуляирования в дневное время суток энергии с ФБ на аккумуляторах (АКБ). В ночное время и в период отсутствия ветра, запасенная электроэнергия на АКБ подается через контроллер, инвертор и коммутатор – потребителю.

На рис. 4 представлена блок-схема электроснабжения потребителя от ВЭУ и ФБ, а в часы пиковой нагрузки и в период отсутствия благоприятных погодных условий, используется электроэнергия, передаваемая от традиционных станций (ТЭС, ГЭС и т.д.), по линиям электропередач.

Выводы. Проведенный анализ различных схемных решений электроснабжения объектов показывает, целесообразность применение автономного электроснабжения на базе ВИЭ, либо комбинирование его с традиционным, замещая большую часть потребляемой нагрузки за счет ВИЭ, при этом достигается значительная экономия традиционного топлива и снижается негативное воздействие на окружающую среду.

ВНЕДРЕНИЕ мини-ГЭС В СИСТЕМУ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ – ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Куплений В.О.

студент кафедры электроснабжения и физики Физико-Технического Института КФУ
научный руководитель: к.т.н., доцент Муровский С.П.

Введение. Республика Крым является наиболее энергозависимым регионом страны и получает значительную мощность по энергопотоку с материка. В ближайшее время энергетический баланс Крымской энергосистемы будет характеризоваться повышением дефицита мощности в связи с перспективой развития полуострова и подъема экономики.

Учитывая сложившуюся ситуацию в энергопроизводстве и состояние энергосетей, можно прийти к выводу о необходимости развития в Крыму собственных производственных мощностей и разработки инновационных решений на базе возобновляемой энергетики (ВИЭ), которые бы повысили уровень надежности энергоснабжения потребителей. Одним из направлений развития собственной генерации является установка мини-ГЭС вблизи потребляющих предприятий.

Установка мини-ГЭС на малых водотоках не является новшеством. Подобного рода проекты давно нашли применение в разных странах мира. Установка мини-ГЭС на подводящих трубопроводах водопроводных очистных сооружениях (ВОС) позволит использовать избыточную энергию воды путем генерации электроэнергии для собственных нужд гидроузла.

Цель и задачи исследований. Целью работы является оценка возможности установки мини-ГЭС на подводящих трубопроводах ВОС Партизанского водохранилища, обеспечивающих генерацию электроэнергии для собственных нужд гидроузла за счет

избыточной энергии проходящей воды и оценка экономического эффекта от внедрения энергосберегающей комбинированной энергосистемы.

Методика исследований. Для проведения расчетов целесообразности размещения мини-ГЭС на подводящих трубопроводах ВОС использованы данные о фактических расходах и напорах воды в самотечном водоводе от водохранилища до строительной площадки за 10-летний период. Расчеты проводились по стандартной методике.

Для перехода работы мини-ГЭС в автоматический режим разработана система автоматического поддержания скорости вращения генераторов в пределах промышленной частоты в условиях изменяющейся нагрузки и увязки этой системы с технологической схемой работы ВОС.

Результаты исследований. Гидроузел «Партизанское» расположен в районе сел Приятное свидание и Малиновка Бахчисарайского района в 700 м от автодороги Симферополь-Севастополь. Из Партизанского водохранилища на реке Альма вода на ВОС поступает самотечно по подводящему трубопроводу диаметром 1000 мм длиной около 4100 м. Расчетный проектный пропуск воды по подводящему трубопроводу составляет $Q = 0,8 \text{ м}^3/\text{с}$. На площадке гидроузла подводящий трубопровод подключается к двум трубопроводам диаметром 800 мм по которым вода подается в здание реагентного хозяйства для водоподготовки.

Электроснабжение на нужды гидроузла обеспечивается от существующей электроподстанции 35 кВ на площадке ВОС с трансформацией до 6 кВ на основные технологические циклы и 0,4 кВ на собственные нужды. На случай отключения промышленного электроснабжения на гидроузле предусмотрена дизельная электростанция мощностью 50 кВт, которая находится в постоянной готовности, запускается в течении 1-2 минуты после отключения промышленного энергоснабжения.

После установки мини-ГЭС вырабатываемая электроэнергия будет использоваться на собственные нужды гидроузла. Установленная мощность оборудования собственных нужд составляет 370 кВт. С учетом коэффициента спроса одновременная максимальная потребляемая мощность оборудования составит 92 кВт. Генерируемая мощность мини-ГЭС может превышать потребляемую мощность оборудования собственных нужд. Избыточная мощность генераторов в этом случае будет подаваться на заряд аккумуляторов с последующим возвратом в сеть предприятия.

Размеры помещений под установку мини-ГЭС позволяют разместить два гидросиловых агрегата. Вода в систему очистки может поступать, как через гидротурбины, так и мимо, по обводной линии. Предлагаемые турбины спиральные радиально-осевые с регулируемым поворотным направляющим аппаратом, обеспечивающим устойчивую работу в диапазоне напоров от 12 до 28 метров при колебании расходов от 0,2 до 0,4 м³/с номинальной мощностью $N_t = 100 \text{ кВт}$; КПД турбины - 91%. Подобные турбины установлены на мини-ГЭС на о. Парамушир (3 турбины). Проведенные расчеты показали, что установка второй турбины на мини-ГЭС приведет к более эффективной работе и, как результат к увеличению выработки электроэнергии. Также дополнительная турбина повысит надежность разрабатываемой схемы, т.к. при выходе из строя одной из турбин можно перевести весь поток воды в одно русло. Расчет среднегодовой выработки электроэнергии на блоке мини-ГЭС составляет 963 тыс. кВт·час, окупаемость проекта составит ориентировочно 5 лет.

Выводы. Предлагаемый проект по внедрению мини-ГЭС на промышленных объектах позволит экономить природные ресурсы, что актуально в плане реализации государственной программы по энергосбережению. Реализация проекта позволит коренным образом улучшить состояние водных объектов - источников питьевого водоснабжения, довести водопотребление до необходимого объема и качества с минимальными энергозатратами.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МОЩНОСТЬЮ 12 МВт

Гирич Д.М.

студент группы ВЭ-141 Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.т.н., профессор Бекиров Э.А.

Введение. Сложившаяся на Крымском полуострове ситуация, как никогда ранее ставит вопрос актуальности внедрения нетрадиционных источников энергии, для поддержания энергобаланса Крыма. В часы утреннего максимума потребление электроэнергии достигает 1100 МВт, вечернего — 900 МВт. Собственное производство электроэнергии на полуострове составляет 1131 млн. кВтч в год, что обеспечивает 21 % от общего потребления. Максимальная мощность собственной генерации 182 МВт (без учёта солнечной и ветряной генерации), мобильной — 337 МВт. С материковой части России в Крым идут четыре нитки энергомота, каждая по 200МВт. С учетом всей этой мощности Крымский полуостров обеспечивается не полностью, особенно в пики энергопотребления.

Цель и задачи исследований.

Цель работы – произвести расчеты по проектированию солнечной электростанции в Феодосийском районе мощностью 12 МВт, для покрытия пиков энергопотребления и стабилизации нагрузки.

Основные задачи:

1. Проанализировать площадку для строительства и местность расположения солнечной электростанции.
2. Провести расчет выработки электроэнергии по месяцам и станцией в целом.
3. Провести расчет масляного трансформатора, соединительных кабелей, инвертора.
4. Рассчитать технико-экономические показатели проекта.

Для решения поставленных задач использовались следующие методы: картографический, аналитический, математическое моделирование, системный анализ. С целью решения конкретных прикладных задач использовались современные программные комплексы, такие как: Excel, а также метод графического моделирования в программе AutoCAD.

Результаты исследований, их краткий анализ.

Был произведен расчет солнечной электростанции в Феодосийском районе, мощностью 12 МВт.

В работе проведен анализ местности, в которой планируется размещение солнечной электростанции. Приведен расчет выработки электроэнергии по месяцам и станцией в целом. Разработан генплан территории, схема силовых цепей солнечной электростанции. Проведен расчет масляных трансформаторов, инверторов, расчет соединительных кабелей. Проведен расчет технико-экономических показателей.

Выводы, заключения;

Представленная работа наглядно показывает целесообразность строительства солнечной электростанции. Данный комплекс мероприятий в полной мере позволит реализовать меры по стабилизации нагрузка, а также покрытия пиков энергопотребления, что является актуальной задачей для энергодефицитного Крымского полуострова

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЬНОГО АВТОНОМНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА «ОКО»

Шеметов И.В.

студент группы ВЭ-141 Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н. Химич А.П.

Введение. При расчете систем солнечного электроснабжения для индивидуальных потребителей в настоящее время чаще всего применяется методика, основанная на климатических данных для заданной местности, планируемого расположения солнечных батарей, необходимой электрической мощности и особенностей ее потребления.

Главным недостатком существующей методики является использование статистических данных о прямой и рассеянной радиации, взятых в местной метеослужбе или других менее авторитетных источниках. Таблицы инсоляции земной поверхности для отдельных регионов содержат информацию только о полном солнечном излучении. Не владея данными о рассеянном солнечном излучении, невозможно выполнить точный пересчет инсоляции с горизонтальной поверхности на наклонную. В справочных таблицах приведены среднестатистические значения, не учитывающие локальные климатические условия, запыленность, влажность, попадания места установки солнечных батарей в область геометрической тени зданий, сооружений, природного ландшафта в ранние и поздние часы, и др. Для преодоления указанных недостатков было принято решение улучшить существующую методику расчета систем солнечного электроснабжения. автоматизировать расчет, увеличить его точность, спрогнозировать эффективность и целесообразность установки при заданных исходных данных до момента постройки.

Цель и задачи работы. Цель работы – улучшение методики расчета систем солнечного электроснабжения за счет ее оптимизации, автоматизации и повышения точности расчета. Задачами данной работы являются: выявление основных недостатков методики расчета солнечных систем электроснабжения, разработка прибора для автоматизированного сбора данных о вырабатываемой электроэнергии солнечным фотоэлементом заданного типа, расположенным в заданном месте, адаптация и оптимизация методики расчета.

Основные результаты работы. Очевидным решением приведенных выше проблем является самостоятельный сбор данных о солнечной радиации в заданной местности. Приборы для измерения солнечного излучения, такие как пиргелиометр и пиранометр обладают высокой степенью точности измерений, но их стоимость высока, и покупка таких приборов частными лицами для личного использования не является рациональной. Альтернативой может являться прибор, не уступающий в точности существующим устройствам, обладающий заведомо низкой ценой и высокой доступностью. Конструирование такого прибора и является главной задачей по оптимизации расчета. Все громоздкие расчеты, связанные с солнечным излучением, проводятся для определения вырабатываемой солнечными батареями электроэнергии и расчета требуемого тока для покрытия необходимого энергопотребления. Методика расчета построена таким образом потому, что исходными данными является инсоляция поверхности. Этого можно избежать, если изначально знать количество электричества, генерируемого выбранной заказчиком солнечной батареей, установленной под оптимальным в конкретной ситуации углом на существующей крыше, если дом уже построен, либо на крыше, оптимально ориентированной на этапе проектировки дома.

Для сбора данных по месту был разработан прибор «Око» (рисунки 1). Прибор представляет собой моноблок, на передней панели которого расположены: дисплей, кнопки управления, индикаторные светодиоды, а также слот под установку модулей, содержащих фотоэлектрические преобразователи, соответствующие имеющимся на рынке солнечным батареям. На корпусе имеется COM порт для связи с компьютером. На тыльной стороне

прибора расположена подвижная опора, имеющая привод в виде шагового электродвигателя, способная автономно изменять угол установки прибора в ходе процесса измерения и накопления данных.

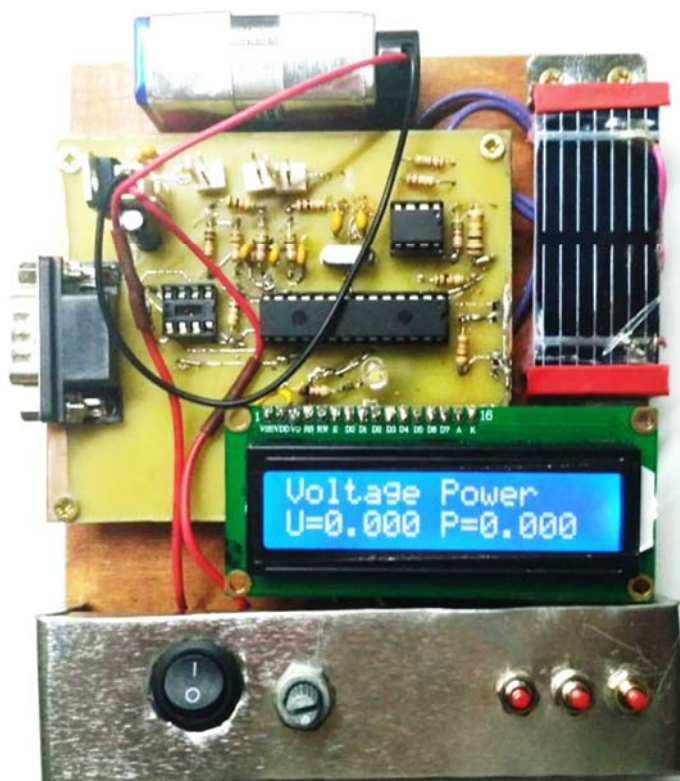


Рисунок 1. Фотография прототипа модульного автономного измерительного прибора «Око»

Основная задача прибора – это мониторинг генерируемых фотоэлементом токов и хранение фиксируемых данных. Полученные значения программно экстраполируются в зависимости от необходимого количества солнечных батарей. Таким образом, зная количество установленных в будущем солнечных батарей, можно с легкостью получить значения количества генерируемой солнечной энергии конкретными солнечными батареями при разных углах установки и наоборот, зная энергопотребление, автоматически рассчитывается необходимое количество солнечных батарей для его покрытия в данный момент при различных углах установки. Прибор способен отображать мгновенные значения площади и количества электричества для приблизительной оценки, а также собирать данные за определенный период времени.

Выводы. Разработанный модульный автономный измерительный прибор «Око» позволяет сразу получать данные о вырабатываемой электроэнергии конкретным типом солнечной батареи в месте установки. Таким образом, расчет параметров системы электроснабжения существенно упрощается, и сводится лишь к анализу полученных данных.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ТЕПЛИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Мухтарлы М.Х.

студент группы ВЭ-141 Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.т.н., профессор Бекиров Э.А.

Введение. Обеспечение надежного функционирования систем электроснабжения ответственных потребителей - одно из главных составляющих энергетической безопасности реального сектора экономики.

Электроэнергетика является базовой отраслью экономики Российской Федерации. Надежное и эффективное функционирование электроэнергетики, бесперебойное снабжение потребителей - основа поступательного развития экономики страны и неотъемлемый фактор обеспечения цивилизованной жизни всех ее граждан. Отрасль сохранила целостность и обеспечила надежное удовлетворение потребителей экономики в электрической и тепловой энергии. Преодолен спад в производстве электроэнергии, улучшается платежная дисциплина, растет уровень денежных поступлений.

Однако фундаментальные проблемы электроэнергетики, наметившиеся в 80-е годы и получившие развитие в последующий период, не нашли своего разрешения. На фоне общеэкономического спада продолжала повышаться энергоемкость экономики, произошло резкое падение объемов инвестиций с одновременным снижением эффективности работы отдельных секторов отрасли. Нерешенность указанных проблем может привести к замедлению экономического роста. Качественный рост энергоэффективности экономики и изменение инвестиционного климата невозможно без изменения сложившейся системы экономических отношений и безотлагательного проведения структурной реформы электроэнергетики и тесно связанной с ней газовой отрасли.

Одновременно решение проблем электроэнергетики представляется в создании экономичных, надежных систем электроснабжения промышленных предприятий на основе постоянного совершенствования технологий и создания комплектного электрооборудования высокой заводской готовности.

Цель и задачи исследований.

Основные задачи, решаемые при проектировании подобных систем электроснабжения промышленных предприятий, заключаются в оптимизации параметров этих систем путем:

- правильного выбора напряжений, определения электрических нагрузок и требований к бесперебойности электроснабжения;
- рационального выбора числа и мощностей трансформаторов, преобразователей тока и частоты, конструкций промышленных сетей, средств компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения, средств симметрирования нагрузок и подавления высших гармоник в сетях путем правильного построения систем электроснабжения, соответствующей оптимальному уровню надежности.

Все эти задачи постоянно усложняются вследствие роста мощностей электроприемников, появления новых видов использования электроэнергии, новых технологических процессов и т.д.

В рассматриваемой работе рассмотрено электроснабжение светонепроницаемой теплицы.

Для системы электроснабжения теплицы выполнены необходимые расчеты и выбрано соответствующее оборудование, материалы, способы монтажа, обеспечивающие работу электроприемников в заданных режимах.

Разработана схема подключения электрооборудования теплицы.

Основными условиями при проектировании предприятия являются надежность, экономичность и качество электроэнергии в сети.

Решение задачи оптимизации электроснабжения при проектировании производится на основе проведения технико-экономических расчетов. В качестве технических показателей выступает надежность, удобство эксплуатации, долговременность сооружения, объем текущих капитальных ремонтов, степень автоматизации; в качестве экономических показателей – капитальные вложения и эксплуатационные расходы.

Внедрение автоматизации и телемеханизации в хозяйство предприятия обеспечивает его бесперебойное снабжение электроэнергией, сокращение количества технологического и электротехнического оборудования благодаря более гибкому управлению объектами, экономии электроэнергии. Отказ от местного обслуживания ряда объектов позволяет значительно сократить штат эксплуатационного персонала.

Объект оснащен солнечными фото-электрическими панелями, которые позволяют частично обеспечить здание собственной электроэнергией. Это решает вопросы совместной работы системы централизованного электроснабжения теплицы от внешней электросети и системы электроснабжения от альтернативных источников (солнечные фотоэлектрические панели), а также позволяет оценить эффективность работы альтернативных источников электроэнергии.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА В Г. СИМФЕРОПОЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Босько П.Ю.

студент группы ВЭ-141 Физико-технического института КФУ
научный руководитель: д.т.н., профессор Бекиров Э.А.

Введение. Электроэнергетика – это одна из основных отраслей экономики любого современного государства. Базовые отрасли промышленности, которые определяют экономический прогресс государства, напрямую зависят от энергетического потенциала страны. Развитая энергосеть является залогом стабильного экономического состояния государства, его стремительного экономического роста, а также обеспечивает высокий уровень жизни населения, качественную среду обитания и комфортные условия труда человека.

Практически невозможно представить себе жизнь без электроэнергии. Все сферы промышленности, сельское хозяйство, наука, быт человека – везде ключевую роль играет электрическая энергия. Такое широкое распространение данный вид энергии получил не случайно. Электроэнергия обладает рядом уникальных специфических свойств, которые дают ей преимущество перед другими видами энергии: возможность относительно просто передавать её на дальние расстояния и в больших объемах; способность электроэнергии трансформироваться в другие виды энергии с минимальными потерями.

В промышленности электроэнергия используется практически везде: от приведения в действие различных механизмов, до непосредственного участия в процессах производства (таких как электролиз, например).

Большую роль электроэнергетика играет в транспортной сфере. Электрифицированный транспорт (поезда, трамваи, троллейбусы, электромобили) – это эффективный способ перевозки, как людей, так и грузов. Такой транспорт обладает низкой себестоимостью перевозок, не загрязняет атмосферу вредными выбросами, позволяет экономить топливо.

Многие аспекты жизни современного социума остро зависят от наличия бесперебойной поставки электроэнергии. Такие социальные учреждения как больницы, школы, детские сады не могут долгое время обходиться без электричества.

Однако вся традиционная энергетика базируется на использовании невозобновляемых источников энергии, таких как уголь, газ и другие природные ископаемые. Их запасы стремительно уменьшаются, и уже сейчас существует проблема поиска альтернатив данным источникам энергии. Основной заменой традиционной энергетике является возобновляемая энергетика.

Нетрадиционная (возобновляемая) энергетика – это отрасль электроэнергетики, которая использует в качестве источников возобновляемые природные ресурсы планеты. Это солнечная энергия, энергия ветра, геотермальные источники тепла, биоэнергоресурсы и так далее. Использование данных видов энергии сопровождается гораздо меньшими объемами загрязнения окружающей среды, а то и вовсе не оказывает на нее негативного влияния (гелиоэнергетика, например).

Также на сегодняшний день в бытовой и промышленной сфере активно внедряются энергосберегающие технологии. Их применение снижает потребление электроэнергии, добытой путем сжигания традиционного топлива.

В данной работе произведен расчет системы электроснабжения жилого дома с применением энергосберегающих технологий. Основная задача данного расчета – снизить энергопотребление из сети и максимизировать эффективность использования электроэнергии.

Цель и задачи исследований.

Цель работы – спроектировать систему электроснабжения жилого дома с применением энергосберегающих технологий и принципов энергосбережения. Рассчитать автономный источник энергии в виде солнечных фотопреобразователей.

Основные задачи:

- изучить основные принципы и технологии энергосбережения;
- выполнить сбор нагрузок с учетом принятых мер по энергосбережению;
- построить план и электрическую схему системы электроснабжения;
- выполнить расчет системы автономного источника (солнечные фотопреобразователи);
- провести технико-экономическое обоснование проекта, и в частности – применения энергосберегающих технологий.

Результаты исследований, их краткий анализ.

В работе были изучены основные цели и принципы энергосбережения.

Рассмотрены различные аспекты развития энергосберегающих технологий и проанализировали составляющие, входящие в понятие энергосбережения.

Был выполнен расчет системы электроснабжения двухэтажного жилого дома с применением энергосберегающих технологий. Методами повышения энергоэффективности являются:

- применение высокоэффективных светодиодных ламп для освещения всех помещений жилого дома;
- подбор бытовой техники высокого класса энергоэффективности;
- оптимизация графиков нагрузки для снижения пиковых значений;
- применение солнечной фотоэлектрической системы с аккумуляторными батареями, обеспечивающими 16 часов автономной работы.

Выводы, заключения;

Экономическую эффективность подобных систем можно повысить при условии массового применения и внедрения энергосберегающих технологий на стадии проектирования. При снижении стоимости энергоэффективного оборудования и элементов фотоэлектрической системы срок окупаемости будет снижаться.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Сейтумеров Э.Н.

студент группы ВЭ-141 Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.т.н., профессор Бекиров Э.А.

Объект разработки – электроснабжение промышленного предприятия.

Цель работы – рассчитать и спроектировать систему электроснабжения производственного объекта.

В промышленности электрические аппараты и установки используются, как для приведения в движение разных механизмов, так и напрямую в технологических процессах.

Системой электроснабжения (СЭС) называют комплекс устройств для производства, передачи и распределения электрической энергии. Системы электроснабжения промышленных предприятий формируются с целью обеспечения электроэнергией промышленных электроустановок, к которым принадлежат электродвигатели разных машин и механизмов, электронагревательные печи, электролизные системы, аппараты и машины для электросварки, осветительные системы и т.п.

Система электроснабжения промышленных предприятий должна обеспечивать электрический привод с исполнительным механизмом в виде движущей силы разных установок и механизмов. В процессе увеличения электропотребления совершенствуются и система электроснабжения промышленных предприятий.

Электроснабжение современного промышленного предприятия представляет из себя сложную систему, состоящую из линий электропередач высокого и низкого напряжения, трансформаторных подстанций, распределительных устройств, средств автоматики и защиты линий электропередач и трансформаторов при возникновении аварийных режимов работы электроустановок.

На современных промышленных предприятиях существенно увеличилось количество электротехнических установок, в следствии увеличения энерговооруженностью рабочего процесса возросли требования к бесперебойности электропитания, качеству обслуживания электротехнических установок производственного назначения. Значимым условием в электро-обеспечении считается также точный и оптимальный выбор оборудования по мощности и допустимому уровню использования. Согласно анализам специалистов, это даёт возможность сэкономить до 20-25 % потребляемой электрической энергии.

Результаты исследований.

В работе было спроектировано и рассчитано электроснабжение промышленного предприятия. Был произведен расчет энергопотребления всего силового, осветительного и отопительного оборудования с составлением графиков энергопотребления. Исходя из полученных результатов был подобран трансформатор ТМГ-400/10/0,4 мощностью 400кВА. Затем были произведены расчеты внутренних и внешних энергосетей, исходя из известных токовых нагрузок каждой линии. Был произведен подбор системы автоматики и для защиты электроустановок от коротких замыканий и режимов токовых перегрузок с составлением схем подключения ГРЩ. Предприятие снабжено системой аварийного освещения, подключаемой с помощью АВР в случаях отключения питания от основной энергоснабжающей сети. Так же в данной работе был произведен расчет заземляющего устройства и схемы подключения системы заземления TN-S. В завершении работы были указаны нормы и правила по технике безопасности эксплуатации электрических установок.

Заключение. В ходе работы была спроектирована и рассчитанная полная система электроснабжения промышленного предприятия по металлообработке.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Сейтаблаев И. К.

Студент группы ВЭ-141 кафедры электроснабжения и физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.ф.-м.н., Асанов М. М.

Введение. Актуальность темы данной работы обусловлена увеличением доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мировом энергобалансе. Наиболее активными темпами развиваются технологии солнечной и ветроэнергетики: установленная мощность ветроэлектрических станций в 2016 году достигла 435 ГВт, солнечных фотоэлектрических станций - 230 ГВт.

Энергетические установки, преобразующие энергию возобновляемых источников, не имеют топливной составляющей в структуре затрат, поэтому себестоимость производства электроэнергии установками ВИЭ ниже, чем у электростанций, использующих традиционной топливо. В тоже время использование энергии ВИЭ сопряжено с трудностями, обусловленными недостатками этих видов источников энергии, такими как низкие удельные значения потенциала, зависимость от метеорологических, климатических и топографических условий, изменчивость во времени, что сказывается на качестве получаемой энергии. Гарантированное обеспечение надежного и качественного энергоснабжения потребителей возможно за счет комплексного использования энергии возобновляемых источников, имеющих разновременный характер прихода, и создания резервных и аккумулирующих систем. Одним из наиболее эффективных способов аккумулирования энергии является использование воздушно-аккумулирующих газотурбинных электростанций (ВАГТЭ) для запаса и длительного хранения электроэнергии, вырабатываемой другими установками ВИЭ.

Цель и задачи.

Целью работы является анализ совместной работы СЭС и ГАЭС в автономном энергетическом комплексе СЭС-ГАЭС. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- рассмотрены проекты ВАГТЭ, разработанные различными странами, часть которых реализована и успешно эксплуатируется;
- теоретически спроектирована и рассчитана солнечная электростанция;
- проанализированы и разработаны режимы работы энергокомплекса СЭС-ГАЭС, учитывающие особенности покрытия фактических суточных и годовых графиков нагрузки, ресурсные особенности прихода солнечной энергии и энергии сжатого воздуха, технические и технологические принципы функционирования оборудования СЭС и ГАЭС;
- выполнено обоснование параметров энергетического комплекса СЭС-ГАЭС.

Результаты исследований

Рассмотрены особенности строения и схемы исполнения электростанций. Приведен пример расчета солнечной электростанции мощностью 110 МВт. Приведен пример расчета основных показателей воздушно-аккумулирующей электростанции. Рассмотрены преимущества и недостатки совместной работы электростанций. Проанализированы и разработаны режимы работы энергокомплекса СЭС-ГАЭС, учитывающие особенности покрытия фактических суточных и годовых графиков нагрузки, ресурсные особенности прихода солнечной энергии и энергии сжатого воздуха, технические и технологические принципы функционирования оборудования СЭС и ГАЭС. Выполнено обоснование параметров энергетического комплекса СЭС-ГАЭС

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в том, что в результате проведенных исследований приведен анализ целесообразности и перспектив проектирования

объектов автономного энергоснабжения на основе двух взаимодополняющих источников возобновляемой энергии - солнечной и воздушной.

Выводы

Научная новизна работы заключается в том, что впервые предложена совместная работа солнечной электростанции и воздушно-аккумулирующей станции, которая в часы малых нагрузок будет заполнять воздухохранилище и при необходимости использовать энергию сжатого воздуха для выработки электроэнергии.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в том, что в результате проведенных исследований приведен анализ целесообразности и перспектив проектирования объектов автономного энергоснабжения на основе двух взаимодополняющих источников возобновляемой энергии - солнечной и воздушной.

Можно сделать вывод, что ГАЭС успешно могут функционировать в качестве аккумулирующих электростанций в энергокомплексе на базе ВИЭ, в частности на солнечных электростанциях. В нашем случае газоаккумулирующая станция мощностью 25 МВт работает совместно с солнечной электростанцией мощностью 110 МВт.

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Назарук П.В.

студент группы ВЭ-141 Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.ф.-м.н., Асанов М.М.

Объект разработки - совместная работа ветроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций.

Цель работы - проанализировать принцип работы существующих ВЭС и ГАЭС, исследовать их совместную работу.

Рассмотрены особенности строения и схемы исполнения электростанций. Приведен пример расчета одной установки ветроэлектростанции, найдена суммарная мощность. Приведен пример расчета основных показателей гидроаккумулирующей электростанции на основе реальных данных. Приведены суточные графики нагрузок. Рассмотрены преимущества и недостатки совместной работы электростанций. На примере реальных проектов были обсуждены основные особенности совместной работы электростанций.

В будущем разработка совместных проектов по использованию ВЭС и ГАЭС могут сыграть немаловажную роль в развитии энергетики в целом, благодаря целому ряду преимуществ.

Одной из важнейших тем современности является тема разумного использования энергетических ресурсов. Обсуждение этой темы касается не только приближения времени, в котором все традиционные источники энергии будут исчерпаны, но и способов разумного и эффективного использования энергоресурсов человеком.

Одной из главных возможностей человека в этой сфере является аккумулирование энергии. В работе на примере ГАЭС показаны основные принципы аккумулирования энергии в больших масштабах, обсудил преимущества данного вида аккумулирования.

В сочетании с использованием нестабильного, однако нетрадиционного и возобновляемого источника энергии - ветра, аккумулирование приобретает новые особенности. Благодаря уникальности работы, аккумулирующие станции могут максимально стабилизировать работу других электростанций, к тому же, могут обеспечивать энергосистему должным качеством электроэнергии, могут помогать энергосистеме выдерживать пиковые нагрузки потребления энергии.

В данной работе на примере реальных объектов были исследованы все преимущества совместной работы ветроэлектростанции и гидроаккумулирующей электростанции, начиная от сферы экологии, и заканчивая сферой энергетики.

В связи с тем, что в России до сих пор не является актуальной тема перехода на альтернативные источники энергии, принимаются необходимые меры, способные поднять актуальность этой темы. В качестве материала для своей работы я использовал реальный проект, возможно, одного из мощнейших ветропарков Европы в будущем, который будет расположен на территории Республики Адыгея.

Для того, чтобы завтра мы могли жить, не беспокоясь о своем энергообеспечении, уже сегодня нужно задумываться о разработке и финансировании крупных государственных проектов по внедрению новых технологий в энергетический комплекс Российской Федерации. Гидроаккумулирующие электростанции нужны для выполнения функции регулирования нагрузок энергосистемы с максимальным использованием преимуществ в быстродействии электростанции и готовности к пуску в любой момент времени.

Эксплуатация ГАЭС производится в различных режимах, с большим количеством остановок и пусков в течение суток. ГАЭС выполняет роль источника маневренной мощности при прохождении пиков суточной нагрузки энергосистемы, выполняет роль компенсатора реактивной мощности, а также является маневренным и всегда готовым к запуску резервом.

Использование комплекса, состоящего из ВЭС и ГАЭС, в первую очередь, является уникальным экологическим решением. Негативное влияние данного комплекса на окружающую среду и атмосферу минимально, а иногда и вовсе отсутствует. С ростом развития технологического процесса негативное влияние комплекса будет только снижаться.

Благодаря своей маневренности ГАЭС может максимально стабилизировать работу ВЭС, вырабатывая мощность в те периоды времени, когда сила ветра не достигает своих номинальных значений.

Данный комплекс не только способен выдавать мощность в энергосистему, но еще и обладает возможностью быстрого маневрирования выдачи мощности, что очень важно для надежности силового оборудования энергосистемы и для качества электроэнергии, выдаваемой потребителю.

АНАЛИЗ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Плотников А.А.

студент кафедры Электроэнергетики и электротехники Физико-технического института КФУ

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

Введение. Разные группы электрооборудования различно реагируют на искажение синусоидальности напряжения. Это вызвано как тепловым нагревом от высших гармоник, так и несимметричностью сигналов, выражаемой образованием прямой, обратной и нулевой последовательности. Эти последовательности различаются чередованием фаз напряжения, чем, соответственно, и вызвано их различное влияние на электрооборудование. Например, при обратной последовательности вследствие воздействия на индукционные счетчики возникает недоучет электроэнергии.

Функцию, которая описывает несинусоидальную кривую напряжения, можно разложить в ряд Фурье гармонических составляющих, с частотой в n раз больше частоты сети. С повышением номера гармонической составляющей амплитуда гармоники снижается. В практической части требуется оценивать весь ряд гармоник от 2 до 40 включительно.

Высшие гармоники напряжения неблагоприятно сказываются на работе электрооборудования, создавая потери в электрических машинах, сетях и трансформаторах, сокращая их срок службы, повышая аварийность, вызывая сбои в работе релейной защиты. Также они влияют на коэффициент мощности.

Цель и задачи. Целью данной работы является анализ и расчет дополнительных потерь в обмотках и магнитопроводе асинхронного двигателя, то есть потерь мощности, обусловленных высшими гармониками при работе асинхронного электродвигателя. Объектом расчета будет являться асинхронный двигатель АИР 160 S6 со степенью защиты IP54 и способом охлаждения IC0141- наружный обдув установленным на валу двигателя центробежным реверсивным вентилятором. Паспортные данные двигателя: номинальная мощность $P_{н2}=11$ кВт, номинальное напряжение $U_{н1}=380$ В, номинальная частота $f_{н1}= 50$ Гц, синхронная частота вращения 1000 об/мин, число пар полюсов $2p=4$, режим работы – длительный. Ротор двигателя выполнен из алюминиевого сплава А8.

Методика исследований. При выполнении работы используются методы численного анализа.

Результаты исследований. При частотном регулировании, когда асинхронный двигатель получает питание от стабилизатора частоты, к обмоткам подводится несинусоидальное напряжение прямоугольной формы. Анализ работы двигателя при этом проводится путем разложения заданной кривой напряжения в гармонический ряд и анализа действия каждой гармоники.

Потери мощности, электрические, механические и магнитные, зависят от коэффициента регулирования и определяются по известным формулам, а определяющими факторами, влияющими на изменение магнитных потерь, являются магнитный поток и частота питающего напряжения. Например, в работе Петренко А.Н. "Дополнительные потери мощности частотно-управляемого асинхронного двигателя от высших гармоник напряжения" используется метод "гармонических двигателей", основанный на способе наложения. С помощью этого метода можно найти дополнительные потери. Необходимо использовать гармоники с номерами $v = 6K \pm 1$ (где $K = 1, 2, 3, \dots$), так как третья и кратные трем гармоники отсутствуют. Будем учитывать высшие гармоники с номерами не выше 19. Рассматриваем шесть случаев с частотами соответственно $(5, 7, 11, 13, 17, 19) \cdot f_{н1} \cdot \alpha$ где $\alpha = f_1 / f_{1N}$ – коэффициент регулирования.

Частота вращения магнитных полей: $n_v = n_1 \cdot v$, где v - номер гармоники. В таком случае относительное скольжение:

$$S_v = \frac{n_1 \cdot v \pm n_2}{n_1 \cdot v} \approx 1 + \frac{1}{v} \approx 1 + \frac{1}{6K \pm 1} . \quad (1)$$

Используя формулу (1) проведем расчет и приведем график зависимости относительного скольжения от номера гармоники.

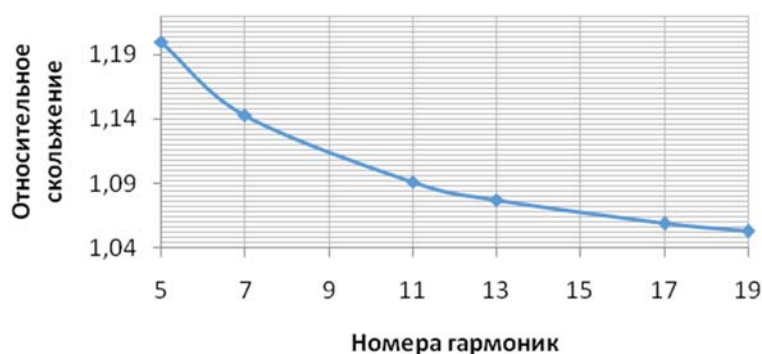


Рисунок 1. Влияние высших гармоник на относительное скольжение

Коэффициент вытеснения тока для обмотки ротора вычисляется по формуле:

$$r'_{2v} = K_{2r} \cdot r'_2 : X'_{2v} = K_{2xv} \cdot X'_{2N} \cdot v \cdot \alpha,$$

где X'_{2N} - индуктивное сопротивление рассеяния ротора при частоте $f_{н1}$.

При расчете высших гармоник тока намагничивающим током можно пренебречь из-за малых значений амплитуд и высокой частоты. Тогда ток вычисляется по формуле

$$I_{1v} = I_{2v} = \frac{U_{1N} \cdot \gamma}{v^2 (K_{2xv} \cdot X_{1N} \cdot \alpha)},$$

где $U_{1N} \cdot \gamma$ - действующие значение напряжения первой гармоники напряжения. Относительное напряжение $\gamma = U_1 / U_{1N}$.

Дополнительные магнитные потери от высших гармоник определялись в соответствии с формулой (2), принимая $m_c = 26$ кг, $m_p = 20$ кг, $n = 1,8$.

$$P_{magv} = P_{mag\alpha} \cdot \frac{m_c + m_p}{m_c} \cdot \sum_{v=6K+1}^{v=19} v^{-(4-n)}. \quad (2)$$

Таким образом, суммарные дополнительные потери равны:

$$\sum P_{donv} = P_{эл1v} + P_{эл2v} + P_{magv} = \sum_{v=6K+1}^{v=19} (m_1 \cdot I_{1v}^2 \cdot r_1 \cdot K_{t1}) + \sum_{v=6K+1}^{v=19} (m_1 \cdot I_{2v}^2 \cdot r_2 \cdot K_{t2} \cdot K_{2rv}) + P_{mag\alpha} \cdot \frac{m_c + m_p}{m_c} \cdot \sum_{v=6K+1}^{v=19} v^{-(4-n)}.$$

Результаты расчета дополнительных потерь для двигателя АИР 160 S6 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты вычислений

α	1,0	0,9	0,7	0,5
$\sum P_{donv}$ Вт	345	320	293	262
$\gamma = \alpha, \%$	17,27	15,9	14,4	11,9
$\sum P_{donv}$ Вт	345	259,2	143,57	65,5
$\gamma = \alpha^2, \%$	17,27	15,9	14,1	11,1

Выводы. Были определены составляющие дополнительных потерь мощности, обусловленных высшими гармониками напряжения. Величины дополнительных электрических потерь зависит от закона регулирования и коэффициента регулирования.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНКА ДЛЯ НАМОТКИ ТОРОИДАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ МАНИПУЛЯТОРОВ

Циперко Л.Н.

студент кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.т.н., профессор Бекиров Э.А.

Введение. В настоящее время промышленностью производятся следующие виды сетевых трансформаторов: стержневые, броневого и тороидальные. Последние имеют ряд преимуществ, таких как более высокий коэффициент полезного действия (далее КПД), меньшие габариты, но при этом недостатком является более сложный процесс изготовления по сравнению с другими видами. Вследствие этого они имеют цену выше, чем у остальных трансформаторов.

Целью и задачей исследования является разработка алгоритма, программного обеспечения манипуляторов для существующих намоточных станков тороидальных трансформаторов. В работе использовались методы вычислительной математики и программирования.

Результаты исследований. В качестве конструкции для манипулятора был выбран механизм прямолинейного движения - ходовой винт и гайка.

Основное достоинство винтовых механизмов - высокая точность и плавность перемещений, что даёт возможность получения значительной редукции и самоторможения.

При заданных или измеренных тяговых усилиях манипулятора, проводится расчет на прочность по приведённому напряжению согласно формуле (1)

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\left(\frac{Q}{F}\right)^2 + 4 * \left(\frac{M_k}{W_p}\right)^2} \leq (0,28 - 0,33)\sigma_t \quad (1)$$

где F –площадь поперечного сечения винта;
M_k – крутящий момент передаваемый винтом;
W_p- момент сопротивления сечения при кручении;
σ_t-предел текучести материала винта;

Так как ходовой винт манипулятора имеет длину более чем в 7,5 – 10 превышающую свой диаметр, и работает на сжатие, необходима проверка на устойчивость согласно формуле (2).

Критическое значение тяговой силы определяется по формуле:

$$Q_{кр} = \frac{\pi^2 * E * j}{(V * L)^2} \quad (2)$$

где j- осевой момент инерции сечения винта;
E- модуль упругости материала;
(V * L) – Приведённая длина учитывающая характер заделки концов рабочего участка винта. Для жёстко заделанных концов ходового винта V=0,5.
Если Q_{кр} ≥ Q_{ном} то проверка пройдена, ходовой винт подходит.
Зная необходимый момент на валу, в качестве привода манипулятора был выбран электродвигатель постоянного тока FC 280-PC с характеристиками (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики электродвигателя

№	Параметр	Обозначение	Значение
1	Крутящий момент	М _{кр} (г/см)	48,6
2	Частота	ω (Об/мин)	12500
3	Потребляемый ток	Y _{пот} (А)	0,71
4	Номинальное напряжение	U (В)	12
5	Мощность	Р _{вых} (Вт)	5,52

Для захвата и удержания провода используется тяговый электромагнит постоянного тока. Задавшись необходимым усилием и режимом работы, определяются параметры и габариты электромагнита:

1. Тяговая электромагнитная сила;
2. Номинальное напряжение;
3. Конструкция электромагнита;
4. Ход якоря;
5. Температура окружающего воздуха;
6. Вид охлаждения;
7. Режим работы длительный или длительно кратковременный;

Управление манипуляторами и их координация с работой станка обеспечивается при помощи микроконтроллера. Для данной работы используется микроконтроллер ATmega8. Характеристики микроконтроллера приведены на сайте. Режим доступа:
<http://mega-avr.com.ua/atmega8/> (дата обращения 03.10.2017)

Выводы. В результате расчёта были определены все необходимые параметры и характеристики как механической, так и электрической части установки, выбраны двигатели и электромагниты с подходящими характеристиками, разработано программное обеспечение.

ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Сокут Л.Д.¹, Булатов А.Е.²

к.т.н., доцент, кафедры электроэнергетики и электротехники, Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Sokut36@mail.ru
магистр группы ВЭ-241 кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Введение. В настоящее время часть электроэнергии в электрической сети Республики Крым (РК) вырабатывается на ветровых (ВЭС) и солнечных (СЭС) электростанциях. Наибольший опыт эксплуатации в течение свыше 15 лет получен на ВЭС. Анализ надежности ВЭС и входящих в их состав ветроэлектростанций (ВЭУ) представляет значительный интерес, в частности, с точки зрения роли систем автоматического регулирования (САР) ВЭУ.

Целью работы является анализ состава и работы различных САР в составе ВЭУ.

Методика исследований заключается в анализе и оценке роли различных САР в составе ВЭУ на опыте работы ВЭС РК. В ЭС РК входят ВЭС с ВЭУ типа USW56-100 и Т600-48. Основным показателем надежности ВЭУ в эксплуатации является средняя наработка на отказ. По техническим условиям ВЭУ типа USW56-100 эта величина должна быть не менее 2200 ч. По данным в работе Даниленко А. И. (Оценка показателей надежности эксплуатации ветроэлектрического оборудования промышленной ветровой электростанции) при эксплуатации Сакской ВЭС для 110 ВЭУ средняя наработка на отказ за 10 лет составила 10031 час. Такой показатель говорит о высокой надежности ВЭУ типа USW56-100.

Определенную роль в надежности ВЭУ и удобстве эксплуатации играют несколько различных САР в составе ВЭУ. Система управления ВЭУ является интегрированной, автоматизированной системой, состоящей из двух взаимосвязанных частей – САР для управления работами по техническому обслуживанию и учету работы ВЭУ и САР технологическим процессом ВЭС. Обе части обеспечивают полностью автоматическую работу ВЭУ и ВЭС во всех режимах.

ВЭУ содержит ветротурбину (ВТ) с несколькими лопастями, преобразующую энергию ветрового потока в энергию вращения вала ВТ и электрогенератор (ЭГ), обычно трехфазный асинхронный, преобразующий энергию ВТ в электрическую. В большинстве случаев частота вращения вала ВТ и вала ЭГ не совпадают, т.к. ВТ является тихоходной турбиной с частотой вращения в пределах от 15 до 80 об/мин., а ЭГ, как правило, имеют значительно большую частоту вращения вала, в пределах от 750 до 3000 об/мин. По этой причине между валами ВТ и ЭГ включается повышающий редуктор. ВТ, ЭГ, редуктор и аппаратура управления и защиты размещаются в едином корпусе – гондоле, установленной на башне ВЭУ на высоте H над поверхностью земли. Кинематическая схема ВЭУ приведена на рисунке 1.

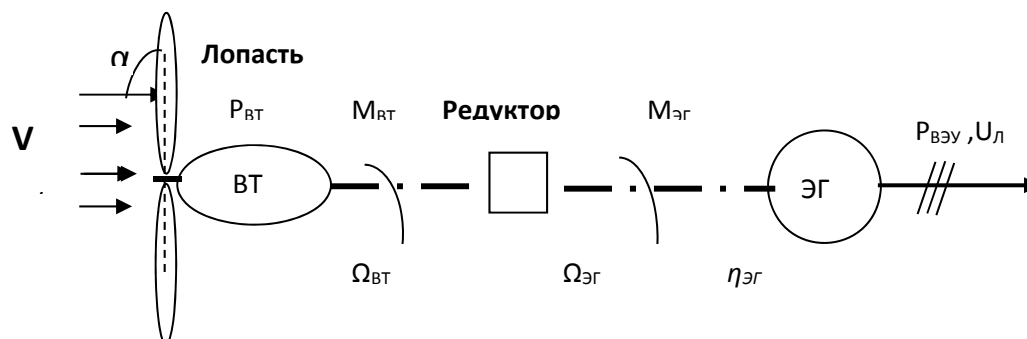


Рисунок 1. Кинематическая схема ВЭУ. $P_{ВТ}$ – выходная мощность ВТ, α – угол поворота лопастей ВТ к направлению скорости ветра, $P_{ВЭУ}$ – выходная электрическая мощность ВЭУ, $U_{Л}$ – номинальное линейное напряжение ЭГ, $\Omega_{ВТ}$, $\Omega_{ЭГ}$ – частота вращения вала ВТ и ЭГ, р/с. $\eta_{ЭГ}$ – КПД электрогенератора.

Современные ВЭУ являются полностью автоматизированными установками, что обеспечивает надежность и удобство в эксплуатации. Основными объектами регулирования ВЭУ является ВТ, в частности, узел управления поворотом лопастей турбины и ЭГ.

Регулируемыми параметрами САР ВТ являются угол поворота лопастей α и, как следствие, скорость вращения вала ВТ – Ω_T . Задача регулирования состоит в стабилизации скорости вращения вала ВТ Ω_T в диапазоне рабочих скоростей ветра V . Регулирование достигается за счет поворота лопастей под соответствующим углом к направлению скорости ветра.

Регулируемыми параметрами САР ЭГ являются следующие:

- скорость вращения вала ЭГ Ω_G (если в составе ВЭУ есть редуктор между ВТ и ЭГ, то величины Ω_T и Ω_G различны, но пропорциональны; если редуктора между ВТ и ЭГ нет, то эти величины одинаковы). Цель регулирования Ω_G – подключение обмоток ЭГ к электрической сети в диапазоне рабочих значений скольжения для трехфазного асинхронного ЭГ;

- сила тока ЭГ – цель регулирования - ограничение допустимого значения тока генератора;

- реактивная мощность Q , потребляемая ЭГ; цель регулирования – поддержание коэффициента мощности ЭГ в заданных пределах за счет подключения компенсирующих конденсаторов, а также информация и регистрация величины Q в функции времени работы ВЭУ.

- напряжение U и активная мощность P генератора ЭГ – цель регулирования – информация и регистрация этих величин в функции времени работы ВЭУ.

Исполнительным элементом ВТ является узел одновременного поворота лопастей ВТ с электроприводом или с гидроприводом, синхронно поворачивающий все три лопасти ВТ на заданный угол α с быстродействием 0,5 град./с.

Исполнительными элементами в системе регулирования ЭГ являются:

- главный линейный контактор с электромагнитным приводом, выполняющий подключение ЭГ к сети при скольжении больше (по абсолютной величине) S_{min} до величины S_{max} и отключающий ЭГ от сети при критическом скольжении $s_{кр}$ и превышении тока ЭГ в этом случае;

- батареи конденсаторов и линейные контакторы с электромагнитным приводом, подключаемые к цепи ЭГ для компенсации реактивной мощности.

Кроме того, в системе предусмотрен ввод информации о скорости и направлении ветра от метеопоста для определения расчетных значений активной и реактивной энергии во время работы ВЭУ.

Для выполнения задач регулирования в элементах ВЭУ установлены датчики скорости вращения вала ВТ и вала ЭГ, датчики тока и напряжения ЭГ, датчики скорости и направления ветра на метеопосте. Системы САР содержат регуляторы скорости вращения вала ВТ, скорости вращения вала ЭГ, величины скольжения, максимального тока двигателя, реактивной мощности.

Кроме того, в системе имеются вычислительные устройства фактической активной и реактивной мощности ЭГ, фактической активной и реактивной энергии за все время работы ВЭУ, расчетных значений активной и реактивной энергии за все время работы ВЭУ по данным измерения скорости ветра, учета времени работы ВЭУ и расчета соответствующих мощностей ВЭУ по аэродинамическим характеристикам ВТ и сравнения фактических и расчетных значений энергии. Отображение всех регулируемых величин производится на экране монитора центрального компьютера. Предусмотрен общий экран (для всех ВЭУ) и конкретный экран (для одной выбранной ВЭУ).

Заключение. Полученный в РК опыт длительной эксплуатации ВЭУ типа USW56-100, несмотря на малую по современным представлениям величину мощности 0,1 МВт, является ценным для развития автоматизированных систем ВИЭ.

ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ И ПАРАМЕТРЫ МОЩНЫХ ВЕТРОВЫХ И СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Тохтаров Д.Э.

*бакалавр кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
научный руководитель: к.т.н., доцент, Сокут, Л.Д.
Sokut36@mail.ru*

Введение. Промышленное развитие в мире определяется развитием производства электроэнергии. Согласно анализу и прогнозу (электронный ресурс.// <http://be5.biz/ekonomika1/r2012/2109.htm>./«Перспективы развития мировой электроэнергетики») в период с 2007г. по 2035 г. объем производства электроэнергии в мире возрастет на 87% — с 18,8 трлн. кВт•ч в 2007 г. до 35,2 трлн. кВт•ч в 2035 г. Согласно этому же прогнозу, до 2035 г. будут использоваться все виды энергоресурсов (уголь, природный газ, жидкое топливо, атомная энергия), но при этом объем возобновляемых энергоресурсов (ВИЭ), таких как солнечная, ветровая, гидроэнергия, геотермальная энергия, будет возрастать быстрее по сравнению с ростом объема невозобновляемых ресурсов. В 2015 г. впервые в истории объем построенных в мире электростанций на базе ВИЭ превысил объем введенной в эксплуатацию традиционных электростанций.

Значительным толчком к дальнейшему развитию ВИЭ является Парижское соглашение по климату, взамен ранее действующему Киотскому протоколу, призванное сократить выбросы парниковых газов и замедлить нагревание Земли.

Среди промышленных ВИЭ наибольшее применение имеют в настоящее время ветровые электростанции (ВЭС) и солнечные электростанции (СЭС).

В данной работе рассматриваются основные параметры и характеристики современных ВЭС и СЭС.

Целью работы является анализ характерных параметров и характеристик ВЭС и СЭС.

Методика исследований заключается в анализе темпов роста установленных мощностей ВЭС и СЭС, расчете коэффициентов использования установленной мощности (КИУМ) на примере таких электростанций в Крыму, изучении методов повышения КИУМ.

Основную долю СЭС составляют фотоэлектрические СЭС на основе фотопреобразовательных батарей (ФБ). Развитие СЭС можно характеризовать ростом объемов выпуска ФБ (с 100 штук в 1976 г. до 1,0 млн. штук в 2016 г.) и снижением их стоимости за это же время от 70 \$/Вт до 0,8 \$/Вт. Предполагается, что в 2017г. рыночные цены на ФБ снизятся до (0,25 - 0,26) \$/Вт.

Характерен ежегодный рост мощности СЭС. В мире и в Европе эта величина в 2015г. составила 51,2 ГВт, в 2016 г. – 76,1 ГВт. В 2016 г. прирост мощности СЭС в сумме свыше 75 ГВт впервые в истории превысил более, чем на 20 ГВт прирост в ветроэнергетике.

Важной особенностью является рост установленной мощности СЭС со средней величины примерно 200 МВт в 2013 г. до 850 – 1200 МВт в 2016 г.

Стоимость мощных СЭС снизилась с 2006 г. за десять лет в три раза. Например, затраты на строительство СЭС в Абу-Даби при установленной мощности в 1170 МВт составили 872 \$ млн, то есть 740 \$ /кВт при средней стоимости в мире 1500 - 2000 \$ /кВт.

По данным Всемирной Ассоциации ВЭС – GWEC – ветроэнергетика как сектор энергетики присутствует в более, чем 100 странах мира, и ежегодно возрастает значительными темпами. Суммарные мощности ВЭС в мире по годам, с 2001 по 2016 г. выросли с 23,9 ГВт в 2001 г. до 486,7 ГВт в 2016 г. Вновь введенные мощности ВЭС в мире выросли с 2013 г. по 2014 г. на 18 ГВт, с 2014 г. по 2015 г. – на 12 ГВт. Существенно растут установленные мощности ВЭС. Например, в США в 2015 г. закончено сооружение ВЭС «Alta Wind Energy

Center» установленной мощностью 1550 МВт. В состав станции входят ВЭУ мощностью 3 МВт (290) и мощностью 1,5 МВт (100).

Значительная часть ВЭС сооружается на шельфе вблизи берегов. В таких оффшорных ВЭС применяются наиболее мощные ВЭУ, до 10,0 – 15,0 МВт.

Основным ограничением использования мощности ВЭС и СЭС, подключенных в единую электрическую сеть (ЭС), является их нестабильность в работе, связанная со случайным характером первичных энергоносителей – энергией ветра и солнечного излучения. При переменном характере вырабатываемой мощности, резких падениях напряжения и перенапряжениях в сети вследствие использования ВИЭ, возникает снижение качества электроэнергии у потребителя. В наибольшей мере ограничение использования мощности касается СЭС, ввиду суточного и квартального изменения мощности солнечного излучения.

На опыте эксплуатации СЭС и ВЭС в республике Крым (РК) можно вычислить изменение мощности первичных энергоносителей этих электростанций. Удельная выходная мощность ВЭС $P_{\text{вых.ВЭС}}$ в течение года находятся в пределах 20 – 40 Вт/м² и мало меняются в течение суток. Удельная выходная мощность СЭС $P_{\text{вых.СЭС}}$ ограничена светлой частью суток, при этом $P_{\text{вых.СЭС}}$ значительно меняется поквартально и в среднем не превышает 70 Вт/м².

При эксплуатации ВЭС и СЭС основным показателем является не установленная мощность электростанций, а коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) в среднем за год, или за квартал. Именно КИУМ отражает нестабильность работы ВЭС и СЭС.

Средняя величина КИУМ определяется и для традиционных электростанций (топливных ТЭС, атомных АЭС) и для мощных гидростанций (ГЭС), в которых колебания стока воды устраняются водохранилищем. В случае ТЭС и ГЭС среднегодовая величина КИУМ составляет 0,7- 0,8, в случае АЭС – до 0,95. Снижение КИУМ меньше 1,0 связано с ремонтными работами на ТЭС и ГЭС, заменой топлива на АЭС, периодически возникающим дефицитом угля и газа на ТЭС, заменой электрооборудования на более современные и т.п.

Средняя величина КИУМ для ВЭС в РК в лучшем случае составляет не более 0,35, а в большинстве случаев равняется 0,15 – 0,25. Средняя величина КИУМ для СЭС в РК (широта местности 45°) за летние месяцы (за квартал) не превышает 0,4 – 0,5, а в целом за год равняется обычно 0,15 - 0,2.

По условиям выполнения суточного графика покрытия нагрузок при достаточной мощности генерации включение СЭС и ВЭС в ЭС производится только в регулируемую и в резервную части графика. Однако при этом требуется тщательная оценка их прогнозируемой вероятностной мощности и определение алгоритма замены за счет других станций.

Опыт эксплуатации СЭС и ВЭС в ЭС в течение 15 лет показывает, что изменить существующее положение с их использованием можно только применением накопителей энергии (НЭ), в частности, химических НЭ – аккумуляторов, которые перешли в разряд полноправных участников рынка мощных ВИЭ. Быстрое увеличение установленной мощности генерации электроэнергии с ВИЭ привело к широкому распространению НЭ во внутренних сетях ВЭС и особенно СЭС.

Роста объема мирового рынка НЭ составляет с 11\$ млрд. в 2013 г. до почти 80 \$ млрд. в 2021 г (прогноз). Прогнозируется, что цена аккумуляторов в составе НЭ снизится до 400 \$/кВт, при этом к 2033 г. общая мощность НЭ на аккумуляторах вырастет до 40 ГВт.

Например, в штате Гавайи США построена в 2016 г. СЭС установленной мощностью 13 МВт с НЭ типа Tesla Powerpack 2 емкостью 52 МВт.ч. Цена электроэнергии этой СЭС составила 0,139 \$/кВт.час. За счет НЭ электростанция может работать 8 часов.

Заключение. Приведенные данные и их анализ показывают непрерывный рост использования ВИЭ для получения электрической энергии в ЭС и все более широкое применение НЭ для обеспечения стабильности и надежности электростанций с ВИЭ.

АНАЛИЗ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В КРЫМУ

Чуйков С.А.

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

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

Введение. В данной работе рассматривается собственная генерация электроэнергии в Крыму, и доля энергии, поступающей от энергосистемы Тамани. Приведены данные по собственному потреблению полуострова и проведен анализ влияния режимов работу на энергосистему. В настоящий момент пиковое потребление электроэнергии в Крыму составляет 1192 МВт (данные на 06.08.2017) и оно продолжает возрастать, в связи с этим необходимо повысить количество собственной генерации электроэнергии либо наладить бесперебойные поставки электроэнергии извне.

Цель и задачи исследований. Целью данной работы является анализ существующей энергосистемы Крыма и оценка возможности покрытия потребления электроэнергии за счет собственных источников в Крыму. Задачей является сопоставление мощностей электростанций и режимов работы энергосистемы.

Методика исследований. Методика исследований заключается в теоретическом анализе имеющихся данных по потреблению и производству электроэнергии и графическому сопоставлению с режимами работы.

Результаты исследований, их краткий анализ. Данные по собственной генерации электроэнергии в Крыму приведены в таблице 1.

Таблица 1. Доля собственной генерации

Первичные энергоносители	2013		2014		2015		2016	
	млн. кВт*ч	%	млн. кВт*ч	%	млн. кВт*ч	%	млн. кВт*ч	%
Всего	7128	100	5416	100	5158	100	7154	100
Собственная генерация	1171	16,43	11306	20,87	1336	25,90	2779	38,85
Теплоэлектроцентрали	828	11,62	678,2	12,52	708	13,73		
МГТЭС	—	—	169	3,13	165	3,2		
Возобновляемые источники	343	4,81	280,3	5,17	462	8,96		
Ветряные электростанции	46	0,65	114,9	2,12	137	2,66		
Солнечные электростанции	297	4,17	165,4	3,05	325	6,3		

Из таблицы 1 видно что в 2016 по сравнению с 2013 годом процент собственной генерации вырос на 22,42 % что составляет 1608 млн.кВт*ч в год. Более стабильное электроснабжения осуществляется с помощью традиционных электростанций к которым относится тепло электро централи (ТЭЦ) и мобильные газотурбинные электростанции (МГТЭС). Так как Крым географически расположен в климатической зоне благоприятной для использования возобновляемых источников энергии, таких как ветровые (ВЭС) и солнечные (СЭС) электростанции, на полуострове имеется ряд таких станций. Проблемой таких электростанций является нестабильность генерации электроэнергии. У ВЭС она обусловлена

зависимостью от скорости и направлении ветра, у СЭС – зависимостью интенсивности падающего солнечного излучения изменяющегося в течение суток, месяца, года. Например коэффициент неравномерности генерации электроэнергии ВЭС в зимний период составляет 0,51, в межсезонье 0,27, в летний период 0,16. Если рассматривать нестабильность совместной работы ВЭС и СЭС то цифры примут следующий вид: зимний период составляет 0,39, в межсезонье 0,21, в летний период 0,14.

Часть электроэнергии в Крым поступает из энергосистемы материковой части России, график перетока которой показан на рисунке 1.

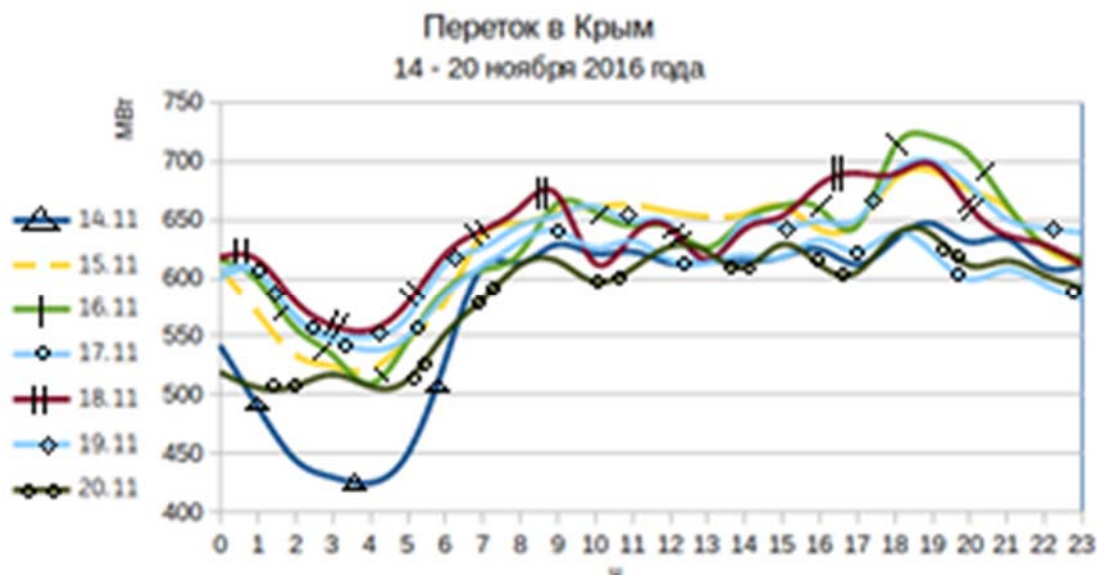


Рисунок 1. Переток мощности в Крым через «энергомост»

Процессы потребления и генерации электроэнергии происходят одновременно, поэтому задачей при электроснабжении потребителей является обеспечить более высокий уровень генерации, по сравнению с потреблением, что обеспечить резерв на случай внезапного увеличения нагрузки. Также необходимо учесть потери электроэнергии при ее трансформации, и протекании по линиям электропередачи (ЛЭП). При составлении планов генерации электроэнергии учитываются режимы работы электростанций и уровень потребления. Результатом планирования является составление графиков где по оси абсцисс указываются время суток, а по оси ординат суммарная мощность всех электростанций с указанием доли генерации. Особенностью графика для Крыма является то, что уровень собственной генерации ниже уровня потребления, поэтому при регулировании частоты и напряжения в сети необходимо учитывать, что балансирующие станции могут располагаться, в том числе, за пределами Крыма.

Выводы. Таким образом, в работе был проведен анализ генерации электроэнергии в Крыму, рассмотрены вопросы нестабильности поступления электроэнергии от СЭС и ВЭС. Результатом работы стало составление суточных графиков.

ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Коверниченко Л.Ю

*магистр кафедры электроэнергетики и электротехники, Физико-технический институт
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»*

Научный руководитель: к.т.н., доцент Л.Д Сокут

Введение. Рост производства электроэнергии в настоящее время определяет промышленное развитие в мире. Согласно анализу и прогнозу в период с 2007 г. по 2035 г. объем производства электроэнергии в мире возрастет на 87% — с 18,8 трлн. кВт•ч в 2007 г. до 35,2 трлн. кВт•ч в 2035 г. (электронный ресурс.// [http:// be5.biz>ekonomika1/r2012/2109.htm](http://be5.biz>ekonomika1/r2012/2109.htm)./«Перспективы развития мировой электроэнергетики»). В производстве электроэнергии используются различные источники энергоресурсов – традиционные, невозобновляемые (НИЭ), такие как уголь, газ, атомная энергия, и возобновляемые (ВИЭ), солнечная, ветровая, гидроэнергия, геотермальная энергия и другие. Согласно прогнозам до 2035 г. объем ВИЭ будет возрастать быстрее по сравнению с ростом НИЭ, причем в составе ВИЭ уже широко применяются и далее будут значительно больше применяться накопители энергии (НЭ).

Целью работы является анализ применения НЭ в составе электростанций с ВИЭ.

Методика исследований заключается в анализе и оценке электрических генерирующих установок с ВИЭ в республике Крым (РК) с целью повышения эффективности электрических сетей (ЭС). РК располагает наибольшим в РФ количеством электростанций с использованием ВИЭ. В РК построены ветроэлектростанции (ВЭС) и солнечные электростанции (СЭС) общей установленной мощностью свыше 450 МВт. Среднегодовой коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) равен для ВЭС и СЭС от 0,15 до 0,3. Даже при такой малой величине КИУМ располагаемые мощности ВЭС и СЭС в общей электросети РК составляют до 50 МВт.

Установленная мощность электростанций, действующих на территории энергосистемы РК и г. Севастополя, на конец 2014 года составила 809,56 МВт, в том числе: тепловые электростанции (ТЭС) - 490,8 МВт, ВИЭ - 318,76 МВт (из них СЭС - 230,35 МВт, ВЭС - 88,41 МВт). Однако, фактическая мощность, выдаваемая в ЭС ВИЭ значительно ниже. ВИЭ включает в себе риски в обеспечении надежности энергоснабжения. Необходимо внедрять ВИЭ лишь в комплексе с традиционными надежными источниками электроэнергии. Ограничением использования систем ВИЭ на данный момент является их нестабильность в работе. Выработка ВЭС и СЭС сильно зависит от погодных условий. Интенсивность солнечного излучения носит циклический характер. Скорость ветра и его направление имеют переменный характер. При переменном характере вырабатываемой мощности, резких падениях напряжения и перенапряжениях в сети, вследствие использования ВИЭ, возникают такие проблемы, как несинусоидальность напряжения и снижение качества электроэнергии у потребителя.

В целом энергетическая безопасность РК зависит от доли мощности ВИЭ по отношению к традиционной энергетике. Использование ВЭС и СЭС в суточном графике покрытия нагрузок (СГПН) ЭС предусматривается, в основном, только в резервной части графика из-за случайного характера мощности первичных энергоносителей в течение суток. В наибольшей мере ограничение использования мощности касается СЭС, ввиду суточного изменения мощности солнечного излучения. Сохранение мощности ВЭС и СЭС только в резервной части СГПН значительно ухудшает эффективность использования этих электростанций по всем показателям. В условиях дефицита генерирующих мощностей в электросети РК невозможность устойчиво использовать мощности ВЭС и СЭС в регулируемой части СГПН снижает надежность электроснабжения потребителей.

Ни одна из существующих СЭС и ВЭС РК не может вырабатывать мощность при полном отсутствии напряжения в энергосети, особенно без тщательной подготовки к внезапному отключению. Это означает, что при номинальной мощности СЭС и ВЭС около 450 МВт, во время подобных аварийных ситуаций в ЭС они не могут выдавать мощность, что подтвердилось на практике.

Изменить существующее положение с использованием ВЭС и СЭС и существенно повысить эффективность использования их номинальной мощности в электросети РК можно только применением НЭ. Химические НЭ – аккумуляторы (АК) широко распространены в автономных электросетях малой мощности со времени использования ВИЭ, а в настоящее время АК все шире применяются в сетях большой мощности, что подтверждает актуальность темы. Расширение использования НЭ в системах большой мощности обусловлено, в основном, двумя причинами. Во-первых, рост мощности ВЭС и СЭС и увеличение доли энергии, производимой ВИЭ к 2030 году, до 30% от общего количества энергии традиционных электростанций. При таком соотношении производства энергии НИЭ и ВИЭ устранение перечисленных выше недостатков ВИЭ в общей ЭС невозможно без надежных НЭ в составе ВИЭ. Во-вторых, в последнее десятилетие происходит быстрый рост мощности и емкости новых химических АК различного назначения для применения в автомобильной промышленности, на морских и речных судах, в военной технике, в системах автоматизации, а также для обеспечения временного электроснабжения потребителей при различных аварийных ситуациях. На базе новых типов АК получили широкое распространение НЭ, создаваемые по модульному принципу для выравнивание графиков нагрузки в сети (накопление электрической энергии в периоды наличия избыточной (дешевой) энергии и выдачу в сеть в периоды дефицита; для обеспечения бесперебойного питания особо важных объектов, собственных нужд электростанций и подстанций; демпфирование колебаний мощности, стабилизация работы малоинерционных децентрализованных источников электрической энергии.

Например, система НЭ на базе литий-ионных батарей Винстон производства РФ является хранилищем, состоящим из мощных литий ионных батарей. Система имеет небольшой саморазряд, в отличие от традиционных свинцово кислотных батарей. Литий-ионные батареи, которые используются в хранилище, требуют одинарную зарядку от присоединенной сети, например, СЭС или ВЭС, а затем могут использоваться для резервного хранения в течение года, во время которого нет необходимости дозарядки. С помощью этого хранилища можно сгладить пик сетевых нагрузок, сбалансировать энергетические потребности и обеспечить безопасность эксплуатации ЭС.

В РФ выпускаются НЭ различной мощности, например, 100 КВт, 1,0 МВт и 5,0 МВт. НЭ можно держать в заряженном виде и законсервированном состоянии, самостоятельная скорость разряда: менее 2% в месяц.

Расширяется выпуск и применение сетевых НЭ на базе литий – железо - фосфатных АК. Например НЭ большой емкости "под ключ" типа KESS для систем резервного питания в сетях СЭС и ВЭС и в магистральных ЭС имеет промышленное исполнение, номинальную мощность 1,78 МВт, включает в себя системы климат-контроля, защиты и контроля работы НЭ. Применение НЭ во внутренней сети СЭС не требует дополнительного оборудования, так как в составе энергоблоков СЭС имеются трехфазные мостовые преобразователи, которые могут быть переведены в режим выпрямления тока от сети изменением регулирования управляемых элементов. В ночное время при избытке энергии в сети такой режим может обеспечить зарядку АК. Применение НЭ во внутренней сети ВЭС требует включения дополнительных преобразователей для заряда и разряда АК. Усложнение устройства внутренних сетей СЭС и ВЭС и увеличение стоимости при пользовании НЭ будут полностью компенсированы надежностью работы СЭС и ВЭС в сети.

Заключение. Применение НЭ в составе СЭС и ВЭС при постоянном росте мощности является необходимым условием их надежной эксплуатации в ЭС.

СЛАБОКОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ СОЛНЕЧНЫЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Коба А. А.

студент группы ВЭ-241 Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н. Химич А.П.

Введение. Производство солнечной энергии с помощью фотоэлектрических преобразователей осуществляется в различных условиях освещения. Наиболее распространенные и дешевые фотоэлементы (ФЭ) изготавливаются из кремния и чаще всего не рассчитаны на работу в сильно концентрированном солнечном свете. Специальные многопереходные ФЭ на основе соединений GaAs, InP и других бинарных полупроводников зачастую могут применяться в концентрированном световом потоке, но имеют высокую стоимость.

Из-за низкого коэффициента полезного действия (КПД) кремниевых солнечных батарей значительная часть солнечной энергии превращается в тепло. Если увеличить концентрацию в несколько раз, то есть получить слабоконцентрированный солнечный свет, можно повысить тепловой поток, отводимый от ФЭ до значений, при которых его можно будет полезно использовать для нужд водоснабжения и теплоснабжения.

Цель и задачи работы. Целью работы является определение перспектив применения слабых концентраторов в солнечных установках для повышения эффективности преобразования солнечного света в электроэнергию и тепловую энергию.

Задачи данной работы включают: изучение существующих технических решений для получения слабоконцентрированного солнечного излучения, определение типов концентраторов, пригодных для использования совместно с ФЭ, разработка концепции охлаждения солнечных элементов с возможностью получения полезной тепловой энергии.

Концентраторы по способу собирания солнечной радиации можно разделить на преломляющие (линзы, линзы Френеля) и отражающие (зеркала с образующими различной формы). По степени концентрации системы можно разделить на сильно-концентрирующие (более 100 крат), средней концентрации (10–100 крат) и слабо-концентрирующие (менее 10 крат).

Слабоконцентрирующие системы применяются главным образом для повышения освещённости модулей (групп) или панелей СЭ, в связи с чем важным требованием к их выходным энергетическим характеристикам является обеспечение равномерного распределения плотности лучистого потока на приёмной поверхности. С этой точки зрения весьма привлекательными являются концентраторы с плоскими отражающими поверхностями. В группе систем с расположением приёмника в проходящем потоке и прямолинейными образующими к их числу относятся двухгранные концентраторы, получившие название плоских фоклинов, и многогранные (преимущественно четырёхгранные) системы.

Одно из важных достоинств систем с плоскими отражающими поверхностями связано с возможностью поддержания равномерной облучённости приёмника при неточной ориентации системы на Солнце и деформации отражающих поверхностей.

Многосекционные плоские концентраторы также могут применяться для создания солнечных потоков с 3-5 кратной плотностью потока излучения. В них образующая отражающей поверхности представляет собой ломаную линию, где каждый отрезок соответствует одной из секций боковой грани. Угол наклона и ширина секций выбираются из условия однократного отражения и равномерного освещения поверхности приемника.

Приведенные типы концентраторов не требуют высокой точности изготовления зеркальной поверхности и высокой точности ориентации отражателя на Солнце. Существенным недостатком систем с зеркалами является трудности при работе в условиях

ветра – зеркала повышают общие габариты системы и создают дополнительную площадь ветровой нагрузки. Применение линз Френеля позволяет создать более компактное концентрирующее устройство.

Величиной, оказывающей влияние на интенсивность облучения ФЭ, является угол падения солнечных лучей на его поверхность. Увеличить количество мощности, пришедшей на поверхность ФЭ можно изменяя угол в зависимости от положения Солнца. Для этой цели применяются системы слежения. Они бывают одно- и двухосевого типа. Для изменения положения системы слежения использует двигатели, работающие посредством микроконтроллеров, микропроцессоров и других средств автоматизации. Также существуют работы по созданию систем слежения без применения движущихся компонентов, где коэффициент преломления линз меняется за счет изменения напряженности электрического поля.

Для отвода тепла от ФЭ и полезного его использования необходимо обеспечить как можно более высокий коэффициент теплопередачи между ФЭ и теплоносителем. Для решения этой задачи предлагается использовать теплообменник, расположенный под ФЭ. В качестве теплообменного аппарата может использоваться рекуперативный теплообменник змеевикового типа. Для лучшей передачи тепла к трубам очень важно обеспечить максимальный контакт ФЭ с трубами.

На рисунке 1 изображена концепция слабоконцентрирующей солнечной когенерационной энергоустановки.

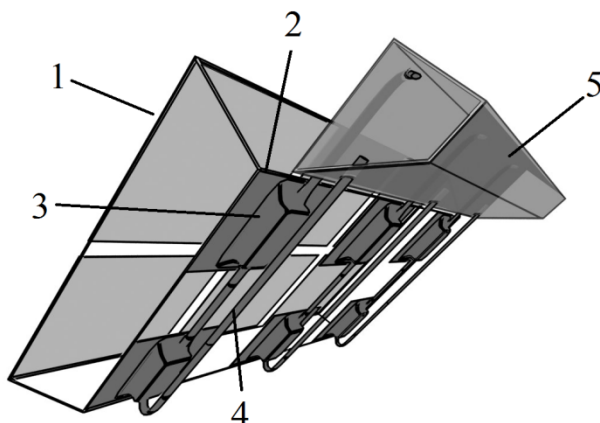


Рисунок 1. Слабоконцентрирующая солнечная когенерационная установка

Солнечное излучение поступает на концентратор 1. Сконцентрированные лучи поступают на поверхность ФЭ 2, за счёт чего происходит выработка электроэнергии, которая передаётся на блок управления (контроллер заряда). Тепло, полученное при нагреве ФЭ, передаётся на теплообменник 3, где оно отбирается теплоносителем (вода или хладагент) и по трубкам 4 поступает в накопительный бак (бак-аккумулятор). Здесь теплоноситель охлаждается и через трубки 4 снова поступает в теплообменник 3.

В связи с тем, что установка направлена на выработку электрической энергии, планируется сделать гелиосистему с естественной циркуляцией. Такая система не содержит в своей конструкции насос, благодаря чему она не потребляет электроэнергию и является более энергонезависимой.

Выводы. Предложена конструкция слабоконцентрирующей когенерационной энергоустановки, позволяющей повысить эффективность солнечных батарей благодаря системе охлаждения и возможности использовать нагретую воду на нужды горячего водоснабжения. Планируется выполнить конструкционный расчет и создать макет установки, а также провести исследования по определению эффективности её работы.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Белов А.С.

студент кафедры электроснабжения и физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н., доцент Муровский С.П.

адрес электронной почты: cs411@mail.ru

Современная энергетическая политика России направлена на повышение энергоэффективности, особенно, это актуально в энергодефицитных регионах страны. Крымский полуостров относится к таковым. Благодаря своему удачному географическому положению, что характеризуется высоким показателем объема суммарного солнечного излучения (в ясный солнечный день среднесуточный показатель доходит до $7 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$), на полуострове становится возможным замещать традиционные источники энергии, в особенности, тепловые, альтернативными. Наиболее распространёнными в этом плане являются солнечные коллекторы, которые преобразуют солнечную энергию в тепловую. Однако, на данный момент гелиосистемы не сильно распространены на территории Крымского полуострова, что обусловлено рядом причин, в особенности, высокими затратами на установку данной системы, а также рядом конструктивных недостатков, которые снижают эффективность, а соответственно, окупаемость реализуемых проектов.

Существуют 2 вида солнечных коллекторов: плоские и вакуумные. Плоские солнечные коллекторы довольно просты по конструкции, но имеют ряд существенных недостатков, которые делают данный вид коллекторов неэффективным в холодное время года, когда температура окружающей среды и уровень солнечного излучения довольно низкие. Вакуумные коллекторы существенно отличаются по конструкции и за счёт наличия вакуума, который выполняет функцию теплоизоляции, становятся более эффективными в период межсезонья. Однако, вакуумный коллектор существенно дороже плоского. Исходя из этого, становится актуальным вопрос усовершенствования конструкции плоских солнечных коллекторов и доведения эксплуатационных характеристик до показателей вакуумных при минимальных изменениях стоимости.

В качестве одного из вариантов возможно усовершенствование конструкции за счёт создания вакуума между прозрачной изоляцией и абсорбером. Вакуум позволит снизить до минимума тепловые потери в окружающую среду. Но стоит отметить, что данное конструкционное усовершенствование имеет ряд недостатков. За счёт создания разности давлений между окружающей средой и пространством внутри солнечного коллектора возникает прогибание прозрачной изоляции, что требует создания дополнительных конструкций, которые уменьшат полезную площадь поглощения солнечного излучения, снижая эффективность гелиосистемы.

Альтернативой плоского вакуумного коллектора может выступать газонаполненный плоский коллектор. Внутри корпуса вместо вакуума закачивается инертный газ, который имеет хорошие теплоизоляционные свойства. В сфере энергоэффективности и теплоизоляции наиболее распространены аргон, ксенон и криптон. Эти инертные газы довольно активно используются при изготовлении стеклопакетов, что обусловлено их высокой плотностью и вязкостью по сравнению с воздухом. Благодаря этим показателям уменьшаются конвекционные процессы, а, следовательно, и тепловые потери в окружающую среду.

Рассмотрим основные параметры этих газов и воздуха, представленных в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры воздуха и инертных газов

Параметры при $T=21^{\circ}\text{C}$ и давлении $P=0,1\text{МПа}$	Криптон	Аргон	Воздух
Вязкость $\times 10^{-6}$, Па·с	25,233	22,493	18,158
Плотность, кг/м ³	3,43	1,64	1,18
Теплопроводность, Вт/м ² ·К	0,0095	0,0177	0,0259

Как видно из таблицы 1, теплопроводность аргона меньше теплопроводности воздуха в 1,8 раза, а теплопроводность криптона в 2,6 раза. А большой показатель плотности криптона обеспечивается за счёт большого размера молекул газа, что приводит к замедлению естественной улетучиваемости на протяжении срока эксплуатации солнечного коллектора.

Данное нововведение не требует больших конструкционных изменений. Необходима установка патрубка для подключения средства вакуумирования и закачки инертного газа, запорного крана и обеспечить герметичность корпуса для исключения утечки газа. Внесение этих конструкционных изменений и заполнение корпуса коллектора аргоном или более эффективным криптоном не приведет к существенному удорожанию производства данного компонента гелиосистемы, сохранив при этом сравнительно низкую стоимость по отношению к вакуумным солнечным коллекторам, но при этом сохранит полезную площадь поглощения селективного покрытия абсорбера по сравнению с вакуумным солнечным коллектором, который требует установку дополнительных опор для прозрачной изоляции. Существенное снижение тепловых потерь позволит сделать газонаполненный плоский солнечный коллектор эффективным в холодное время года, повысить температуру нагрева теплоносителя и, в целом, повысить КПД. Не стоит так же забывать и о безопасности использования данных газов при изготовлении солнечных коллекторов. Оба инертных газа не являются токсичными для человека и окружающей среды и их использование вполне безопасно.

Все вышеприведенные аргументы говорят о целесообразности использования инертных газов и их смесей для усовершенствования эксплуатационных характеристик солнечных коллекторов и позволят существенно повысить коэффициент использования солнечной энергии для нагрева теплоносителя путём снижения тепловых потерь.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНОЙ ЛЭП

Новиков В.А.

студент группы ВЭ-141 Физико-технического института КФУ
научный руководитель: Воскресенская С.Н.

Введение. Линии электропередач являются неотъемлемой частью электрических сетей. К их проектированию необходимо подходить крайне ответственно ведь строительство линий электропередач сложная задача, включающая в себя проектирование, производственные работы и монтаж. К современным ЛЭП предъявляют целый ряд требований: максимальная пропускная способность, эффективное использование выделенной под строительство площади, соответствие всем нормативам по уровням напряженности электрических и магнитных полей, а также стремится к максимальной эффективности при минимальных капитальных затратах на их возведение и эксплуатацию. Поэтому каждая отдельная воздушная линия проектируется отдельно после проведенного анализа на наиболее оптимальную конструкцию. Каждая воздушная линия электропередач состоит из следующих

элементов: провода, траверсы, изоляторы, арматура, опоры, грозозащитные тросы, разрядники, заземление, секционирующие устройства, волоконно-оптические линии связи, вспомогательное оборудование для нужд эксплуатации, элементы маркировки высоковольтных проводов и опор ЛЭП для обеспечения безопасности полётов воздушных судов.

Цель и задачи. Целью данной статьи является анализ наиболее распространенных конструкции воздушных линий электропередач для создания рекомендаций в их выборе.

Основные задачи:

- изучить основные конструкции линий электропередач
- выполнить анализ выбранных конструкций
- сделать выводы и составить рекомендации по их использованию.

Результаты исследований. В работе были изучены основные типы конструкций линий электропередач, рассмотрены её основные компоненты и влияние их на окружающую среду и среды на конструкцию. Основной частью воздушной линии электропередач является непосредственно сама опора. Выполняется она может из таких материалов как дерево, сталь и железобетон. Чаще всего опоры выполняют как А-образные, П-образные, столбовые, АП-образные мачты (схематическое обозначение изображено на рис.1).

№ п/п	Тип опоры	Обозначение
1	Опора	О
2	Специальная	
3	Типа «Рюмка»	
4	«В» - образная	
5	«П» - образная	
6	«А» - образная	
7	«Свечка»	

Для получения результатов расчет исходит из связи геометрических параметров линии при условии фиксации максимальной величины напряженности электрического поля на поверхности проводов на некотором уровне, при котором выдерживается условие отсутствия общей короны на поверхности фаз линии при хорошей погоде. Определение параметров линии будем производить упрощенно, без учета влияния земли, тросов и пренебрегая магнитным полем внутри составляющих расщепленных фаз. На основе полученных данных был проведен анализ, на основе которого были составлены рекомендации по применению различных конфигураций в разных условиях.

Выводы. В данной работе после проведения анализа были получены данные для составления рекомендаций.

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ЛОДОЧНОЙ СТАНЦИИ В Г. ЕВПАТОРИЯ С ПОМОЩЬЮ ВИЭ

Бабяр А.И.

студент группы ВЭ-141 Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.т.н., профессор Бекиров Э.А.

Введение.

Развитие альтернативной энергетики – стратегическая необходимость, важнейший шаг для обеспечения энергетической безопасности Крыма. Все ведущие мировые аналитические центры и правительственные источники подтверждают существование опасности возникновения отставания добычи традиционных энергоресурсов, в первую очередь нефти, от спроса. Разные ученые называют разные сроки возникновения дефицита, однако все согласны с тем, что в ближайшие 2 десятилетия цены на нефть и газ будут лишь расти. Весь вопрос – в темпах этого роста.

Солнечные электростанции способны обеспечить потребителя электроэнергией практически в любом месте на Земле, не вызывая эмиссии вредных газов в атмосферу и не ведя к изменению климата.

Цель и задачи исследований.

Цель работы – рассчитать и спроектировать систему электроснабжения лодочной станции.

Основные задачи:

- расчет электрической нагрузки и освещения, графики нагрузки;
- расчет интенсивности солнечного излучения, падающего на поверхность солнечных батарей;
- расчет требуемого количества солнечных батарей;
- разработка схемы системы солнечного электроснабжения;
- расчет количества требуемых аккумуляторных батарей, инвертора, контроллера, соединительных кабелей, заземления;
- графики и функциональные зависимости, отображающие влияние температуры на выходные параметры солнечных батарей;
- выбор автоматических выключателей, устройства автоматического ввода резерва;
- автоматизация системы электроснабжения;
- расчет технико-экономических показателей.

Для решения поставленных задач использовались следующие методы: картографический, аналитический, математическое моделирование, системный анализ. С целью решения конкретных прикладных задач использовались современные программные комплексы, такие как: Excel, а также метод графического моделирования в программе AutoCAD.

Результаты исследований, их краткий анализ.

В ходе работы была составлена

Функциональная схема системы автономного электроснабжения лодочной станции

Для лодочной станции

Были выбраны солнечные батареи INVERTA-SOLAR-170-24

общая мощность 3.8кВт

Аккумуляторы были выбраны DeltaDTM 12200

напряжение номинальное -192В, номинальный ток -25А (свинцово кислотные)

Была выбрана система заземления TN-C-S.

Система защитного заземления TN-C-S лучше защитного заземления TN-C тем, что при отгорании нейтрали в стояке здания, на корпусах электроприборов не появится опасный потенциал перекоса фаз.

В проект добавлена система автоматического регулирования

Система автоматического регулирования (САР) вводится в систему электроснабжения с использованием фотоэлектрических модулей для облегчения

Вывод.

Для развития фотоэнергетики требуется серьезная помощь государства в виде специальных государственных программ, целевого финансирования. Но, даже при отсутствии подобных программ, применение фотопанелей для электроснабжения в скором времени может стать более рентабельным в связи с ростом цен на электроэнергию и исчерпаемостью традиционных источников энергии, развитием технологии производства фотопанелей, повышением их КПД, снижением стоимости кремниевых батареи, ухудшением экологической ситуации.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

Поляновский Д.В.

студент кафедры электроэнергетики и электротехники

Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.т.н., Бекиров Э.А.

Введение. На текущий момент одной из основных проблем в энергосистеме является обеспечение качества электроэнергии. Качество электроэнергии – степень соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям. В свою очередь параметр электрической энергии – величина, количественно характеризующая какое – либо свойство электрической энергии (например: напряжение, частота, форма кривой электрического тока). Качество электрической энергии является составляющей электромагнитной совместимости, характеризующей электромагнитную среду («Возобновляемая энергетика» Бекиров Э. А. 2016.; М. Е. Евсеев «Теоретические основы электротехники»).

Качество электросети может меняться от времени суток, а именно нагрузки в вечернее время, от погодных условий, изменения нагрузки энергосистемы, возникновение аварийных режимов в сети и т.д. при снижении качества пострадает электроприемник, а дальше уменьшение производительности рабочих механизмов, далее ухудшение качества продукции, а там и аварии. Дабы всего этого избежать у поставщика электроэнергии (в точке подключения сети) определяются коэффициенты гармонических искажений напряжений и токов. Если значения превышают стандарты, то в основных точках обязаны быть установлены специальные устройства для снижения коэффициента гармонических искажений (КГИ) напряжений и токов до уровня, соответствующего стандарту. Анализируя результат качества энергосети, проектировщик может ввести устройства по компенсации реактивной мощности. А также, можно найти наиболее уязвимые участки, и при необходимости выполнить рекомендации по той или иной проблеме. На текущий момент существует множество различных программ по анализу гармонических составляющих, например: «TFastFourier», «FourSynthesis», «FFTAnalysis» («Возобновляемая энергетика» Бекиров Э. А. 2016; М. Е. Евсеев «Теоретические основы электротехники»; <http://ru.wikipedia.org>; <http://fb.ru>)

Программа TFastFourier имеет возможность преобразовывать наборы данных до 16 млн. выборок в обоих направлениях и предлагает несколько наиболее важных программных функции (например, Хэмминга, Блэкмана, косинус квадрат, треугольник и др.). Данная

программа вычисляет действительную и мнимую части (XX и квадратура), спектр мощности, величина и фаза спектра. Источник ввода данных только программный. Плюсы программы: готовые модели сигналов, простое меню, очень большое преобразование выборок. Недостатки: очень маленький функционал, очень мало функции сигналов, отсутствует пользовательский ввод сигнала. Следующая программа FourSynthesis показывает, как использовать обратное «Быстрое преобразование Фурье» блока Фурье, синтезировать волны. Пользователь может изменить коэффициенты ряда Фурье и сразу видит эффект сигнала. Источник сигнала программа. У неё удобный интерфейс, возможность регулировки сигнала, удобный экран графика. Недостатки: нефункциональная, отсутствует ввод данных сигнала вручную. FFTAnalysis – отображает Фурье – спектр периодического сигнала. Пользователь может управлять уровнем шума и частотой одного из компонентов сигнала. Источник ввода данных – программа. Преимущества данной программы: возможность регулировать сигнал с помощью двух регуляторов, возможность менять результат с помощью дополнительных типов (<http://www.lohnninger.com/fourier.html>).

Цель и задачи исследований. В результате исследований получили, что нужно создать программу, которая должна быть максимально простой, обеспечивать высокую точность вычислений и быть удобной в использовании для того, чтобы она была способна конкурировать с уже существующими подобными программными продуктами.

Методика исследований. Для данной программы было решено использовать язык программирования VB.Net. VB.Net – это объектно-ориентированный язык программирования, который можно рассматривать как новое направление VisualBasic, реализованный на платформе Microsoft.NET. Данный язык не имеет совместимости с VisualBasic 6.0 так как относится уже к новой отрасли программирования и поэтому приходится применять различные конверторы кода. Этот язык очень удобный, прост в использовании, не требует процедур оптимизации, низкоуровневости. Имеет новые средства структурной обработки, новые виды операторов, новые обороты цикла, операции сдвига для целых чисел, новые логические операции AndElse, OrElse и новый комплект стандартных функций работы с элементами управления. Как и у любых проектов у него есть и минусы, пожалуй, самым главным из которых является отсутствие библиотек. К примеру, у C++ эти библиотеки имеются, причем нет необходимости в подключении их к вычислительному процессу (Visual Basic 2010 «Освой сам»; <http://ru.wikipedia.org>).

Результаты исследований. Была создана математическая модель и программа для анализа качества электросети. Работа началась с простой программы, которая представляла собой главное окно, график, кнопку «Рисовать» и «Интеграл». Для задания функции пользователь нажимает на кнопку «Рисовать», рисует какую-либо кривую или любой график, можно даже прямую, и нажимает на кнопку «Интеграл». Программа производит расчет и моментально выдает результат. Программа была очень простой, но имела ограниченное количество функций. Было решено расширить ее возможности, для чего проанализировано большое количество литературы и выделены наиболее важные направления развития. На следующем этапе была создана первая версия программы по анализу гармонических составляющих. Она представляла собой главное окно, множество готовых функции, систему координат, кнопку «симуляция» и «результат». В данной программе можно было выбирать любую модель сигнала от 1 до 20, нажать «Симуляция» увидеть сигнал. Благодаря функции Random каждый раз точки имели новые значения. Была добавлена возможность вывода результирующих значений, а именно коэффициентов Ак, Вк. Кроме того, был реализован ввод данных графическим методом, процедура которого достаточно сложна, и была решена благодаря построению интерполяционного полинома. Интерполяционный полином Логранжа – это математическая функция, позволяющая записать полином n – степени, который будет соединять все заданные точки из набора значений, полученных опытным путем или методом случайной выборки в различные моменты времени с непостоянным временным шагом измерений. Таким образом, точки были сохранены в массив, далее переведены в тип Chart, т.е.

диаграмма и отображались на экране. Далее при нажатии «Результат» результат отображается внизу в виде коэффициентов. Для обеспечения регулирования количества гармоник, а именно максимум. Далее были добавлены счетчики или их называют NumericUpDown. С помощью второго счетчика можно было выбирать какая именно гармоника нам нужна и увидеть её результат. Кроме того, была добавлена функция ввода данных с помощью таблицы. В основном окне ставим галочку «Ввод данных», переходим в окно ввода данных вручную, далее жмем кнопку «Ввод данных таблицей» и вводим наши данные. Далее график строится по точкам маркерам и переводится в тип Chartна главное меню, при нажатии на кнопку «Результат» получаем наш результат в виде коэффициентов A_k , B_k . Для более подробного анализа введены функции нахождения угла φ и амплитуды A_m . («Возобновляемая энергетика» Бекиров Э. А. 2016; Visual Basic 2010 «Освой сам»; <http://ru.wikipedia.org>).

Выводы. В результате удалось создать программу по анализу гармонических составляющих токов и напряжений. Данная программа получила необычный спектр возможностей, а именно: ввод данных таблицей, графическим методом, метод ввода сигнала с помощью моделей сигнала. Более точная и очень быстрая в расчете, более простая в использовании.

ДВУХПОДРЕШЕТОЧНЫЙ ОБМЕННО АНИЗОТРОПНЫЙ НЕМАТИК С $S=1$

Kosmachev O.A., Krivtsova A.V., Fridman Yu.A.
V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 295007, Simferopol, Russia
lkosma@crimea.edu

Основной спецификой негейзенберговских спиновых систем является квантовая редукция спина, что проявляется в существовании таких состояний, в основном состоянии которых средний спин равен нулю – т.н. нематики. В динамике таких систем возникают специфические моды, связанные с включением мультипольных степеней свободы.

Наряду с исследованием влияния высших инвариантов на свойства изотропных спиновых систем, представляет интерес исследование обменно-анизотропных моделей. Одна из простых моделей, предложенная для описания термодинамических свойств смеси He(III) и He(IV) в окрестности критической точки, это обобщение изинговской модели с учетом биквадратичного взаимодействия – т.н. модель Блюма-Эмери-Грифитца [1]. Учет анизотропного обменного взаимодействия оказывает существенное влияние обменной анизотропии на динамику системы, а также на формирование специфических фазовых состояний.

В случае отрицательных обменных взаимодействий возникают разнообразные двухподрешеточные фазовые состояния: коллинеарная антиферромагнитная фаза, ортогональная нематическая фаза [2].

Целью данной работы является выяснение влияния отрицательного анизотропного обменного взаимодействия на формирование фазовых состояний и динамику магнетика со спином магнитного иона $S=1$.

Анализ плотности свободной энергии позволил определить фазовые состояния, реализующиеся в случае отрицательных значений констант обменного взаимодействия. В случае преобладающего билинейного обменного взаимодействия в зависимости от соотношений параметров анизотропии реализуются осевое, плоскостное и угловое антиферромагнитное упорядочение. Исследование статистики и динамики системы показывает, что в зависимости от того устойчива или нет угловая фаза переход от осевого к плоскостному антиферромагнетизму происходит с непрерывным изменением направления и модуля намагниченностей подрешеток либо скачком.

В случае большого по модулю биквадратичного взаимодействия анизотропия обменного взаимодействия приводит к реализации нескольких ортогональных нематических фаз.

Фазовые переходы между ортонематическими фазами являются переориентационными. Переориентация связана с поворотом вектора-директора эллипсоида подрешеток, являющегося геометрическим образом тензора квадрупольного момента.

Переходы из антиферромагнитных в ортонематические фазы являются фазовыми переходами первого рода, в результате которого скачком меняется модуль намагниченности. Работа поддержана проектами РФФИ №16-02-00069 (ЮАФ и ОАК) и №16-42-910441 (ОАК), № 16-32-00098 (АВК)

ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ НЕГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОГО МАГНЕТИКА СО СПИНОМ $S=3/2$ НА ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ

Неклюдов Е.А.¹, Клевец Ф.Н.², Фридман Ю.А.²

¹студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела ФТИ КФУ

²профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела ФТИ КФУ

Введение. В спиновых системах упорядочение, как правило, ассоциируется со стандартным магнитным порядком, для которого среднее значение спина $\langle \vec{S} \rangle$ на узлах отлично от нуля, образуя такие магнитные структуры как ферромагнетики, антиферромагнетики и т.д. Одним из свойств магнитоупорядоченных систем является нарушение симметрии относительно отражения времени, $\langle \vec{S} \rangle \rightarrow -\langle \vec{S} \rangle$ при замене $t \rightarrow -t$. Однако, такие спиновые конфигурации не являются единственно возможными. Так, для изотропных магнетиков, при наличии высших по спинам обменных слагаемых типа $(\vec{S}_1 \vec{S}_2)^n$, $n = 2S$, $S > 1/2$, возможна реализация не только фаз с магнитным порядком, то есть с отличным от нуля средним значением спина (дипольного параметра порядка $\langle \vec{S} \rangle$), но также и фаз с $\langle \vec{S} \rangle = 0$, в которых спонтанное нарушение вращательной симметрии обусловлено средними значениями спиновых мультиполей, например, квадрупольными средними $S^{ij} = \langle S^i S^j + S^j S^i \rangle / 2$. Такое состояние, названное спиновым нематиком, было найдено для магнетиков со спином $S = 1$. Геометрическим образом данной фазы является квадрупольный эллипсоид, представляющий симметричный тензор второго ранга S^{ij} (средние с более высокими степенями спинов тривиальны), в основном состоянии этот эллипсоид является эллипсоидом вращения и симметрия состояния на узле есть C_∞ . Поскольку в силу изотропии спиновых взаимодействий направление оси квантования произвольно, состояние спинового нематика можно описать введением вектора-директора $\vec{n}$, который направлен вдоль оси вращения квадрупольного эллипсоида. Понятно, что состояния с $\vec{n}$ и $-\vec{n}$ неразличимы, и величина S^{ij} является квантовым аналогом параметра порядка Де Жена, который вводится для обычных нематических жидких кристаллов [П. Де Жен Физика жидких кристаллов / Мир, – Изд.: Москва, 1977. – 400 с.]. В случае, когда обменный интеграл J отрицателен, для кристаллического магнетика возникают состояния с двумя магнитными подрешетками. Если гейзенберговский обмен превосходит биквадратичный, то в магнетике реализуется обычное антиферромагнитное состояние. В противоположном случае ситуация является более интересной и вопрос об основном состоянии является нетривиальным, поскольку состояния с $\vec{n}$ и $-\vec{n}$ тождественны. В рамках приближения среднего поля можно показать, что в системе реализуется состояние ортогонального нематика, для которого в двух подрешетках направления $\vec{n}$ ортогональны [Spin nematic and orthogonal nematic states in $S=1$ non-Heisenberg magnet / Yu.A. Fridman, O.A. Kosmachev, Ph.N. Klevets // JMMM. – 2013. – Vol. 325. – P. 125.]. Поскольку существует три таких направления вектора $\vec{n}$, в одномерном случае это состояние трактуется как не полностью упорядоченное (semiorordered), хотя устойчивость двухподрешеточной фазы в рамках приближения среднего поля доказана для квадратной решетки, а трехподрешеточного – для треугольной решетки, см. рис. 1 и 2 в работе [Theory of spin exchanges in a quantum spin-nematic state / A. Smerald, N. Shannon // Phys. Rev. B. – 2013. – Vol. 88].

Подобные состояния для высших спинов $S > 1$ изучены слабее, но для них обнаружены качественно новые эффекты, отсутствующие для случая $S = 1$. Так, для спина $S = 3/2$ на квадратной решетке найдены фазы с $\langle \vec{S} \rangle = 0$, для которых симметрия относительно отражения времени нарушена за счет нетривиальных свойств трехспиновых средних. В силу этого для спина $S = 3/2$ на квадратной решетке возможно существование антинематической фазы, в которой направления вектор-директора в двух подрешетках антипараллельны [Динамические свойства магнетиков со спином $3/2$ и негейзенберговским изотропным взаимодействием / О.А. Космачёв,

Ю.А. Фридман, Е.Г. Галкина, Б.А. Иванов // ЖЭТФ. – 2015. – Т. 147, Вып. 2. – С. 320-337]. Исследования простейших моделей спинового нематика показывают, что подобного рода системы обладают целым рядом необычных свойств. В настоящее время появился дополнительный интерес к таким состояниям, связанный с изучением ультрахолодных атомных газов как с целым, так и полужелым значением спина, особенно конденсацией Бозе-Эйнштейна для таких газов в оптических ловушках или решетках. Существенно также, что для таких конденсатов характерно сильное негейзенберговское взаимодействие спинов, необходимое для существования нематических состояний.

Как было указано выше, фазовые состояния негейзенберговских магнетиков с $S = 1, 3/2$ достаточно подробно изучены для систем с простой симметрией кристаллической решетки (квадратная решетка).

Цель данного исследования изучить спиновые состояния изотропного негейзенберговского магнетика с $S = 3/2$ на треугольной решетке.

Результаты исследований и выводы. В рассматриваемой системе при различных соотношениях материальных параметров возможна реализация четырех устойчивых фазовых состояний. Было установлено, что кроме состояний с преобладающим гейзенберговским обменом, характеризующихся векторным параметром порядка (ферро- (FM) и антиферромагнитная (AFM) фазы), в магнетике с $S = 3/2$ и преобладающими высшими обменными интегралами возможна реализация состояний с тензорными параметрами порядка – нематическая (N) и антинематическая (AN) фаза. Основную роль в свойствах этих фаз играют средние, кубические по компонентам спиновых операторов. Формирование октупольного порядка связано с учетом бикубического обменного взаимодействия, т.е. высшие мультипольные параметры порядка, кубические по спиновым операторам, меняют знак.

Исходя из анализа плотности свободной энергии была построена фазовая диаграмма изотропного негейзенберговского магнетика со спином $S = 3/2$ для различных соотношений между обменными интегралами. Поскольку общий энергетический масштаб, в рассматриваемом случае низкой температуры $T \rightarrow 0$ не существен, фактически важны лишь соотношения обменных интегралов. Для наглядного представления результатов можно ввести два независимых параметра, в качестве которых удобно выбрать отношения констант биквадратичного и билинейного взаимодействия к константе бикубического обменного взаимодействия, $x = \frac{K_0}{L_0}$ и $y = \frac{J_0}{L_0}$, соответственно. Фазовая диаграмма, показанная на рисунке 1, построена для случая $L > 0$.

Вопрос о типах фазовых переходов остаётся открытым. Для того, чтобы установить типы фазовых переходов между полученными четырьмя устойчивыми фазами, необходимо исследовать динамические свойства системы, что предполагается сделать в дальнейшем.

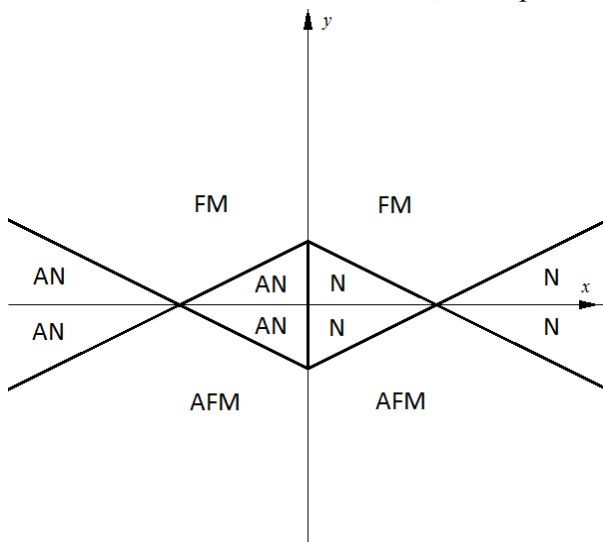


Рисунок 1. Фазовая диаграмма негейзенберговского изотропного магнетика с $S = 3/2$ на кристаллической решетке треугольной симметрии.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКАЛЯРНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ДОМЕНА НУЛЬ-СТРУН ДВИЖУЩЕГОСЯ В ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Лесяков А.П.¹, Викулина И.С.²

¹доцент кафедры теоретической физики и физики Т.Т. ФТИ КФУ

²студент кафедры теоретической физики и физики Т.Т. ФТИ КФУ

Введение. Теория струн является одним из перспективных направлений в развитии современной физики, поскольку, по крайней мере, принципиально дает возможность разрешить противоречия между квантовой механикой и общей теорией относительности. В настоящее время успешно развивается идея струнной голографии, согласно которой квантовая теория поля на р-бране может быть эквивалентна теории струн в полном многомерном пространстве-времени. Так же не исключается, что космические струны могли сохраниться до современной эпохи и могут быть наблюдаемыми. Следствия теории струн, позволяют понять физические процессы на самых ранних этапах зарождения Вселенной и могут дать ответ на вопрос, почему она возникла, и что ждет ее впереди? Однако невозможно представить себе изучение эволюции Вселенной без изучения свойств составляющих ее элементов. Именно поэтому данная работа посвящена изучению нуль-струн, являющихся неотъемлемой частью как теории струн, так и Вселенной в целом.

Целью работы является:

- Построение общего выражения функции распределения потенциала вещественного безмассового скалярного поля для системы из двух замкнутых «размазанных» нуль-струн постоянного радиуса, которые движутся в одном направлении и в каждый момент времени полностью лежат в одной плоскости, ортогональной направлению движения.

- Поиск условий на потенциал скалярного поля, при которых, в пределе сжатия компоненты тензора энергии-импульса скалярного поля асимптотически совпадают с компонентами тензора энергии-импульса рассматриваемой системы из двух замкнутых нуль-струн.

В цилиндрической системе координат $x^0 = t$, $x^1 = \rho$, $x^2 = \theta$, $x^3 = z$, функции $x^m(\tau, \sigma)$ определяющие траектории движения системы из двух замкнутых нуль-струн постоянного радиуса, лежащих в одной плоскости и движущихся в отрицательном направлении оси z , имеют вид:

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

где τ и σ параметры на мировой поверхности нуль-струны, индекс $i = 1, 2$, - обозначает номер нуль-струны, причем, для определенности $R_1 < R_2$. Используя симметрии траекторий (1), а также условие безмассовости, общее выражение квадратичной формы, описывающее рассматриваемое движение нуль-струн, может быть представлено в виде

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

где ν, A, B функции переменных t, ρ, z .

В работе сравнивая систему уравнений Эйнштейна построенную для системы из двух замкнутых нуль-струн с системой уравнений Эйнштейна для распределения скалярного поля были найдены условия при которых, в пределе сжатия, компоненты тензора энергии-импульса скалярного поля асимптотически совпадают с компонентами тензора энергии-импульса рассматриваемой системы из двух замкнутых нуль-струн, а именно:

$$\left(\varphi_{,\rho} \right)^2 \Big|_{q \rightarrow 0, \rho \rightarrow R_i} \rightarrow 0; \left(\varphi_{,q} \right)^2 \Big|_{q \rightarrow 0, \rho \rightarrow R_i} \rightarrow \infty; \varphi_{,q} \varphi_{,\rho} \Big|_{q \rightarrow 0, \rho \rightarrow R_i} \rightarrow 0, \quad (3)$$

а вне области, где сконцентрировано скалярное поле

$$\varphi \rightarrow 0; \varphi_{,q} \rightarrow 0; \varphi_{,\rho} \rightarrow 0, \quad (4)$$

где φ - потенциал скалярного поля, $q = t + z$, $\varphi_{,q} = \partial\varphi / \partial q$.

Общее выражение для потенциала скалярного поля, предложенное в работе имеет вид $\varphi(q, \rho) = -\ln(\alpha(q) + \lambda(q)f(\rho))$, (5)

где функция $\alpha(q) + \lambda(q)f(\rho)$ ограниченная

$$0 < \alpha(q) + \lambda(q)f(\rho) \leq 1, \quad (6)$$

потенциал скалярного поля (5), может принимать значения от

$$\varphi \rightarrow 0, \text{ при } \alpha(q) + \lambda(q)f(\rho) \rightarrow 1, \quad (7)$$

и до

$$\varphi \rightarrow \infty, \text{ при } \alpha(q) + \lambda(q)f(\rho) \rightarrow 0. \quad (8)$$

Для распределения (5), условия (3), (4) приводят к следующим ограничениям на функции $\alpha(q)$, $\lambda(q)$ и $f(\rho)$:

1. функции $\lambda(q)$ и $\alpha(q)$ связаны соотношением

$$\lambda(q) = (1 - \alpha(q)) / f_0, f_0 = \text{const}. \quad (9)$$

2. функции $\alpha(q)$ и $f(\rho)$ ограниченные и для всех $q \in (-\infty, +\infty)$ и $\rho \in [0, +\infty)$ принимают значения в интервале

$$0 < \alpha(q) < 1, 0 < f(\rho) < f_0. \quad (10)$$

Также в пределе сжатия в одномерный объект должны быть выполнены условия:

$$\left| \frac{\alpha_{,q}}{\alpha(q)} \right|_{q \rightarrow 0} \rightarrow \infty, \left| \frac{f_{,\rho}}{f(\rho)} \right|_{\rho \rightarrow R_i} \rightarrow 0, \left| \frac{\alpha_{,q}}{\alpha(q)} \cdot \frac{f_{,\rho}}{f(\rho)} \right|_{q \rightarrow 0, \rho \rightarrow R_i} \rightarrow 0. \quad (11)$$

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

$$\alpha(q) = \exp \left\{ - \left(\varepsilon + (\xi q)^2 \right)^{-1} \right\},$$

$$f(\rho) = f_0 \exp \left\{ - \gamma \left(1 - \exp \left\{ - \left((\varsigma(\rho - R_1))^{-2} + (\varsigma(\rho - R_2))^{-2} \right) \right\} \right) \right\},$$

где константы ξ , ς определяют размер (“толщину”) колец, внутри которых сконцентрировано скалярное поле по переменным q и ρ соответственно, а именно, в пределе сжатия

$$\xi \rightarrow \infty, \varsigma \rightarrow \infty,$$

а положительные константы ε и γ обеспечивают выполнение условий (11), а именно, при сжатии в одномерный объект (нуль-струну)

$$\varepsilon \rightarrow 0, \gamma \rightarrow \infty.$$

Выводы. В работе предложен общий вид распределения скалярного поля для системы из двух замкнутых «размазанных» нуль-струн постоянного радиуса, движущихся в одном направлении. Найденны условия, при которых, в пределе сжатия, компоненты тензора энергии-импульса скалярного поля асимптотически совпадают с компонентами тензора энергии-импульса рассмотренной системы из двух замкнутых нуль-струн.

Следующим этапом станет интегрирование системы уравнений Эйнштейна для найденного распределения скалярного поля и анализ гравитационного поля, порождаемого системой из двух замкнутых нуль-струн, рассмотренной в работе.

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯ СЛОИСТОЙ МУЛЬТИСТРУННОЙ СИСТЕМЫ НА ДИНАМИКУ ПРОБНОЙ НУЛЬ-СТРУНЫ

Леяков А.П.¹, Осокин К.С.²

¹доцент кафедры теоретической физики и физики Т.Т. ФТИ КФУ

²аспирант кафедры теоретической физики и физики Т.Т. ФТИ КФУ

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, $R_i = \text{const}$, $i = 1 \dots n$, $z_j^0 = \text{const}$, $j = 1 \dots m$, 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.

Было показано, что в зависимости от значения величины начальных импульсов точек пробной нуль-струны действие гравитационного поля слоистой мультиструнной системы может приводить или к пульсирующим (ограниченным по переменной ρ и не ограниченным по переменной z) 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). Интересным результатом предложенной работы можно считать то, что устойчивые во

времени и ограниченные в пространстве области, внутри которых происходят колебания нуль-струны, можно рассматривать как локализованные в пространстве частицы с эффективной ненулевой массой покоя. Также было отмечено, что для газа нуль-струн, генерация частиц с эффективной ненулевой массой покоя возможна на ранних этапах эволюции Вселенной, когда в следствии высоких давлений и доменной структуры такого газа неизбежно и массово могли возникать взаимные проникновения нуль-струн, принадлежащих соседним доменам. В дальнейшем, в следствии расширения Вселенной, такая возможность могла утрачиваться.

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ, ЗАМКНУТОЙ НУЛЬ-СТРУНЫ, ДВИЖУЩЕЙСЯ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ

Осокин К.С.¹, Леляков А.П.²

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

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

Введение. Одно из направлений теории струн состоит в исследовании роли одномерно-протяженных объектов в космологии. Калибровочные Теории Великого Объединения предсказывают возможность образования в процессе фазовых переходов в ранней Вселенной одномерных топологических дефектов, получивших название космических струн. В работе C.T. Hill, D.N. Schramm and J.N. Fry, Commun Nucl. Part. Phys. 19, 25 (1999) было показано, что наличие таких объектов во Вселенной не противоречит наблюдаемому микроволновому реликтовому излучению. Также не исключается, что космические струны могли сохраниться до современной эпохи и могут быть наблюдаемыми.

Приближение нуль-струн – модель теории струн, согласно которой точки струны взаимодействуют лишь с окружающим их гравитационным полем, но не друг с другом. Исследования движения пробной нуль-струны в гравитационном поле замкнутой нуль-струны постоянного и переменного радиуса, проведенные в работах A.P. Lelyakov, Gravitation and Cosmology 21, No.3, 200 (2015), A.P. Lelyakov, Gravitation and Cosmology 21, No.4, 309 (2015), O.P. Lelyakov, A.S. Karpenko, R.-D.O. Babadzhani, Ukr. J. Phys. 59, 1114 (2014), показало наличие для пробной нуль-струны только «узкой» области, находясь в которой она может взаимодействовать с нуль-струной порождающей гравитационное поле, что 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.

Цель и задачи данной работы заключаются в поиске решений уравнений Эйнштейна для «размазанной», аксиально-симметричной, замкнутой нуль-струны, направление движения для которой ортогонально плоскости расположения.

Результаты исследований. В работе, сравнивая систему уравнений Эйнштейна, построенную для распределения вещественного, безмассового скалярного поля, сконцентрированного внутри «тонкой области», с системой уравнений Эйнштейна для замкнутой аксиально-симметричной нуль-струны, которая движется вдоль оси z , без изменения формы и в каждый момент времени t полностью лежит в плоскости, ортогональной этой оси, мы нашли условия, при выполнении которых, в пределе сжатия скалярного поля в одномерный объект (нуль-струну), компоненты тензора энергии-импульса скалярного поля асимптотически совпадают с компонентами тензора энергии-импульса замкнутой нуль-

струны. Предложен общий вид функции распределения, описывающего движение скалярного поля, сконцентрированного внутри "тонкой области" вдоль оси z . Приведен пример распределения скалярного поля, удовлетворяющего найденным условиям.

Найдено решение уравнений Эйнштейна для "размазанной" аксиально-симметричной, замкнутой нуль-струны, движущейся вдоль оси z , и в каждый момент времени t полностью лежащей в плоскости, ортогональной этой оси. Показано отсутствие предельного перехода между решением системы уравнений Эйнштейна для аксиально-симметричной, "размазанной" нуль-струны и решением для замкнутой нуль-струны постоянного радиуса, которое приведено в работе А.Р. Lelyakov, *Gravitation and Cosmology* 21, No.3, 200 (2015).

Выводы. Отсутствие предельного перехода между решением системы уравнений Эйнштейна для аксиально-симметричной, "размазанной" нуль-струны и решением для замкнутой нуль-струны постоянного радиуса может говорить об устойчивости конфигурации замкнутой нуль-струны в виде окружности при движении во внешнем гравитационном поле, влияние которого для такой нуль-струны может сводиться к изменению ее движения как целого (без изменения формы и размера) или к изменению ее радиуса. В работе отмечено, что часть свойств газа нуль-струн, например, таких как способность к образованию доменной структуры, существование поляризованных состояний (мультиструнных систем), независит от формы нуль-струны, однако динамика пробной нуль-струны в поле такой мультиструнной системы будет иметь особенности.

ЧАСТОТЫ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ФЕРРОМАГНЕТИКА С РАЗМОРОЖЕННЫМ ОРБИТАЛЬНЫМ МОМЕНТОМ

Бутрим В.И.

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

Рассмотрена динамика углового момента ферромагнетика при учете кристаллического поля и спин-орбитального взаимодействия. Показано, что спектр магнитных колебаний такого магнетика содержит продольную ветвь колебаний длины намагниченности и две связанные поперечные спин-орбитальные моды. Показано, что имеет место эффект компенсации, аналогичный компенсации подрешеток в феррите.

Гамильтониан анизотропного ферромагнетика с учетом спин орбитального взаимодействия имеет вид:

$$\hat{H} = \sum_n \{ \lambda \hat{\mathbf{S}}_n \hat{\mathbf{I}}_n - C \hat{l}_{n,z}^2 - K \hat{S}_{n,z}^2 \} \quad (1)$$

Учет квантовых свойств орбитального момента, приводит, с одной стороны, к появлению квадрупольных степеней свободы, а с другой стороны - к сокращению длины вектора $\mathbf{l}$

$$l_0 = \frac{2\lambda S}{\sqrt{4\lambda^2 S^2 + B^2}}. \quad (2)$$

Другим проявлением квантовых свойств орбитального момента является продольная мода колебаний его длины с частотой $\omega_{||} = \sqrt{4\lambda^2 S^2 + B^2}$.

Для полностью размороженного орбитального момента и слабого кристаллического поля $l=1$, $\lambda \gg C, K$ существуют две поперечные связанные спин-орбитальные моды, частоты которых существенно зависят от величины спина.

Так, для $S=1/2$, одна мода обменная, а другая определяется анизотропией

$$\hbar\omega_{+} = 2C + K, \quad \hbar\omega_{-} = \lambda / 2, \quad \lambda \gg C, K. \quad (3)$$

Для обменной моды сохраняется поперечная компонента полного момента $\mathbf{S} + \mathbf{I}$, а для нижней моды сохраняется полный момент.

Для $S = 3/2$ также имеем две невырожденные моды, причем, полный момент сохраняется уже для верхней, обменной моды.

$$\hbar\omega_{+} = \lambda / 2, \quad \hbar\omega_{-} = 2C + 9K, \quad \lambda \gg C, K \quad (4)$$

При значении спина $S = 1$ спектр частот вырожден, как в анизотропном АФМ

$$\hbar\omega_{\pm} = \sqrt{\lambda(C + 2K)}, \quad \lambda \gg C, K \quad (5)$$

При этом сохраняется как поперечная компонента полного момента, так и сам полный момент.

Таким образом, налицо эффект компенсации для спина и орбитального момента, аналогично компенсации намагниченностей подрешеток для феррита. При $1 - l \ll 1$ эффект компенсации сохраняется, а при сильном замораживании ($l = 1/2$) также имеет место, но для больших значений константы ромбической анизотропии.

ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА ДВУХПОДРЕШЕТОЧНОГО НЕГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОГО МАГНЕТИКА С БОЛЬШОЙ ОДНОИОННОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

Ярыгина Е.А.¹, Космачев О.А.², Клевец Ф.Н.³, Фридман Ю.А.³

¹студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела ФТИ КФУ

²доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела ФТИ КФУ

³профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела ФТИ КФУ

Введение. Двухподрешеточные негейзенберговские магнетики со спином магнитного иона $S=1$ и большой одноионной легкоплоскостной анизотропией представляют большой практический интерес для спинтроники [А. Perelomov, Generalized Coherent States and Their Applications, Springer-Verlag, Berlin, (1986)]. Кроме того, изучение систем с большой одноионной анизотропией представляет и существенный фундаментальный интерес. Дело в том, что большая одноионная анизотропия приводит к квантовому сокращению спина на узле [В.М. Калита, В.М. Локтев, ФТТ 45, 1450 (2003); Yu.A. Fridman, O.A. Kosmachev, JMMM 236, 272 (2001)]. В подобных магнетиках состояние с $\langle \vec{S} \rangle = 0$ может быть основным, однако для таких фаз симметрия квадрупольных средних чисто одноосная, поэтому эти состояния не отличаются по симметрии от парамагнетика, и нематические фазы (в строгом смысле этого слова) в магнетиках с одноионной анизотропией не существуют. При этом квантовые фазовые переходы, найденные в таких системах, так или иначе связаны с ненулевой намагниченностью [В.М. Калита, В.М. Локтев, ФНТ 28, 1244 (2002)].

Устойчивый интерес к такого рода системам существует достаточно давно и связан с тем, что наличие большой одноионной анизотропии (сравнимой, или даже превосходящей обменное взаимодействие, что характерно для редкоземельных магнетиков) приводит к тому, что в таких магнетиках квантовые свойства отдельных спинов в эффективном магнитном поле играют решающую роль в формировании динамических и термодинамических свойств магнетиков. Теоретические исследования таких систем восходят к работе Мория [Т. Moriya, Phys. Rev. 117, 635 (1960)]. В ней было показано, что, когда константа одноионной анизотропии превосходит величину билинейного обменного взаимодействия, то даже при абсолютном нуле температур, в отсутствие внешнего магнитного поля реализуется немагнитное, квадрупольно упорядоченное основное состояние. Позже [Т. Tsurento, Т. Murano, Physica 51, 186 (1971); С. Ishikawa, Y. Endo, J. Prog. Theor. Phys. 55, 650 (1976)],

численными методами, в приближении молекулярного поля исследовалось поведение таких систем с большой одноионной анизотропией в магнитном поле, перпендикулярном “легкой плоскости”. Было показано, что немагнитное основное состояние остается устойчивым в некотором интервале полей, а линия фазового перехода имеет форму, существенно отличающуюся от ее вида для классических систем [В.Г. Борисенко, Ю.В. Переверзев, ФНТ 11, 730 (1985); K.M. Diederix, H.A. Algra, J.P. Groen et al., Phys. Lett. A 60, 247 (1977); В.П. Дьяконов, Э.Е. Зубов, Ф.П. Онуфриева, А.В. Сайко, И.М. Фита, ЖЭТФ 93, 1775 (1987)]. Однако все эти исследования проводились, во-первых для одноподрешеточных магнетиков, а во-вторых – без учета биквадратичного обменного взаимодействия, которое (при определенных условиях) также может формировать тензорный (нематический) магнитный порядок. При этом нематическое и квадрупольное упорядочения не являются эквивалентными с симметрией точки зрения, хотя и приводят к одинаковым значениям среднего магнитного момента на узле [Б.А. Иванов, Р.С. Химин, ЖЭТФ 131, 343 (2007)].

Цель и задачи: Исследовать статические и динамические свойства двухподрешеточного негейзенберговского магнетика со спином магнитного иона $S=1$, обладающего большой легкоплоскостной одноионной анизотропией.

Результаты исследований и выводы. Исследовано влияние большой одноионной анизотропии (сравнимой или превосходящей обменное взаимодействие) на статические и динамические свойства двухподрешеточного негейзенберговского магнетика со спином магнитного иона $S=1$. Найден области устойчивости фазовых состояний и построена фазовая диаграмма системы. Изучены специфические особенности формирования основного состояния рассматриваемой системы, показана возможность реализации фаз типа «ортогональный нематик», а также определены области стабильного существования различных дипольных и тензорных фазовых состояний.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТОИНФОРМАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ФРАКТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАКТИЛОСКОПИИ ЧЕЛОВЕКА

Доненко И.Л.¹

¹ обучающийся первого курса магистратуры кафедры теоретической физики, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», idonenko2012@gmail.com

Шостка В.И.²

² научный руководитель - канд. физ. – мат. наук, доцент кафедры общей физики, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», vshostka@yandex.ru

Аннотация. В последние годы в связи усилением требований по борьбе с терроризмом, с введением биометрических паспортов неocenимую роль играют диагностические и идентификационные задачи, позволяющие получить важную ориентирующую информацию о той или иной личности. Для решения этих задач в основном до настоящего времени применяется снятие отпечатков пальцев. В связи с чем возрастает роль автоматизации биометрических методов идентификации личности. Метод идентификации личности, описываемый в предлагаемой работе, качественно отличается от существующих ныне. Его особенность заключается в новой интерпретации теории фракталов и хаоса – использовании математического аппарата фрактальной геометрии и методов сингулярной оптики в технологиях защиты информации.

Ключевые слова: фрактал, фрактальная размерность, дактилоскопия, отпечатки пальцев, оптоинформационные методы исследования.

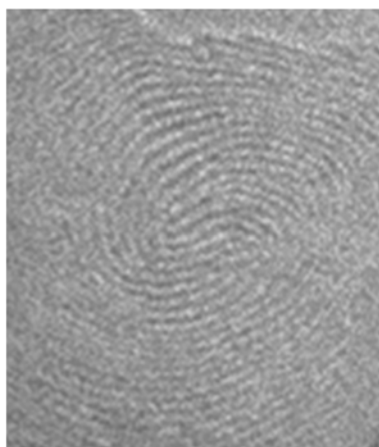
Введение. Растущая популярность биометрических методов обусловлена рядом преимуществ по сравнению с обычными способами идентификации, т.к. при их применении идентифицируется не внешний предмет, принадлежащий индивидууму, а собственно он сам.

Обобщенно технологии распознавания личности, основанные на особенностях физиологии и анатомии человека, его поведения и привычек и называются биометрическими (Имамвердиев Я.Н. Метод обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев на основе фрактальных характеристик / *İnformasiya texnologiyaları problemləri*, 2012, №1(5). - с.17-26).

Основная часть. На сегодняшний день наибольшее распространение получили устройства и методы идентификации личности по уникальности рисунка папиллярных узоров пальцев человека. Разработано несколько алгоритмов идентификации личности по отпечаткам пальцев, основанных на сравнении отпечатков по их уникальным элементам – точкам ветвления и слияния папиллярных линий, ширине гребней и впадин и т.д.

В работах Трифонова Д.И. и Имамвердиева Я.Н. (Д.И. Трифонов. Идентификация личности по фрактальной размерности отпечатков пальцев– Доклады ТУСУРа, № 1 (21), часть 1, июнь 2010. Санкт-Петербург, с. 2-3) была предложена идентификация человека по фрактальной размерности его дактилоскопических данных. Метод идентификации личности, описываемый в предлагаемой нами работе, качественно отличается от существующих ныне. Его особенность заключается в новой интерпретации теории фракталов и хаоса – использовании математического аппарата фрактальной геометрии и методов сингулярной оптики в технологиях защиты информации. Нововведение заключается в создании эффективного алгоритма распознавания личности, основанного на определении фрактального строения папиллярного узора и глобального признака строения ладони человека. Ладони и пальцы рук человека имеют фрактальную структуру, подобную структуре треугольника Серпинского (глобальный признак отпечатка пальца /или ладони руки), а так же ковра Серпинского и различными спиралевидными кривыми (локальные дактилоскопические признаки), что, в свою очередь, может позволить идентифицировать и отпечатки пальцев, и отпечатки ладоней рук с большей точностью, зная только основные характеристики человека – возраст, вес, рост и т.д.

В данной работе предлагается новый подход к идентификации и построения моделей отпечатков пальцев человека, основанный на фрактальной геометрии. В настоящее время планируется ряд экспериментов, подтверждающих данное умозаключение. Ниже приводится снимок отпечатка фрагмента ладони автора и построенная по специально разработанной программе 3D фрактальная модель рисунка его руки.



а)



б)

Рисунок 1. а) отпечаток фрагмента ладони индивидуума; б) его дактилоскопическая 3D модель.

Вывод. Как видно из рисунков модель в точности повторяет оригинал. Таким образом, применяя методы сингулярной оптики и математический аппарат фрактальной геометрии, можно проводить более точную диагностику и идентификацию личности пользователя в различных устройствах таких как: смартфоны, компьютеры и в банковском секторе при анализе сканированных его данных, т.к. топологические особенности расположения мелких узоров на пальцах и ладонях обеспечивают высокую избирательность поиска.

ОПТИЧЕСКИЕ ВИХРИ В ВОЛОКОННЫХ ПЕТЛЕВЫХ РЕЗОНАТОРАХ

Алексеев К.Н.
профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела
Физико-технического института

Эффект самовоздействия света известен в оптике в течение длительного времени. Обычно его связывают с разными интерференционными эффектами. Однако, не так давно этот эффект был продемонстрирован в оптических резонаторах на мало- и многомодовых волокнах. В этих оптических системах была реализована идея взаимодействия света с самим собой на ограниченных участках волокна. Впервые такая оптическая схема была имплементирована в петлевых волоконных резонаторах [Stokes L. F. All-single-mode fiber resonator/ L. F. Stokes, M. Chodorow, H. J. Shaw// Opt. Lett. -1982-Vol.7 -P. 230-288]. Создание таких систем оказалось возможным в результате прогресса в области волоконных разветвителей. В основополагающих работах были получены оценки добротности петлевых резонаторов в зависимости от параметров связи использовавшихся волоконных разветвителей [Sumetsky M. The Microfiber Loop Resonator: Theory, Experiment, and Application/ M. Sumetsky, Y. Dulashko, J. M. Fini, A. Hale, D. J. DiGiovanni // J. Lightwave Technol -2006-Vol.24 –P. 242-250]. Помимо других эффектов был установлен эффект усиления амплитуды фундаментальной моды в петле резонатора. Несмотря на очевидные преимущества микрокатушечных волоконных резонаторов, их изготовление сопряжено с рядом серьезных технологических трудностей. Одной из них является сложность поддержания постоянности коэффициента эванесцентной связи по длине волокна. Это обуславливает большую распространенность волоконных резонаторов петлевых схем. В данной работе мы ставим своей целью изучить распространение оптических вихрей в петлевом оптическом резонаторе. Нами продемонстрирована инверсия топологического заряда оптического вихря, а также его конверсия в других цилиндрических вихревые пучки. Продemonстрирован эффект управления орбитальным моментом выходящего пучка посредством изменения параметров резонатора.

Рассмотрим петлевой резонатор (Рис. 1). На выделенном участке волокно образует систему параллельных волокон, поэтому такой резонатор можно заменить эквивалентной схемой, как показано на Рис. 2.

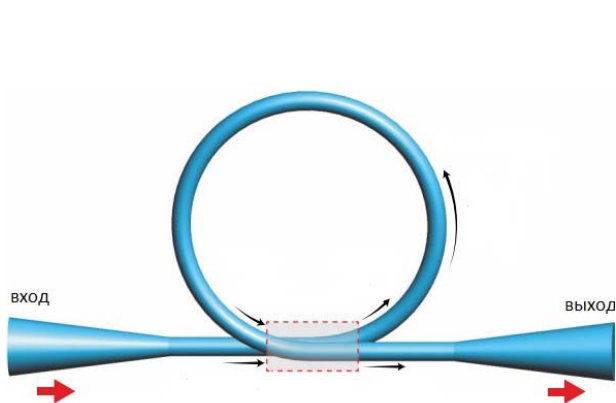


Рис.1

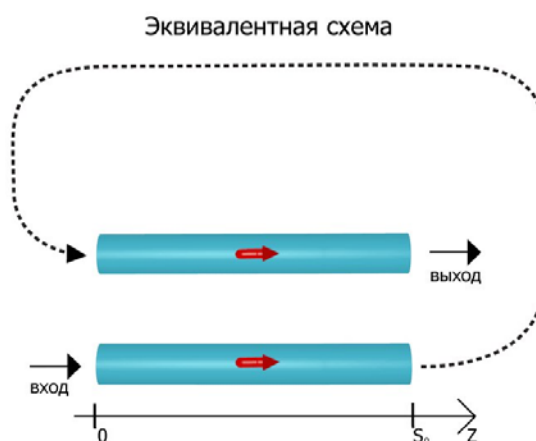


Рис. 2

Рассмотрим прохождение поля высших мод через указанный резонатор. Так как длина участка спаривания мала, достаточно использовать выражения для связанных мод в скалярном приближении. На пунктирном участке следует учитывать спин-орбитальное взаимодействие так как длина этого участка волокна может быть произвольно велика. Примем, что волокно возбуждается ОВ $|1,1\rangle$. Примем длину петлевого участка волокна $d = 1$ м. На Рис. 3 показана

зависимость коэффициента передачи мощности $|T_1|^2$ (в единицах мощности падающего пучка) оптического вихря $|1,1\rangle$ от длины s_0 (в м) участка взаимодействия. Важной особенностью этого графика является наличие на нем мелкомасштабных осцилляций амплитуд выходящих вихрей.

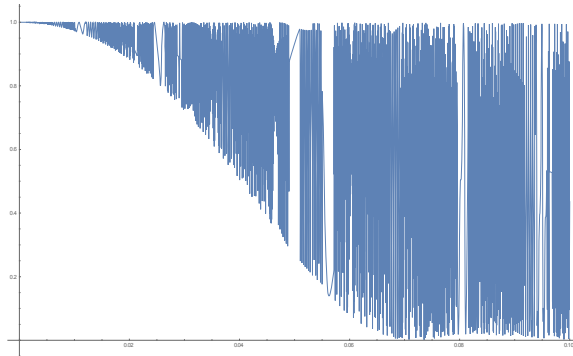


Рис. 3

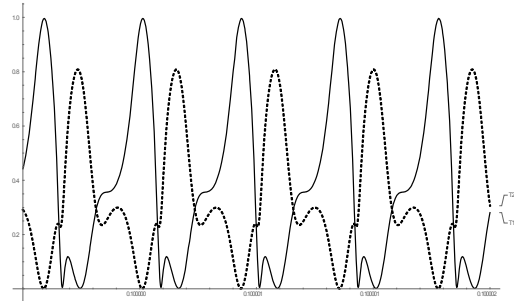


Рис. 4

Для выяснения масштаба этих осцилляций на Рис. 4 приведены зависимости коэффициентов передачи мощности $|T_1|^2$ и $|T_2|^2$ ОВ $|1,1\rangle$ и $|1,-1\rangle$ от длины участка взаимодействия. Как видно из приведенного графика, в системе присутствуют осцилляции выходящего поля по топологическому заряду при изменении s_0 на величину порядка длины волны. Причиной таких мелкомасштабных осцилляций является многолучевая интерференция, обеспеченная эванесцентной связью между волокнами. Таким образом нами продемонстрирован эффект управления орбитальным моментом выходящего пучка посредством изменения параметров резонатора.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФАЗОВОГО СОСТАВА КОРЫ ПЛАВЛЕНИЯ И ОСНОВЫ
МЕТЕОРИТА ЧЕЛЯБИНСК

Гонцова С.С.¹, Наухацкий И.А.², Васильева В.В.³

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

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

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

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

Введение. Изучение особенностей химического и минералогического состава метеоритов позволяет получить информацию о формировании и дальнейшей эволюции вещества Солнечной планетарной системы.

Цель исследований: определение фазового и химического состава фрагмента метеорита Челябинск светлой литологии методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной и оптической микроскопии.

Объект и методика исследований. Исследуемый фрагмент представляет собой сочетание основы светлой литологии и коры плавления размером около 1 мм, образовавшейся при прохождении метеоритом атмосферных земных слоев. Структурные исследования проводились на дифрактометре общего назначения «ДРОН-3» методом порошков с использованием монохроматического медного излучения в угловом интервале от 10° до 100°. Съемка проводилась отдельно для материала корки и материала подкорочного объема. Фрагмент метеорита с металлическими включениями был исследован на оптическом микроскопе ZEISS Axiovert 40 MAT и сканирующем электронном микроскопе FE-SEM ZEISS SIGMA VP с использованием энергодисперсионной приставки.

Результаты исследований. Методом рентгенофазового анализа (РФА) установлено, что доминирующими фазами как в коре, так и в объеме метеорита являются силикатные минералы группы пироксенов $(\text{Mn}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca})\text{Si}_2\text{O}_6$ и оливинов $(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_2\text{SiO}_4$, причем преобладает высокожелезосодержащий форстерит; а также апатитов $\text{Pb}_9[\text{PO}_4]_6$ и плагиоклазов (стекло) $(\text{Na}, \text{K})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$. Также присутствуют металлические включения Fe-Ni-Co сплава в виде камасита $\alpha\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$ и тэнита $\gamma\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$. Кроме этого, присутствуют троилит FeS, хромит FeCr_2O_4 , мерриллит $\text{Na}_{0.98}\text{Ca}_9(\text{Mg}, \text{Fe})[\text{PO}_4]_7$, магнетит Fe_3O_4 .

Электронно-микроскопических исследования показали наличие включений самородной меди Cu на границах и внутри зерен состава Fe-Ni-металл – троилит.

Выводы. Стоит отметить, что в ходе работы не было обнаружено значительных различий в составе основы и коры плавления метеорита. Однако, в коре содержится больше Fe-Ni сплава. Также в силикатных минералах коры плавления наблюдаются микротрещины, заполненные троилитом, что свидетельствует о значительных ударных нагрузках, имевших место в метаморфической истории этого метеорита.

ТРИГОНАЛЬНЫЕ МАГНЕТИКИ СО СТРУКТУРОЙ КАЛЬЦИТА: СИНТЕЗ, ЭФФЕКТЫ

Стругацкий М.Б.¹, Ягупов С.В.², Могиленец Ю.А.³, Селезнева К.А.⁴, Максимова Е.М.⁵,
Наухацкий И.А.²

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

²заведующий лабораторией кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ имени В.И.Вернадского

³специалист по учебно-методической работе кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ имени В.И.Вернадского

⁴ассистент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ имени В.И.Вернадского

⁵доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ имени В.И.Вернадского
strugatskymb@cfuv.ru

Введение. Минерал кальцит CaCO_3 – тригональный немагнитный кристалл с пространственной симметрией D_{3d}^6 . Наиболее интересный магнетик со сходной кристаллической структурой – борат железа FeBO_3 – легкоплоскостной антиферромагнетик со слабым ферромагнетизмом. Из-за необычного сочетания магнитных, оптических, акустических и резонансных свойств монокристаллы бората железа являются уникальными модельными объектами многочисленных исследований в области физики твердого тела и магнетизма. Борат железа – редкий материал, обладающий прозрачностью в видимой области и спонтанной намагниченностью при комнатной температуре.

Цель и задачи. Целью является разработка технологии синтеза и получение высокосовершенных изоструктурных борату железа композитных материалов, а также комплексное исследование наблюдаемых в них эффектов.

Методика исследований. Методом газотранспортного синтеза получены изометричные монокристаллы бората железа, на небазисных гранях которых методом магнитооптического эффекта Керра исследованы эффекты поверхностного магнетизма. Разработаны технологии раствор-расплавного синтеза кристаллохимических рядов $\text{Fe}_{1-x}\text{Me}_x\text{BO}_3$ ($\text{Me} = \text{Ga}, \text{Al}, \text{Ni}$) и $\text{Ga}_{1-x}\text{Ni}_x\text{BO}_3$ (см. рис. 1). Тонкая пленка бората железа на диамагнитной подложке была получена методом эпитаксиального синтеза.

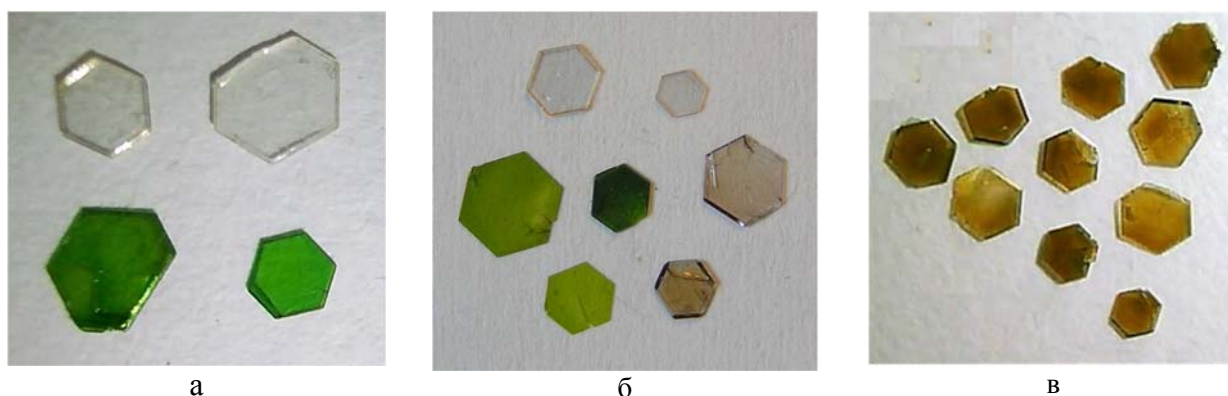


Рисунок 1. Синтезированные монокристаллы: а - GaBO_3 и FeBO_3 ; б - $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{BO}_3$; в - $\text{Ga}_{1-x}\text{Ni}_x\text{BO}_3$.

Результаты исследований и выводы. Из-за малой величины ферромагнитного момента и слабой магнитной анизотропии в базисной плоскости в изометричных кристаллах FeBO_3

существенным образом проявляются эффекты поверхностного магнетизма, связанные с существованием особой поверхностной магнитной анизотропии.

Слабая базисная анизотропия обуславливает, также, аномально большую величину магнитоупругой связи в борате железа. Последнее обстоятельство является причиной обнаруженных и исследованных нами различных магнитоакустических эффектов, среди них отметим магнитное двупреломление поперечного звука – акустический аналог оптического эффекта Коттона-Мутона, осцилляции намагниченности, вызываемые продольной акустической волной, которая порождается фемтосекундными лазерными импульсами. Эти и многие другие свойства бората железа неизменно привлекают к нему внимание.

Такие кристаллы представляют интерес и с точки зрения возможных технических применений. Их можно использовать в качестве элементов магнитной памяти, магнитооптических и магнитоакустических преобразователей, датчиков слабых магнитных полей, давления и температуры и др.

Монокристаллы FeVO_3 являются уникальным материалом для применения в синхротронных установках нового поколения. Для выделения из «белого» синхротронного излучения интервала излучения с энергией, соответствующей мессбауэровскому резонансу, на финальной стадии монохроматизации недавно предложено использовать кристалл бората железа $^{57}\text{FeVO}_3$, который оказывается идеальным монохроматором для синхротронного излучения («Синхротронная мессбауэровская спектроскопия (СМС)»).

Для целей фундаментальной науки и приложений весьма перспективным представляется использование монокристаллов бората железа с изоморфным замещением части ионов Fe^{3+} ионами других металлов $\text{Fe}_{1-x}\text{Me}_x\text{VO}_3$ ($\text{Me} = \text{Ga}, \text{Al}, \text{Ni}$). Такие кристаллы позволяют более детально исследовать свойства магнитных материалов и, что наиболее ценно, этими свойствами управлять. Разработана технология синтеза и получены высокосовершенные изоструктурные борату железа диамагнитно-разбавленные монокристаллы $\text{Fe}_{1-x}\text{Me}_x\text{VO}_3$ ($\text{Me} = \text{Ga}, \text{Al}$). Диамагнитное разбавление дает возможность экспериментально исследовать отдельные механизмы, формирующие магнитные свойства материалов. В зависимости от концентрации магнитных ионов различные внутрикристаллические поля, характеризующие эти механизмы, изменяются по-разному, поэтому существует возможность экспериментального разделения этих полей. Кроме того, изменяя соотношение между концентрациями парамагнитных и диамагнитных ионов, можно детально исследовать переход от магнитоупорядоченного к магнитонеупорядоченному состоянию. Диамагнитное разбавление должно привести к оптимизации параметров разрабатываемых монохроматоров синхротронного излучения в условиях различных внешних воздействий (температура, магнитное поле, высокие давления). Весьма важным обстоятельством для дальнейшей оптимизации параметров является то, что диамагнитное разбавление позволяет управляемо понижать точку Нееля. Для таких целей требуются кристаллы чрезвычайно высокого структурного совершенства.

Нами разработана технология получения тонкопленочных монокристаллов бората железа на изоструктурной диамагнитной подложке GaVO_3 . Такая структура позволит, в частности, выполнить фундаментальные исследования природы поверхностного магнетизма, имеющего и прикладное значение.

Как известно, в кристаллах $\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{VO}_3$ с малым содержанием Ni наблюдаются особые фотоманитные эффекты – динамическая неустойчивость доменной структуры и фотоманитная память. Микроскопическая природа этих эффектов до сих пор неизвестна. Для выяснения роли ионов никеля в их формировании нами синтезированы изоструктурные борату железа монокристаллы $\text{Ga}_{1-x}\text{Ni}_x\text{VO}_3$, где ионы никеля находятся в диамагнитной матрице ионов галлия. В этом случае исследованию магнитного состояния Ni «не мешают» парамагнитные ионы железа.

Мы полагаем, что наиболее интересные и значимые результаты, связанные с синтезом, исследованием и применением монокристаллов $\text{Fe}_{1-x}\text{Me}_x\text{VO}_3$ еще впереди.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым в рамках научного проекта № 16-42-910593 p_a.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ БОРАТА ЖЕЛЕЗА

Снегирёв Н.И.

студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

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

Niksnegir@yandex.ru

Введение. В связи с уникальным сочетанием магнитных, резонансных, оптических, магнитооптических и магнитоупругих свойств борат железа FeBO_3 является благодатным модельным объектом для исследований в области физики твердого тела и магнетизма. В последние годы на образцах, синтезированных в лаборатории роста кристаллов Физико-технического института КФУ изучены явления поверхностного магнетизма, магнитного двупреломления звука, магнитоакустические явления, индуцированные фемтосекундными лазерными импульсами.

Качественные пластинчатые монокристаллы бората железа получают методом раствор-расплавной кристаллизации. В процессе синтеза возможно появление в образцах напряжений и дефектов кристаллической решетки, основной методикой устранения которых является отжиг. При этом важным оказывается выбор температурного диапазона, в котором борат железа оставался бы структурно стабильным. Так, ранее было выяснено, что при отжиге монокристаллов возможно образование ортобората железа Fe_3BO_6 и гематита Fe_2O_3 , фактически возникающих в результате твердофазного синтеза. Таким образом, отжиг представляет и самостоятельный научный интерес как метод трансформации кристаллических фаз.

Цель и задачи. Целью данной работы является изучение изменения рельефа поверхности и фазового состава образцов в зависимости от температуры отжига. Для понимания природы структурных превращений важен следующий аспект: начинаются ли наблюдаемые изменения с поверхности образца или же они происходят по всему объему равномерно. Кроме того, заслуживающим внимания является вопрос влияния высокотемпературного отжига на рельеф поверхности образцов, а также «сосуществования» неизоструктурных фаз FeBO_3 и Fe_3BO_6 при учете того факта, что образцы после отжига сохраняют видимую целостность.

Методика исследований. Образцы отжигались при температуре 830°C в воздушной среде, после чего снимались спектры их оптического поглощения, а поверхность сканировалась с применением растровой электронной микроскопии (РЭМ). Для изучения воздействия высокотемпературного отжига на рельеф поверхности были отобраны монокристаллы со сложной структурой поверхности. Предварительно очищенные образцы отжигались при 830°C в течение 30 минут, затем подвергались кипячению в 20% растворе азотной кислоты в течение 6 часов, промывались в дистиллированной воде. После каждого из этапов поверхность монокристаллов сканировалась оптическим и растровым электронным микроскопом.

Результаты исследований. Исходные образцы (см. рисунок 1,а) после отжига приобрели нехарактерный для бората железа насыщенный бурый цвет (см. рисунок 1,б), РЭМ-сканирование отожженных монокристаллов показало образование поверхностного слоя, элементы которого представляют собой шестиугольные и прямоугольные кристаллиты, характерные для фаз FeBO_3 и Fe_3BO_6 , соответственно. Область оптического пропускания отожженных образцов существенно сместилась в сторону увеличения длин волн (по сравнению со спектром оптического поглощения FeBO_3). В результате кипячения в растворе кислоты на дне колбы появился мутный осадок коричневого цвета, а образцы вновь стали зелеными. Поверхность, полученных таким образом, монокристаллов была исследована

оптическим микроскопом (см. рисунок 1, в) и растровым электронным микроскопом. Анализ результатов РЭМ-исследований показывает, что рельеф поверхности обработанных монокристаллов оказывается несколько более пологим; в то же время в микротрещинах обнаруживаются отдельные кристаллиты и налет, которые, ввиду своего расположения, не были удалены при промывании.

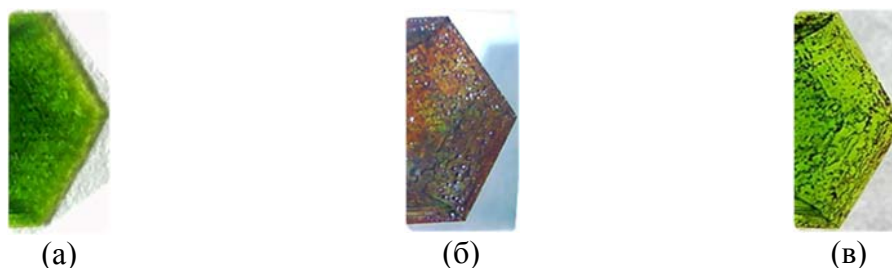


Рисунок 1. Изменение поверхности монокристалла FeBO₃ а) до отжига; б) после отжига; в) после отжига и травления в растворе азотной кислоты.

Выводы. Установлено, что после отжига монокристаллов бората железа при 830°C в их структуре возникают необратимые изменения, связанные с образованием новых кристаллических фаз. Возникающий поликристаллический слой практически полностью может быть удален при длительном кипячении в 20% растворе азотной кислоты. Таким образом, процесс структурных изменений происходит с поверхности монокристаллов, а образовавшийся при этом поверхностный слой не образует цельной композитной структуры с основой. Предполагается, что подобная методика высокотемпературной обработки монокристаллов может использоваться для устранения выраженных несовершенств поверхности, возникающих в процессе синтеза.

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КРИСТАЛЛОВ СЕМЕЙСТВА ABO₃ ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Синани Г.А.

студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.ф.-м.н., доцент Яценко А.В.

При исследовании физических свойств и структурных особенностей минералов естественного происхождения и кристаллов, синтезированных искусственно, очень важную роль играет компьютерное моделирование. Обычно оно проводится с использованием подхода «из первых принципов» (*ab initio*), либо с использованием полуэмпирического метода. Для моделирования «из первых принципов» обычно применяются дорогостоящие коммерчески доступные специализированные программные пакеты, так как разработка оригинального адекватного программного обеспечения практически невозможна. В основе полуэмпирических методов лежит расчет электрического поля на всех структурно-неэквивалентных ионах кристаллической решетки и, соответственно, кулоновской энергии, а также энергии отталкивания. Для расчета энергии межйонного отталкивания в кристаллах с ионно-ковалентными связями применяется так называемый потенциал Борна-Майера: $W_r = \lambda_{ij} \exp(-r / \rho_{ij})$, где λ_{ij} и ρ_{ij} – параметры потенциала для взаимодействия ионов i -го и j -го сорта, а r – межйонное расстояние. Основной проблемой, возникающей при использовании полуэмпирического подхода, является поиск и использование такого набора параметров

межионного отталкивания, при котором экспериментально установленные и смоделированные характеристики исследуемого объекта максимально близки.

Основной целью исследования является отработка методики, которая позволяет устанавливать параметры потенциала парных взаимодействий для соединений ABO_3 , где ионы А и В могут иметь заряд $+1|e| \leq q_A \leq +3|e|$ и $+5|e| \geq q_B \geq +3|e|$ соответственно.

Методика расчета параметров потенциала отталкивания основана на поиске таких комбинаций параметров потенциала, которые обеспечивают устойчивое равновесие всех ионов, входящих в элементарную ячейку кристалла взаимодействий отталкивания модель исследуемого кристалла. В качестве дополнительного критерия используется равенство экспериментальных и расчетных значений таких свойств кристалла, как модуль объемного сжатия, коэффициент одноосного сжатия и коэффициент Пуассона.

На примере кристалла $FeBO_3$ показано, что для получения искомых параметров потенциала отталкивания наиболее оптимальным является сравнение расчетных и экспериментально установленных коэффициента одноосного сжатия и коэффициента Пуассона. Получены комбинации параметров потенциала Борна-Майера для связей (В –О) и (О-О), которые отвечают вышеперечисленным критериям.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ БОРАТА ЖЕЛЕЗА

Замковская А.И.¹, Наухацкий И.А.², Максимова Е.М.³

¹ студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

² зав. лаб. РСА кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

³ доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

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

Введение. В настоящей работе был исследован порошковый образец бората железа $FeBO_3$, имеющего уникальное сочетание прозрачности в видимом диапазоне и магнитной упорядоченности. Свойства конкретного порошка существенно зависят от параметров его тонкой структуры, а именно размера кристаллитов и напряжений, возникающих в них.

Цель работы: определение зависимости параметров тонкой структуры $FeBO_3$ от температуры методом порошковой высокотемпературной рентгеновской дифрактометрии.

Методика исследования. Эксперимент проводился на рентгеновском дифрактометре SmartLab Rigaku с использованием медного излучения. Съемка проводилась в интервале углов $2\theta = 20-60^\circ$ с шагом $0,02^\circ$ в диапазоне температур от 25 до 600°C . Дифракционные пики аппроксимировались функцией псевдо-Войта, рисунок 1, которая представляет собой сочетание аналитических функций Гаусса G и Лоренца L и определяется «коэффициентом смешения» η :

$$I = \eta L + (1 - \eta)G \quad (1)$$

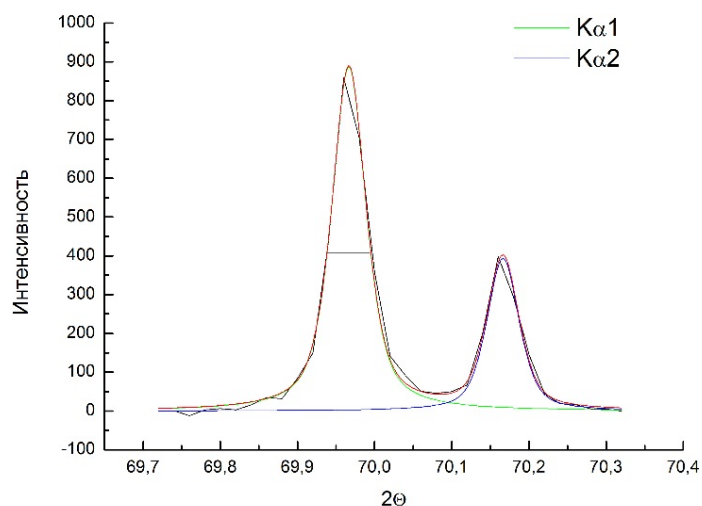


Рисунок 1. Аппроксимация пика (208) функцией псевдо-Войта.

Расчет параметров тонкой структуры проводился методом Селякова-Шеррера и Уилсона-Стокса, основанным на измерении полуширины дифракционной линии:

$$D = K\lambda / B_{hkl} \cos \theta \quad (2)$$

$$e = B_{hkl} / 4 \tan \theta \quad (3)$$

где $K \approx 0,94$; D - размер области когерентного рассеяния; e – величина микронапряжений; B_{hkl} - физическое уширение пика; θ – угол Брэгга.

Вклад в уширение пика B_{hkl} от размера областей когерентного рассеяния и микронапряжений разделялся методом Вильямсона-Холла и методом номограмм.

В результате была получена температурная зависимость параметров тонкой структуры исследованного порошка бората железа, рисунок 2.

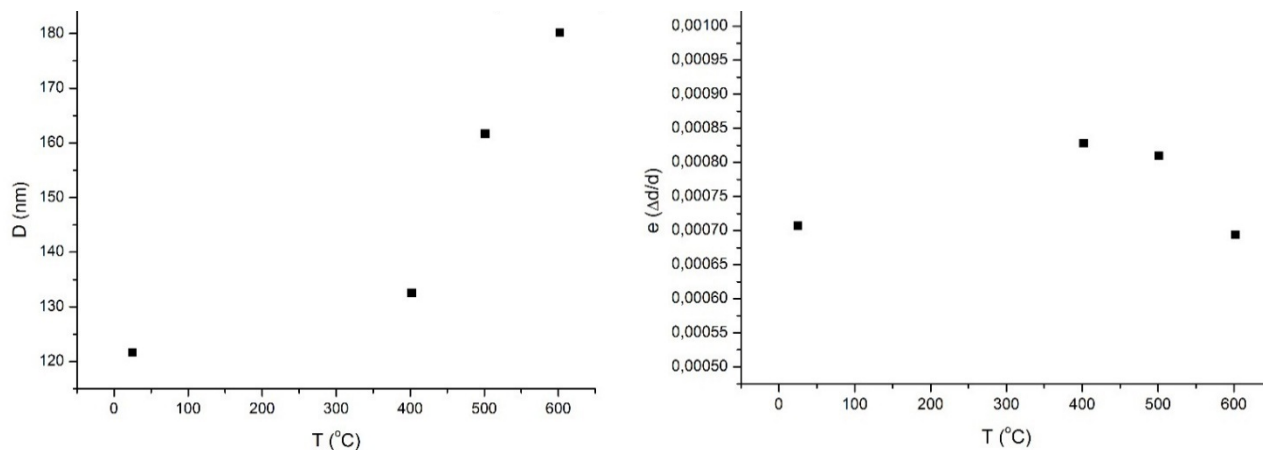


Рисунок 2. Зависимость параметров тонкой структуры: размеров кристаллитов D и величины микронапряжений e бората железа FeBO_3 от температуры.

Заключение. Видно, что с ростом температуры средний размер областей когерентного рассеяния возрастает от 122 нм (комнатная температура) до 180 нм (600 °C), а величина микронапряжений уменьшается в интервале температур от 400 до 600°C, что свидетельствует о процессах упорядочения кристаллической структуры FeBO_3 при отжиге в данном температурном интервале.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КРЕКИНГА

Батиашвили Л.А.¹, Максимова Е.М.², Наухацкий И.А.³

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

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

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

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

Введение. В КФУ был разработан метод получения углеродосодержащего материала методом низкотемпературного каталитического крекинга. В этой работе исследуется фазовый состав данного материала.

Цель исследования: изучение фазового состава углеродосодержащего материала, который может служить основой для получения фуллерита C₆₀.

Метод исследования и оборудование. Рентгеноструктурные исследования проводились на дифрактометре общего назначения ДРОН-3 с использованием медного монохроматического излучения K α в угловом диапазоне 2 θ от 10 до 60°. После определения угловых положений дифракционных пиков, по формуле Вульфа-Брегга (1) рассчитывались межплоскостные расстояния d/n для идентификации фаз.

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

где d – межплоскостное расстояние;

θ – угол расположения дифракционного пика (угол Брегга);

n – порядок отражения;

λ – длина волны рентгеновского излучения.

Результаты исследований. Известно, что в конденсированном состоянии фуллерены образуют молекулярный кристалл, имеющий кубическую гранецентрированную решетку – фуллерит. На дифрактограмме (Рис. 1) углеродосодержащего образца наблюдается ряд пиков, характерных для фуллерита C₆₀, C₇₀, а так же пики от других кристаллических фаз углерода (Табл. 1).

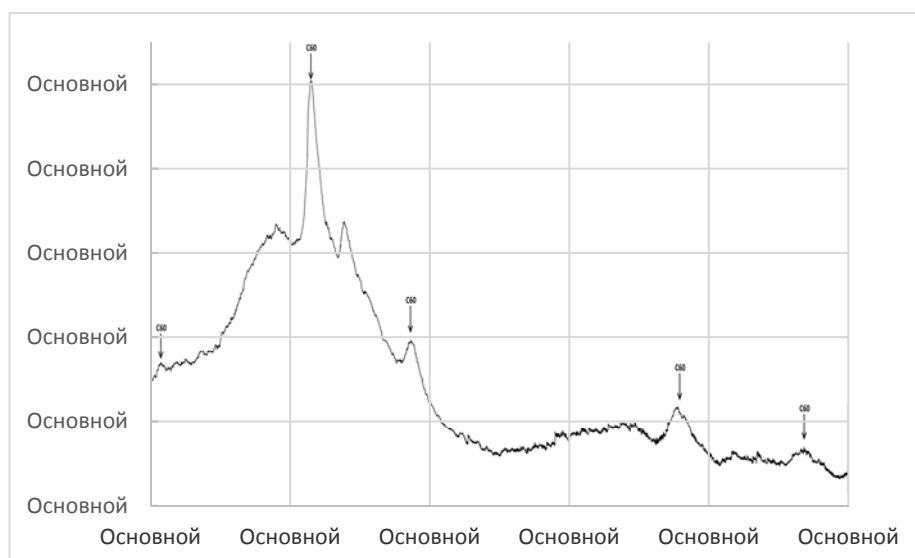


Рис. 1. Дифрактограмма фуллеренсодержащего высокотемпературного образца.

В малоугловой области дифрактограммы наблюдается большое аморфное гало, которое указывает на то, что не все фазы в исследованном образце находятся в упорядоченном состоянии.

Таблица 1. Фазовый состав углеродного материала

2 θ	I%	I	d/n	Δ теор, %	-d/n	+d/n	Card 01-072- 2091	Card 00-048- 1206	Card 00-044- 0558	Card 01-089- 7213
							Carbon	Carbon	Carbon	Carbon
							C8	C70	C60	Graphite-2H
13,44	41,90	419,69	6,588	0,025	6,423	6,753				
18,98	88,30	884,49	4,677	0,025	4,56	4,794		4,587		
21,40	100,00	1000,00	4,152	0,025	4,048	4,256		4,051	4,090	
26,55	91,71	918,59	3,358	0,025	3,274	3,442		3,345	3,249	3,356
28,05	38,77	388,34	3,181	0,025	3,102	3,261			3,163	
28,73	26,36	264,03	3,107	0,025	3,029	3,185	3,02642			
29,43	19,82	198,57	3,035	0,025	2,959	3,111				
29,69	19,44	194,72	3,009	0,025	2,934	3,085				
33,02	20,87	209,02	2,713	0,025	2,645	2,781			2,726	
38,78	19,66	196,92	2,322	0,025	2,264	2,38				
38,16	21,42	214,52	2,359	0,025	2,3	2,418			2,397	
39,80	19,44	194,72	2,265	0,025	2,209	2,322			2,238	
40,31	21,69	217,27	2,237	0,025	2,181	2,293	2,14000			2,134

Вывод. На дифрактограмме углеродосодержащего образца, полученного методом низкотемпературного крекинга наблюдается ряд пиков, характерных для фуллерита C60 и C70, а так же большое аморфное гало, которое можно объяснить наличием аморфного углерода.

СВЧ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕСТАВРАЦИИ
ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Полетаев Д.А.¹, Нудьга А.А.¹, Соколенко Б.В.²

¹доцент кафедры радиофизики и электроники физико-технического института КФУ

²доцент кафедры общей физики физико-технического института КФУ

Введение. Объектам культурного наследия часто требуются реставрация. Для этого существует большое количество рекомендаций и методик, описанных в работе Подъяпольского С.С. «Реставрация памятников архитектуры». Однако данные методы учитывают лишь формальное соответствие материалов реставрируемому объекту. Но разнородные материалы способны взаимодействовать между собой, приводя к изменению цвета и структуры объекта. Поэтому требуется проводить предварительное качественное исследование параметров материалов историко-культурных объектов для подбора схожих реставрационных материалов.

В настоящее время ближнеполевые СВЧ методы диагностики находят применение в науке, технике и народном хозяйстве. Их перспективность обусловлена неразрушаемостью образца, отсутствием физического контакта, возможностью получения экспресс-данных при проведении исследований. Данный класс приборов позволяет проводить количественно анализировать диэлектрические объекты, за счет измерения электрофизических параметров: относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь. Неотъемлемой составляющей аппаратуры при использовании ближнеполевых СВЧ методов являются резонаторные измерительные преобразователи, конструкции и геометрия которых определяются областью использования. Наибольшее распространение получила конструкция резонаторного измерительного преобразователя с коаксиальной измерительной апертурой. Информационные сигналы данного устройства (добротность, частот и их изменение), как показано в работе Гордиенко Ю.Е. «Вклад колебательных и излучательных потерь в характеристики СВЧ преобразователей с коаксиальной измерительной апертурой» однозначно связаны с электрофизическими параметрами исследуемого объекта.

Целью работы является анализ применимости резонаторного измерительного преобразователя для подбора схожих материалов применяемых при реставрации историко-культурных объектов. Методика исследований базируется на прямом численном методе конечных элементов.

Результаты исследований. На рис. 1 представлена конструкция рассматриваемого резонаторного измерительного преобразователя с прилегающим объектом. Структура включает: отрезок коаксиального волновода, образец толщиной h_2 с электрофизическими параметрами $\varepsilon_2, \operatorname{tg} \delta_2$. Для проведения практических измерений важно, чтобы электрофизические параметры образца оказывали как можно большее влияние на информационные сигналы преобразователя. Из теории коаксиальных линий передач известно, что минимальный коэффициент затухания в коаксиальной линии достигается при отношении радиусов: $R_1 / R_2 = 0,28$. Очевидно, максимальная добротность четвертьволнового резонатора будет также достигаться при данном отношении.

Предварительный анализ позволяет выбрать геометрические размеры резонаторного измерительного преобразователя (по рис. 1): $H / \lambda = 1,25$; $R_2 / \lambda = 0,17$; $h / H = 5,6 \cdot 10^{-3}$; $z = \infty$ (резонатор нагружен на свободное пространство). Для анализа применимости резонаторного измерительного преобразователя для подбора схожих материалов применяемых при

реставрации историко-культурных объектов применялось численное моделирование методом конечных элементов.

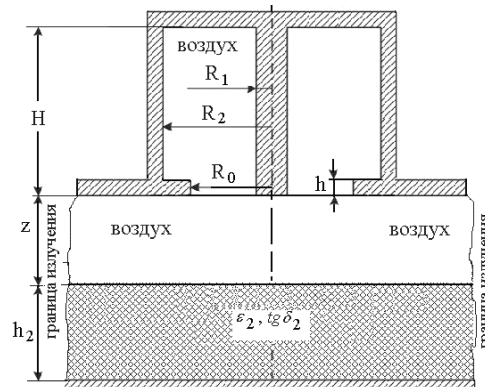


Рис. 1. Конструкция резонаторного измерительного преобразователя

Из общих физических представлений следует, что выбором радиуса R_0 апертуры можно существенно изменять добротность резонаторного измерительного преобразователя. На рис. 2 приведена зависимость добротности резонаторного измерительного преобразователя от продольного размера апертурно-формирующей части h , при разных значениях величины R_0 . Характер изменения добротности (рис. 2) носит резонансный характер. Более острый резонансный пик соответствует меньшему R_0 , что согласуется с общими физическими представлениями. Как видно из графика (рис. 2) добротность резонаторного измерительного преобразователя при исследовании образца с параметрами $\varepsilon_2 = 3$; $\text{tg } \delta_2 = 0,01$ остается довольно высокой даже при раскрывах апертуры $R_0/R_2 > 0,3$. Отчетливо видно значительное изменение добротности с образцом, при $h/H \approx 0,4$. Вместе с тем, даже при $h/H \approx 0,4$, изменение добротности РИП в 2 раза меньше, чем при $h \rightarrow 0$. Это связано со значительным провисанием поля из апертуры.

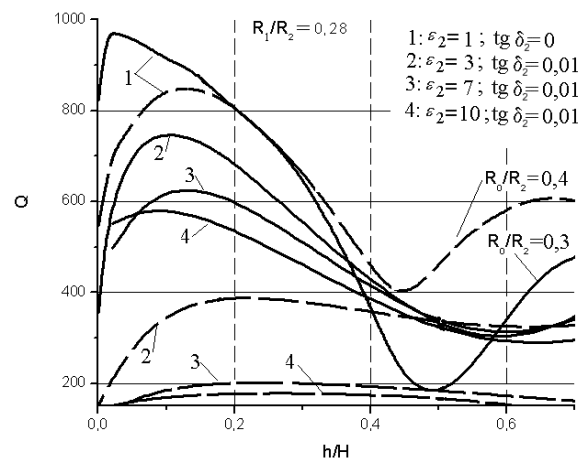


Рис.2. Зависимость добротности резонаторного измерительного преобразователя от величины размеров апертуры

Для исследований объектов культурного наследия целесообразно обеспечить возможность исследования устройством широкого класса материалов. С этой точки зрения, учитывая графики на рис.2, наиболее оптимальными параметрами резонаторного измерительного преобразователя будут: $H/\lambda = 1,25$; $R_2/\lambda = 0,17$; $h/H = 0,01$; $\lambda = 3$ см.

Выводы. Проведенные численные исследования позволяют сделать вывод о высокой чувствительности резонаторного измерительного преобразователя и его применимости для подбора схожих реставрационных материалов.

СОЗДАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕГО МОДУЛЯ К РЕНТГЕНОВСКОМУ ДИФРАКТОМЕТРУ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Чувылёв А.¹, Коваленко М.¹, Наухацкий И.А.², Максимова Е.М.³

¹студент кафедры радиофизики и электроники

Физико-технического института КФУ

²заведующий лабораторией РСА кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

³доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

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

Введение. Развитие технологического процесса требует прогнозируемого поведения материалов при различных температурах. Следовательно, для установления оптимальных режимов их эксплуатации необходимо выявить значения температур, при которых происходит изменение механических и физических свойств, и установить их допускаемые значения. Одним из основных методов исследования тепловых свойств кристаллов является метод температурной рентгеновской дифрактометрии. На данный момент, в институте проводится рентгеноструктурный анализ на дифрактометре общего назначения ДРОН-3 при комнатной температуре, что не обеспечивает всех потребностей эксперимента. Особенно интересно исследовать свойства ряда материалов при низких температурах. При этом, существующие промышленные низкотемпературные приставки имеют высокую стоимость и часто не подходят к имеющемуся оборудованию.

Цель исследования: создание охлаждающего модуля низкой себестоимости, обеспечивающего стабильно держащуюся температуру в интервале от комнатной до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Методика исследований. Решением данной проблемы, в заданных условиях, является использование полупроводниковых приборов, принцип работы которых, основан на эффекте Пельтье.

Суть эффекта заключается в выделении или поглощении тепла в зоне, где контактируют разнородные проводники, по которым проходит электрический ток. В соответствии с классической теорией существует следующее объяснение явления: электрический ток переносит между металлами электроны, которые могут ускорять или замедлять свое движение, в зависимости от контактной разности потенциалов в проводниках, сделанных из различных материалов. Соответственно, при увеличении кинетической энергии, происходит ее превращение в тепловую. На втором проводнике наблюдается обратный процесс, требующий пополнения энергии, в соответствии с фундаментальным законом физики. Это происходит за счет теплового колебания, что вызывает охлаждение металла, из которого изготовлен второй проводник.

Таким образом, в основании охлаждающего модуля лежат элементы Пельтье, которые устанавливаются в корпус, а корпус монтируется непосредственно в дифрактометр. Управление происходит посредством задания температурных значений на компьютере в визуальной оболочке, а далее всё управление берет на себя программируемый контроллер.

Основой нашей конструкции будет стандартная гониометрическая система дифрактометра, позволяющая при стандартном использовании позиционировать монокристаллические образцы под различными углами (выводить кристаллографические плоскости в отражающую позицию). Достаточный внутренний объем и совокупность микроподвижек позволит нам разместить все элементы нашего модуля внутри гониометрической системы с возможностью механической юстировки, рис.1.

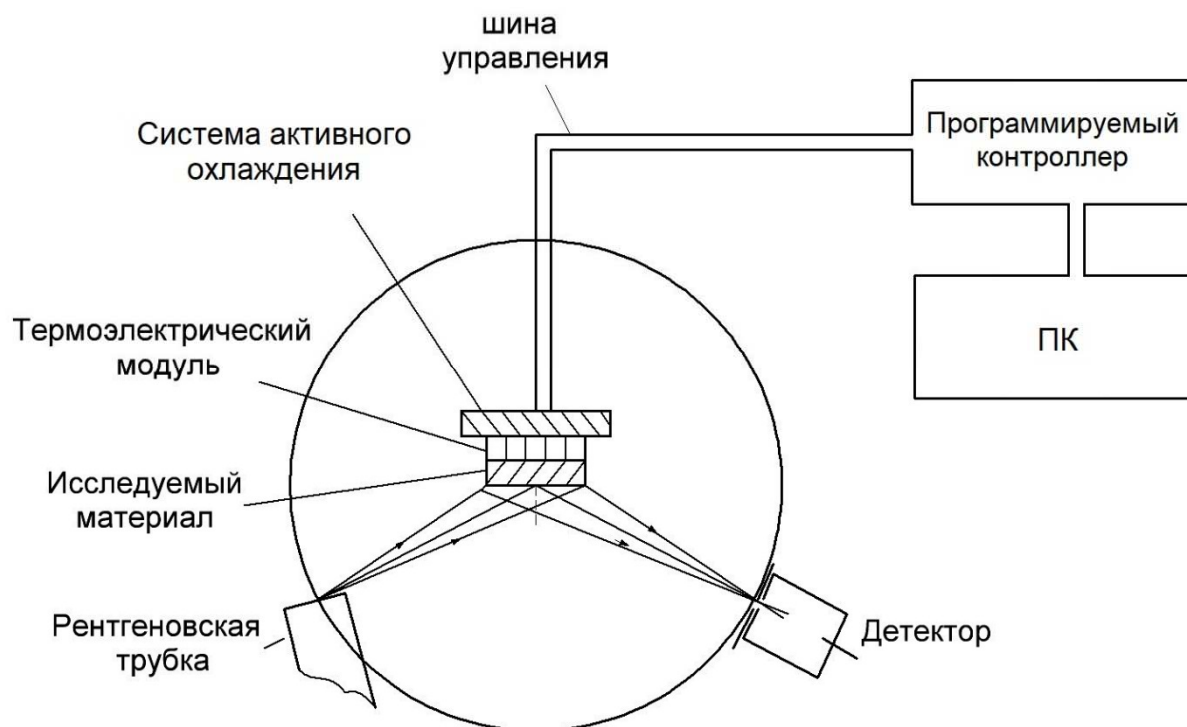


Рисунок 1. Расположение охлаждающего модуля в гониометре рентгеновского дифрактометра.

Заключение. Мы планируем использование данных элементов в каскадном исполнении, что позволит достичь более низких температур, чем система с одиночным элементом.

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ОНЛАЙН-КУРСОВ

Полетаев Д.А.¹, Соколенко Б.В.²

¹доцент кафедры радиофизики и электроники физико-технического института КФУ

²доцент кафедры общей физики физико-технического института КФУ

Введение. Увеличивающийся объем информации не способствует повышению мотивированности обучающихся. Современному студенту приходится усваивать огромное количество материала. Однако продолжительность обучения не увеличивается. Это приводит к выпуску специалистов, требующих дополнительной подготовки, которая производится непосредственно при исполнении служебных обязанностей. Как показано в работе Герасимова Б.Н. «Компетентность и профессионализм специалиста: проблемы и перспективы» молодые выпускники стремятся проходить различные тренинги, посещать тематические семинары. Однако данные мероприятия не носят систематический характер.

Современные коммуникационные технологии позволяют легко получать доступ к любым информационным ресурсам. Наряду с этим, присутствует проблема выбора источника информации и оценка ее адекватности. Представляется целесообразным организовать онлайн-курсы для специалистов гуманитарного направления подготовки, занятия которых проводят обучающиеся естественнонаучных направлений подготовки.

Целью работы является предложение и анализ возможностей организации онлайн-курсов для выпускников гуманитарного направления подготовки с привлечением к проведению занятий обучающихся естественнонаучных направлений подготовки.

Результаты. Естественно, что выпускники гуманитарного направления подготовки, в частности экономического, разбираются в технических вопросах гораздо хуже, чем обучающиеся естественнонаучных (технических) направлений. Однако даже устроившимся работать по специальности выпускникам-гуманитариям приходится часто консультировать клиентов в несвойственных для них областях. Так совмещают ряд профессий специалисты банков, которым необходимо пояснять технические вопросы клиентам, продавцы электронной техники, менеджеры компаний.

Онлайн-курсы для выпускников гуманитарного направления подготовки должны обязательно включать программу, составленные компетентными специалистами, план тематических семинаров, материалы, рекомендуемые для ознакомления и подготовки, перечень вопросов. Рассмотрим каждый элемент в отдельности.

Программа онлайн-курсов для выпускников гуманитарного направления подготовки должна содержать основные разделы для рассмотрения. Составление такой программы целесообразно поручить ведущему специалисту, имеющему соответствующую квалификацию. Таким специалистом может быть преподаватель вуза или научный сотрудник соответствующего профиля.

Составление плана тематических семинаров также целесообразно поручить специалисту данного направления. Для проведения онлайн-занятий, согласно утвержденного плана, целесообразно привлекать обучающихся соответствующих направлений подготовки, успешно освоивших требуемые компетенции. При этом увеличивается мотивация студентов, за счет делегирования им преподавательских полномочий. Также обучающиеся стремятся лучше освоить требуемые разделы, чтобы лучше преподнести материал. Онлайн-занятия позволяют охватить гораздо большую аудиторию слушателей, чем очные. Занятия могут проходить в форме вебинаров, допускающих одновременное подключение множества пользователей. Систематический характер мероприятий, проводимых по утвержденному плану, позволяет существенно повысить компетентность выпускников-гуманитариев в технических вопросах.

Рекомендуемые материалы отбираются ведущими специалистами, имеющими соответствующую квалификацию. Они должны содержать информацию, дополняющую занятия и позволяющую углубленно изучить рассматриваемые вопросы.

Контроль освоения программы может осуществляться с помощью разработанных ведущими специалистами, имеющими соответствующую квалификацию, онлайн-тестов.

Выводы. Организацией проведения онлайн-курсов могут заниматься высшие учебные заведения соответствующих профилей. При этом обучающиеся получают возможность практически применить полученные навыки.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРЕКЛОННОГО ВОЗРАСТА

Полетаев Д.А.¹, Соколенко Б.В.²

¹доцент кафедры радиофизики и электроники физико-технического института КФУ

²доцент кафедры общей физики физико-технического института КФУ

Введение. В мире более 10% от всех жителей являются пенсионерами. Многие из них одиноки. Большая часть их времени протекает в одиночестве. Пенсионерам зачастую даже не с кем поговорить... Повсеместное распространение беспроводного интернета и снижение тарифов делают возможным обеспечение широкого доступа лиц преклонного возраста в сеть. Однако, при этом требуется решить ряд задач по созданию простого, интуитивного интерфейса, проведение комплекса мероприятий по привлечению молодежи к проблемам лиц пенсионного возраста.

Целью работы является разработка и внедрение мультимедийных телекоммуникационных систем для пользователей преклонного возраста.

Результаты. На сегодняшний день активно вентилируется вопрос о введении электронных учебников для обучающихся. Такое устройство может комплектоваться модулем связи с программно-аппаратным комплексом пользователя преклонного возраста для общения и обмена опытом. Таким образом, определенный пенсионер «закрепляется» за представителем молодежи. Участниками студенческого конструкторского бюро физико-технического института Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского предлагается концепция «связь поколений». Она подразумевает взаимовыгодное взаимодействие лиц преклонного возраста и подрастающего поколения. При этом волонтеры способствуют решению бытовых проблем пенсионеров, а старшее поколение делится опытом и навыками. Это способствует улучшению освоения учебного материала, как отмечено в работе И. Шаповаленко «Возрастная психология». При этом информационные технологии являются в данном случае лишь инструментом, который позволяет упростить общение. Коммуникационное устройство пенсионера может отображать текущий статус конкретного волонтера «занят» или «свободен», а также позволяет сформулировать запрос. Также устройство коммуникации позволит проводить занятия с обучающимися, без необходимости пожилому человеку присутствовать лично. Обучающиеся могут свободно получать консультацию профессионального репетитора и ценные рекомендации. На фоне конкурентных решений, предлагаемая концепция отличается высокой эффективностью, высоким воспитательным аспектом, низкой ценой и высокой степенью удобства. Целевыми предложениями являются взаимовыгодность для старшего и младшего поколений, увеличение сознательности и повышение культуры.

На сегодняшний день участниками студенческим конструкторским бюро физико-технического института Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского проанализированы основные требования к интуитивному интерфейсу для пользователей преклонного возраста, активно ведутся работы по разработке прототипа коммуникационного устройства.

Выводы. Материально-достойные условия для лиц преклонного возраста должны быть подкреплены моральными ценностями простого человеческого общения! Это нельзя выразить в процентах экономической эффективности и графиках. Это просто надо осуществить!

МЕТОД КОНТРОЛИРУЕМОЙ СДАЧИ ЗАДАНИЙ ОБУЧАЮЩИМИСЯ

Полетаев Д.А.¹, Соколенко Б.В.²

¹доцент кафедры радиофизики и электроники физико-технического института КФУ

²доцент кафедры общей физики физико-технического института КФУ

Введение. Современные методы обучения весьма эффективны и разнообразны. Одни из них позволяют упростить процесс освоения материала, другие – заинтересовать обучающихся. Однако, кроме успеваемости отдельных личностей, существуют понятия общей успеваемости и сплоченности коллектива. Для увеличения данных показателей проводятся специальные тренинги. Это требует проведения отдельных внеурочных мероприятий с обучающимися. Целесообразно разработать методику для увеличения эффективности обучения всей группой обучающихся, которая одновременно позволяет увеличить сплоченность коллектива.

Целью работы является разработка и анализ методики контролируемой сдачи заданий обучающимися.

Результаты. В работе Герасимова Б.Н. «Компетентность и профессионализм специалиста: проблемы и перспективы» описываются основные компетенции, которыми должен обладать современный специалист. Однако группы обучающихся чрезвычайно разнородны по уровню подготовки. Современная педагогика, как описано в работе Сластенина В.А. «Педагогика», активно продвигает концепцию обучения «от каждого к каждому». Согласно данной концепции, обучающиеся, получив информацию, осваивают ее, консультируясь друг у друга. Однако недавно образованным коллективам и просто новеньким бывает довольно сложно участвовать в данном процессе. Предлагаемый метод подразумевает усиление сплоченности коллектива обучающихся и улучшение процесса освоения компетенций. Метод состоит в следующем. При получении домашнего задания для выполнения, обучающийся выбирает контролера. Контролер может выбираться по списку академической группы как обучающийся, стоящий по списку группы на следующей позиции от получившего задание. Однако контролер не может быть одним и тем же человеком для всех заданий. Контролером не может выступать обучающийся сам у себя. Обучающийся выполняет свое задание и показывает полностью выполненное задание контролеру. Контролер проверяет правильность выполнения задания и рекомендует его к сдаче. Если задание выполнено неправильно, его требуется дорабатывать. При сдаче задания преподавателю обучающийся оговаривает, какого контролера выбрал. Если контролер не подтверждает факт контроля задания, задание возвращается для проверки контролером. Если преподаватель обнаруживает, что задание выполнено неправильно, контролер и сдающий задание получают штрафное задание по данной теме дополнительно к имеющимся. Задание считается сданным обучающимся, если и контроллер и преподаватель считают его таким. В случае возникновения разногласий дополнительно привлекается к рассмотрению вопроса еще один преподаватель.

Выводы. Метод контролируемой сдачи заданий обучающимися позволяет увеличить уровень освоения компетенций за счет тщательной проработки домашних заданий, повысить сплоченность коллектива, когда обучающиеся совместно обсуждают и решают задачи. Описанная методика может быть применена в высших и средних учебных заведениях.

ЭВОЛЮЦИЯ ФРАКТАЛЬНО - КЛАСТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ВОДЫ

Шостка В.И.¹, Шостка Н.В.², Доненко И.Л.³

¹ канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры общей физики, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», vshostka@yandex.ru

² канд. физ.-мат. наук, ведущий аналитик отдела организации научно-исследовательской работы студентов и конкурсов ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»

³ обучающийся первого курса магистратуры кафедры общей физики, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»

Введение. В последние годы возрастает интерес к вопросам исследования структуры воды как со стороны биологов, химиков или медиков, но также и со стороны физиков. Накоплен достаточно интересный экспериментальный материал, который позволяет рассматривать воду как основу процессов, происходящих в ней благодаря перестройке ее структуры. Отсутствие же строгих представлений о структуре воды и ее организации на молекулярном уровне тормозит развитие методов не только количественного анализа, но и качественной оценки структурированности воды.

Структура воды связывается с наличием в них водородных связей и образованием гидратированных ионов, формирующих сложную трехмерную сетку. Отдельные молекулы, соединенные водородными связями, объединяются в ассоциаты или кластеры, размеры которых зависят от разных условий, прежде всего, от температуры. Т.к. вода чувствительна к внешним воздействиям, то для изучения эволюции ее свойств необходимо применять адекватные неразрушающие методы исследования.

Целью данной работы является применение оптических методов исследования изменений структуры воды, т.к. она представляет собой неупорядоченную жидкость, водородные связи в которой являются короткоживущими, быстро распадаясь и также быстро объединяясь. В результате образуются ассоциаты три-, тетра-, пента-, и гексамеров, а также и свободных молекул воды.

Изложение основного материала. В качестве исследуемой была выбрана дистиллированная вода, которая помещалась в виде капли в треугольную ячейку, показанную на рис.1.

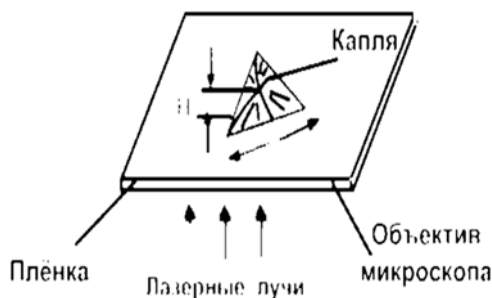


Рис.1. Треугольная ячейка, вырезанная на пленке, наклеенной на предметное стекло микрокопированной пленки, в которую помещена капля исследуемой дистиллированной воды.

Свет от He – Ne лазера с длиной волны $\lambda = 0,6328$ мкм фокусируется с помощью микрообъектива через предметное стекло на ячейку с каплей дистиллированной воды. Фрактальные срезы структуры воды до фокуса и после фокуса фиксируются при помощи ССД – камерой на мониторе компьютера (Рис.2).



Рис.2 Поверхность эллиптической омбилики вблизи фокуса микрообъектива, фрактальные срезы которой исследованы в данной работе.

Эволюция фрактально - кластерной структуры дистиллированной воды представлена на Рис.3.

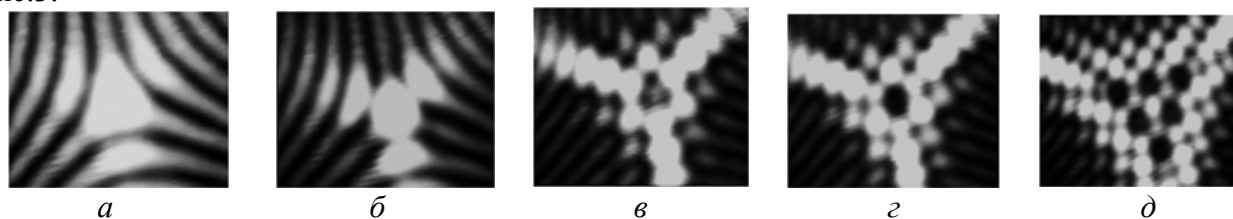


Рис.3

Выводы. В результате проведенных исследований подтверждено и наглядно показано, что вода обладает уникальными свойствами, которые связаны с наличием порядка в ее разнообразных состояниях вследствие кооперативного эффекта структурного и динамического изменений в неоднородной сетке водородных связей. Обнаружено, что, группируясь, тетраэдры молекул воды (*а*) образуют разнообразные пространственные и плоскостные структуры (*б – д*). Как видно из полученных фрактальных картин кластеры представляют собой микрообъемы, которые содержат в своей структуре как ассоциированные молекулы воды, так и фрагменты, обладающие развитой структурой с сильно выраженной упорядоченностью. Иерархия модулей «фрактальной» структуры воды соответствует следующим моделям(рис.4).

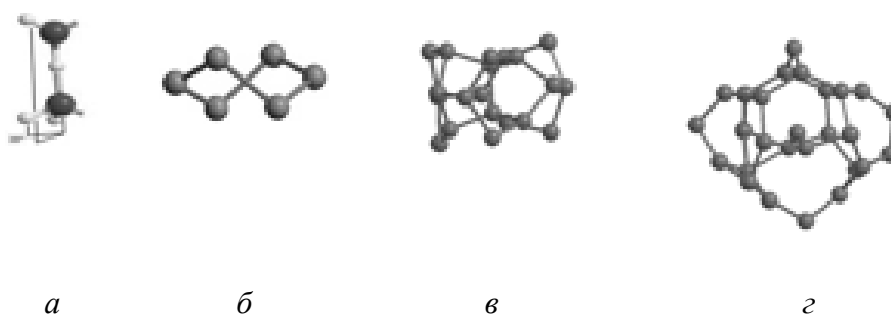


Рис.4. *а* - димер, *б* - гексацикл (H_2O)₆, *в* - (H_2O)₂₀ или L-кластер, *г* - (H_2O)₂₇ или Т-кластер.

ФРАКТАЛЬНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ПОЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Доненко И.Л.

студент кафедры теоретической физики физико-технического института КФУ
научный руководитель: д.ф.м.н., профессор Воляр А.В.

Введение. В терагерцевой томографии и рентгеновской микроскопии в последнее время применяется изображения, сформированные зонными пластинками с использованием фрактальной техники. Особый интерес представляют исследования влияния фрактальной размерности на распределение интенсивности света в близи фокуса зонной пластинки.

Целью данной работы было создание структуры фрактального распределения интенсивности излучения в зависимости от осевой координаты и порядка генерации фрактала.

Цель и задачи исследований.

- изучение структуры фрактального распределения интенсивности излучения в зависимости.

Результаты исследований. В настоящее время интерес к зонным пластинкам связан с тем, что они являются ключевым элементом формирования изображений в томографии и рентгеновской микроскопии.

В работах А.А. Зинчик, Я.Б. Музыченко, представлены экспериментальные результаты исследований, часть из которых не получила должного объяснения в рамках развитых авторами математических моделей.

В данной работе представлены результаты аналитического расчета и компьютерного моделирования, и экспериментального исследования фазовых зонных пластинок в близи фокуса микрообъектива.

Методика измерения заключается в получении дифракционных картин лазерного излучения прошедших различного типа транспаранты в свободном пространстве и расчёте их фрактальных размерностей.

Для расчета интенсивности от фокусного расстояния применялось авторское программное обеспечение.

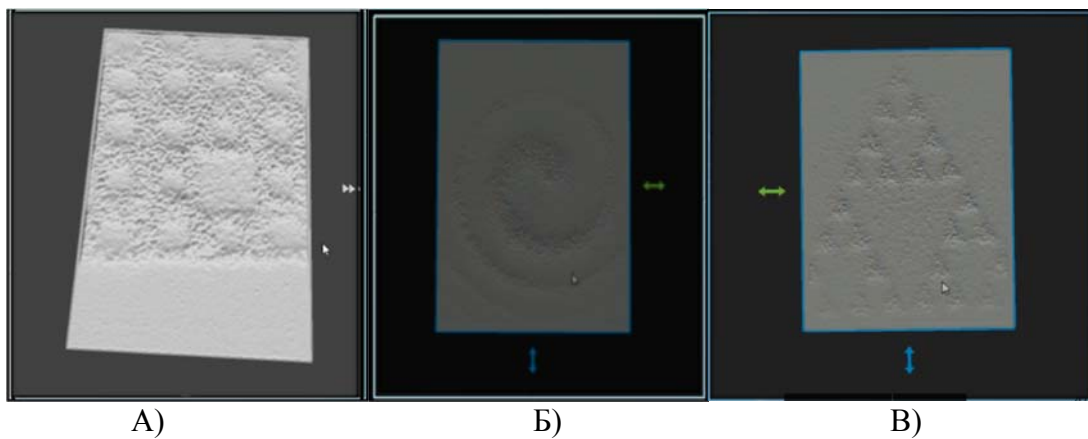


Рисунок 1. А) 3D модель фотонного кристалла для ковра Серпинского. Б) 3D модель фотонного кристалла для спиралевидного транспаранта. В) 3D модель фотонного кристалла для треугольника Серпинского.

Выводы: для транспаранта типа ковра Серпинского было получено, что структура фрактальной размерности не разрушается. Экспериментальная кривая совпадает с теоретической.

Для спиралевидного транспаранта в отличие от транспаранта типа ковра Серпинского, при прохождении двойного фокуса получается инверсное изображение, а при прохождении фокуса структура имеет вид двойной спирали. За двойным фокусом происходит разрушение дифракционной картины.

Для транспаранта типа: «треугольник Серпинского» получено фрактальное изображение и его размерность близкая к теоретической. Треугольник Серпинского является неустойчивым транспарантом т.к. маленькие треугольники схлопываются при определенной итерации, что приводит к разрушению фрактальной дифракционной картины.

Впервые построены 3D модели пространственных фотонных кристаллов, сформированных на основе полученных экспериментальных данных.

PHASE SHIFTING MICROSCOPY WITH OPTICAL VORTICES

B. Sokolenko^{1,2}, D. Poletaev², S. Halilov², N. Volotskaya³, A. Ilyasova², A. Prisyazhnuk²

¹*Department of Science and Research, V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

²*Physical-Technical Institute, V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

³*Medical Academy named after S.I. Georgievsky, V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

Abstract. In this work we review principles and applications of a new scanning phase shifting profilometry with using of optical vortices. High spatial resolution caused by vortex phase sensitivity is analysable to retrieve the 2D and 3D shape of optically transparent and reflecting surfaces exceed optical diffraction limit. This method applicable for nondestructive testing of live cells and biological tissues in real-time regime. Automatic processing of vortex interferograms allow to achieve a vertical resolution down to 1,75 nm.

Introduction

Phase shifting interferometry for fast and nondestructive analysis is extensively adopted in optical sensing and metrology. Numerous papers considered methods with using of iterferograms sequence to extract the phase and surface relief. Practical application of optical vortex in the vortex scanning optical imaging allows to study, for example, the surface geometry and optical density of the sample by analysis of phase singularity's distortion. It was shown that vortex phase analysis carrier information about sample topology, and depends of the features of incident beam and different aperture systems. This study demonstrates the response of the optical vortex imbedded in focused Gaussian beam to a produce a small phase shift after spreading through the probe and may be used for high-resolution microscopy.

Results and discussion

In this work we apply a method of surface imaging with optical vortices. Due to the high sensitivity of singular beam phase to the small distortions of the wavefront, the interference of the reference beam and the Laguerre-Gaussian beam transmitted through the isotropic thin plate coated with a wedge-shaped layer of 500 nm thickness makes possible to analyze the rotation of the spiral phase, depending on the thickness of the applied layer, as well as a surface topology in reflected beam regime.

In case when singular beam propagates through the isotropic plate with a stepped profile so that the reference (zero-order) plane coincides with the lower edge of the surface, whereas due to the optical path difference from lower to height surfaces we can observe a phase shift (see Figure 1(a)). This effect may serve as a basis for high-resolution profilometric devices. In contradistinction to classical methods which uses plane wave, the singular beam with helical wavefront has a unique feature – the spiral interference pattern and its rotation can be easy recovered with computer processing in real-time.

To enable rapid implementation and universal phase recovery method of vortex beam with images from the CCD camera, we used the method proposed in the works. For the comparison of

object beam with the reference one the Mach-Zehnder interferometer was used (See Figure 1(b)). The sharp thick fringes with a characteristic "fork", corresponding to optical vortices were imaged by the camera and assayed.

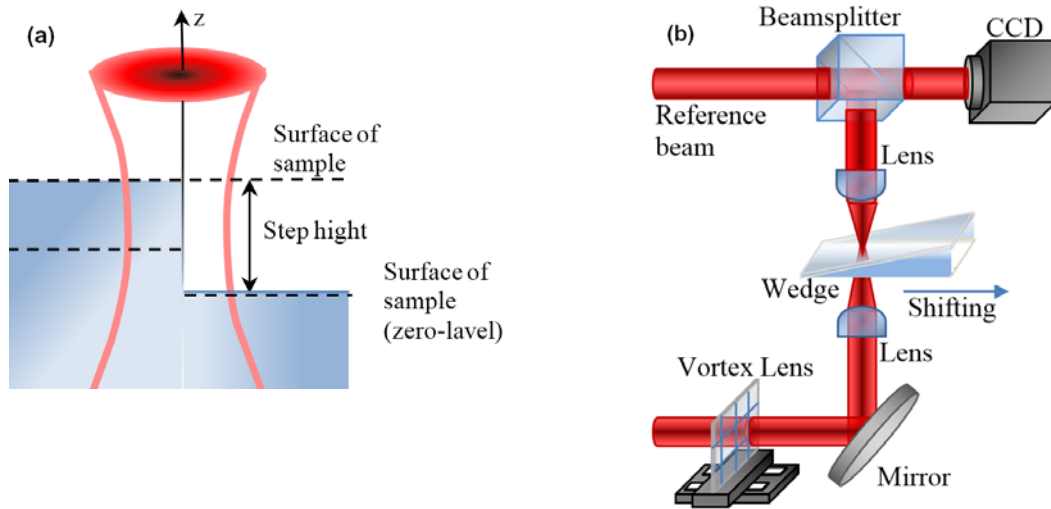


Figure 1(a, b). (a) Singular beam spreading through the phase step; (b) Part of experimental set-up based on Mach-Zehnder interferometer.

Evaluation of phase sensitivity shows that the distinguishable spiral phase rotation occurs at the isotropic plate thicknesses equals to $\lambda/300$, where λ – is a wavelength. The overall resolution of vortex profilometer based on phase-shifted singular beam is determined by shift - retrieval algorithm and may exceed diffraction limits for lens systems.

Conclusion

In the present research we have theoretically and experimentally considered evaluation of singular beam's phase sensitivity and have shown that the distinguishable spiral phase rotation occurs at the isotropic plate thicknesses equals to $\lambda/120$, where λ – is a wavelength. Proposed technique may be applied to profilometry of optically transparent and reflecting surfaces with exceeding optical diffraction limit. Moreover, this method is applicable for non-destructive testing of live cells and biological tissues in real-time regime. Automatic processing of vortex spiral interferograms in conjunction with focusing unit will allow to achieve theoretically calculated limit of vertical resolution down to 1,75 nm for visible light and longitudinal resolution down to 7 nm. Another achievable technical result is the possibility to observe surfaces of substantially larger dimensions than other known profilometers allow, since the size of the surface under investigation is limited only by a specific implementation of the conjugation block used. This allows us to use the developed optical profilometer for non-contact measurements and metrological testing directly in industrial conditions.

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ В КРЫМУ К 100 – ЛЕТИЮ ТАВРИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Шостка В.И.

*канд. физ. – мат. наук, доцент кафедры общей физики, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
vshostka@yandex.ru*

Введение. В истории Таврического университета) можно выделить особый, начальный период его деятельности, связанный с именами известных петербургских, московских и киевских профессоров. Наряду с представителями местной интеллигенции, они участвовали в работе ряда важных научных и культурных учреждений Крыма и внесли значительный вклад в создание первого высшего заведения в Крыму.

Целью данной работы является анализ деятельности крымской интеллигенции и известных ученых в первые годы становления Таврического филиала Киевского имени Св. Владимира университета в Ялте в 1917 – 1918 гг.

Основная часть. В начале XX века высшее образование для населения Крыма, как городского, так и сельского, стала жизненной потребностью, удовлетворение которой в то время, к сожалению, задерживалось удаленностью центров высшего образования. Наличие путей сообщения, уникальные природные условия и потребности экономики крымского региона способствовали возникновению на полуострове научных учреждений.

Крым уже в начале XX в. стал всероссийской здравницей. На лечение сюда прибывало много образованной молодежи, что создавало объективные условия для организации здесь высшего учебного заведения. Природа Таврического полуострова с теплым морем, обилием света и солнечных дней, с невысокими горами, покрытыми хвойными растительностью, с близостью степи, обилием виноградников, фруктовых садов давала возможность лечения, совмещающая особенности горных климатических зон со степными и морскими.

Исключительное богатство и разнообразие природы на небольшой площади уже повлекли возникновение целого ряда научно-исследовательских учреждений: в поселке Гурзуф - Никитского ботанического сада, в Севастополе - Биологической станции Академии наук им. Т.И. Вяземского и Института физических методов лечения, в Симеизе - отделения Пулковской астрономической обсерватории, в Феодосии - Пастеровского института, в Симферополе - Помологической станции и др.

Научная работа ученых непосредственно связывалась с жизнью края. Многие ученые не были чужими в Крыму. В крупных городах Российской империи были созданы центры изучения Крыма, установились прочные связи с местными научными учреждениями. Бурными темпами развивались почти все отрасли сельского хозяйства, особенно промышленное садоводство, виноградарство, животноводство. Началось глубокое изучение геолого-минерального богатства, исследовался рекреационно-курортный потенциал полуострова, изучались рыбные запасы акватории Черного и Азовского морей. Все это требовало огромных интеллектуальных сил и притока в Крым не только рабочих рук, но и специалистов разного профиля подготовки: проектировщиков, химиков, экономистов, юристов, медиков, агрономов, ботаников, лесоводов, ветеринаров, педагогов, специалистов мореплавания и фортификации др.

Становление первого на территории Крыма вуза - Таврического университета происходило в наиболее трагический период отечественной истории. Идея о его создании в среде Крымской интеллектуальной общественности появилась в то время, когда на западных границах Российской империи пылала кровавая Первая мировая война, что затрудняло юридическую процедуру воплощения в жизнь правительственного законопроекта от 17 декабря 1916 об открытии Таврического университета.

К началу XX века в Таврической губернии было столько учебных заведений, какого близко не имели другие губернии России. Только средних учебных заведений с полным курсом насчитывалось около 55, не считая народных училищ и различных школ, подобных которым только в одной Евпатории было 32 на 27 тысяч населения. Но не было ни одного высшего учебного заведения, в котором можно было бы продолжить образование. Поэтому молодежь вынуждена была уезжать в Киев, Харьков, Москву, Санкт-Петербург и, как правило, назад в губернию уже не возвращалась. В связи с чем 15 августа 1916 года на очередном заседании Таврического губернского земства выступил с докладом о необходимости создания высшего учебного заведения в Таврической губернии видный общественный деятель, член Госсовета С. С. Крым. В объяснительной записке он писал: «Высшая школа в Крыму даст в своих стенах приют той части русской учащейся молодежи, которая не обладает вполне крепким здоровьем. Здесь за научной работой силы не только будут растрачиваться, но, напротив будут крепнуть и сберегаться на пользу Родины». Губернское земство ходатайствовало перед правительством России об учреждении в Таврической губернии высшей школы естественных наук с агрономическим и физиотерапевтическим отделением. Акцент делался на том, что университет нужен не только в Крыму, но еще более он нужен России. Многие ученые, даже и те, кто жил вне Крыма, — поддержали эту идею. Для открытия университета были выделены участок земли в 240 десятин и 16 тысяч рублей капитала.

Разработанный законопроект об открытии в Крыму университета в декабре 1916 г. был передан министру народного просвещения графу П.Н. Игнатьеву и был поддержан и подписан 31 членом Государственного Совета, в том числе князем Е. Н. Трубецким, графом А. Толстым, академиками В. И. Вернадским, С. Ольденбургом и др. Утвержден он был 14 января 1917 г. на 51-й сессии Госсовета. К этому времени Таврическое губернное земство ассигновало на расходы по содержанию университета 1 млн. рублей, а уездные земства выделили по 500 000 рублей на строительные нужды.

Когда после Февральской революции 1917 г. на южном берегу Крыма освободились здания Ливадийского дворца, решено было использовать их для размещения аудиторий будущего университета. Идею открытия университета в районе Ялты поддержало Ялтинское «Общество содействия устройству высших учебных заведений в Крыму», Ялтинское городское управление и «Коллегия ялтинских профессоров» в составе директора Никитского ботанического сада, член-корреспондента РАН ботаника Н.И. Кузнецова (1864–1932), математика Н.М. Крылова (1879–1955), зоолога С.И. Метальникова и историка М.В. Довнар-Запольского (1867–1934).

Особая роль в организации Таврического университета принадлежала Киевскому университету Св. Владимира, Ученый Совет которого 9 октября 1917 года, заслушав доклад профессоров Д. А. Граве и П. А. Ардашева об открытии в Крыму, в г. Ялте, филиального отделения университета, в соответствии с «Общим Уставом российских университетов» принял решение об открытии своего филиала в Крыму в Ливадии, в составе 4-х классических факультетов: медицинского, физико-математического, юридического и историко-филологического, а также отделений: агрономического, археологического, географического, экономико-коммерческого в Керчи, Феодосии, Симферополе и Севастополе. 17 октября 1917 г. в Крым была направлена небольшая группа для комплектации университета преподавателями. В ней были и всемирно известные ученые — академики Н.И. Андрусов, В.И. Палладин, В.А. Обручев, П.П. Сушкин, профессора М.В. Довнар-Запольский, Р.И. Гельвиг, Л.О. Кордыш, В.Г. Коренчевский и др.

5 ноября 1917 года Д. А. Граве в своем представлении физико - математическому факультету университета писал: «...мною получены заявления от профессоров Н.И. Кузнецова, Н.М. Крылова, М.А. Тихомандрицкого, а также от приват-доцента Московского университета Л.А. Вишневого о их желании читать лекции в Крымском отделении университета Св. Владимира. При сем прилагаю письма и телеграммы упомянутых лиц».

На первом своём заседании, как указывает А.И.Маркевич, коллегия ялтинских профессоров в лице: Н.И. Кузнецова, Н.М.Крылова, С.И. Метальникова и профессора университета Св. Владимира М.В. Довнар-Запольского постановили 24 ноября 1917 года: 1) Считать единственно возможным, при сложившихся обстоятельствах, образование в Ялте филиального отделения Киевского университета; 2) действовать впредь коллегиально в данном составе с присоединением профессора М.А. Тихомандрицкого и временным председателем избрать профессора Кузнецова, а товарищем председателя профессора Крылова; 3) Открыть чтение лекций в марте месяце 1918 года на отделениях естественно – историческом, математическом физико-математического факультета и 1-м курсе медицинского факультета в Ливадии или Симферополе по соглашению с земством.

28 ноября 1917 г. в Симферополе состоялось под председательством С.С. Крыма заседание комиссии при губернской земской управе с участием нескольких профессоров, проживавших в Ялте, на котором профессор университета Св. Владимира М.В. Довнар-Запольский зачитал телеграмму ректора университета Е.В. Спекторского, изложил Постановление университета о возможности открытия его филиала в Тавриде и представил распределение факультетов и их отделений в будущем университете.

30 ноября 1917 г. городская дума заслушала доклад управы об открытии университета, а также комментарий к нему М. Довнар-Запольского и выразила последнему благодарность за работу и обещание дальнейшей поддержки университета. В январе 1918 г. именно М. Довнар-Запольскому поручено было представить согласованный с земством план мероприятий по открытию университета комиссару С. С. Крыму.

Принятое решение позволило на протяжении более полугода сформировать руководящие органы будущего высшего учебного заведения. В феврале-марте Советы факультетов Киевского университета утвердили учебные планы Таврического филиала. В апреле был осуществлен отбор будущих студентов. Параллельно проходил подбор профессорско-преподавательского состава для чтения конкретных учебных дисциплин. В числе первых 5 февраля 1918 г. в должности профессора был утвержден по физико-математическому факультету Г.Ф. Морозов (кафедра лесоводства и лесоведения). А к маю 1918 г. – группа профессоров: М.А. Тихомандрицкий, Н.Н. Бунге, Л.О. Кордыш, Н.И. Кузнецов, Н.М. Крылов, Р.И. Гельвиг и др.

10 мая 1918 года состоялась официальное открытие в Киеве Таврического филиала университета Св. Владимира, его медицинского факультета. Ректор университета Е. В. Спекторский произнес речь, в которой приветствовал новый источник высшего образования и пожелал ему процветания.

Почти одновременно, 11 мая, в Ялте произошло открытие физико-математического факультета (естественного и математического отделений) и медицинского факультета Таврического филиала.

Движущей силой и идеологом становления первого высшего заведения в Крыму стал известный ученый-медик профессор Р.И.Гельвиг. Он убедил местную власть и руководство Киевского университета в целесообразности перевода Таврического филиала в губернский центр - г. Симферополь. Это решение имело огромное значение для дальнейшей судьбы учебного заведения.

Вскоре, 14 октября 1918 г. филиал Киевского университета превратился в самостоятельное высшее учебное и научное учреждение – двенадцатый российский автономный классический университет - Таврический университет. Университет нужен был не только для Крыма, он, прежде всего необходим был для России.

Выводы. На основании проведенных исследований показана исключительная роль Киевского имени Св. Владимира университета, местных ученых и интеллигенции, члена Госсовета С.С. Крыма и академиков В. Вернадского и С. Ольденбурга в открытии первого высшего учебного заведения в Крыму. Автор считает, что необходимо признать датой основания университета 9 октября 1917 года, когда Совет Киевского университета, заслушав доклад профессоров Д. А. Граве и П. А. Ардашева об открытии в Крыму, в г. Ялте, филиального отделения университета, в соответствии с «Общим Уставом российских университетов» принял решение об открытии своего филиала в Крыму в Ливадии.

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ НЕФИЗИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ФИЗИКИ

Дубинянский Ю.М.¹, Шостка В.И.²

¹ кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей физики Физико – технического института Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского

² кандидат физико – математических наук, кафедры общей физики Физико – технического института Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского

Введение. Физика - одна из важнейших фундаментальных наук, объясняющих законы окружающего нас мира, имеет первостепенное значение в формировании научного мировоззрения у будущих специалистов – биологов, географов и экологов.

Как и для любой учебной дисциплины, основной задачей изучения физики является приобретение знаний, навыков и умений студентами. Знания и навыки, в основном, приобретаются на лекциях, а также в рамках регулярной работы студентов при выполнении заданий физического практикума. Самостоятельная работа студентов по физике – важная составная часть обучения студентов. Знания и навыки, которые они получают во время аудиторных занятий, необходимо закреплять при выполнении заданий внеаудиторной самостоятельной работы.

Цель работы. Проанализировать основные проблемы организации самостоятельной работы по физике для обучающихся по направлениям подготовки 06.03.01 – биология, 05.03.02 – география, 05.03.06 – экология и рациональное природопользование.

Основная часть. Самостоятельная работа по физике – это управляемый преподавателями процесс деятельностью студентов, обеспечивающий реализацию целей и задач по овладению необходимым объемом знаний, навыков и умений, опыта творческой работы и развитию профессиональных качеств будущего специалиста. Основные виды самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины «Физика»:

1) для организации аудиторной самостоятельной работы: - ответы на проблемные вопросы преподавателя во время лекции; - выполнение письменных заданий, тестирование; - выполнение заданий лабораторного практикума; - выполнение контрольных работ и т.п.,

2) для организации внеаудиторной самостоятельной работы: - изучение лекционного материала по конспекту с использованием рекомендованной литературы; - конспектирование отдельных вопросов, работа с учебниками, учебными пособиями и электронными носителями информации; - подготовка к практическим, лабораторным занятиям; - работа со справочной литературой; - выполнение домашних заданий и решение задач; - подготовка к контрольным и работам физического практикума; - выполнение семестровых индивидуальных заданий; - подготовка к семестровым зачетам и экзаменам и т.п.

При этом самостоятельная работа студентов организуется с целью систематизации и закрепления полученных ими знаний, а также приобретения ими практических навыков и умений; углубления и расширения теоретических знаний; формирования умений использования специальной, справочной литературой, Интернетом; развития познавательных способностей и активности, творческой инициативы, ответственности и организованности; формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

Основной формой контроля самостоятельной работы студентов являются практические, лабораторные и контрольные занятия, ответы студентов на зачетах и экзаменах. Критериями оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- ✓ уровень освоения студентом учебного материала;
- ✓ умение студента использовать теоретические знания при решении задач и при выполнении заданий физического практикума;

- ✓ обоснованность и четкость изложения ответа;
- ✓ оформление конспектов лекций, тетради для самостоятельных работ, отчетов лабораторных работ физического практикума в соответствии с требованиями.

Самостоятельная работа выполняется, как правило, индивидуально или небольшими группами студентов (например, во время лабораторных работ) в зависимости от цели, объема, конкретной тематики работы, уровня сложности, уровня умений студентов. Самостоятельная работа – это важная часть любого образовательного процесса и для студентов она начинается с первых дней учебы. Это вид работы, которую за них никто не в состоянии выполнить и обязанность преподавателя – научить студента самостоятельно трудиться, самостоятельно пополнять запас своих знаний. Студенты младших курсов с первых дней получают большое количество информации и заданий на лекциях, практических или занятиях физического практикума. Не имея необходимых навыков, они испытывают большие трудности в систематизации полученных знаний и нуждаются в помощи в организации самостоятельной работы. Для успешной самостоятельной работы студенты должны научиться планировать время на освоение материала учебной дисциплины.

Для оказания помощи студентам естественно – научных направлений подготовки в организации самостоятельной работы нами было разработано учебное пособие « Физика. Основные законы, понятия, формулы и задания», целью которого является методическая помощь обучающимся в изучении курса общей физики. Чтобы облегчить изучение дисциплины и способствовать их выходу на необходимый уровень знаний и приобретение соответствующих компетенций, в пособии содержатся:

- ✓ основные теоретические положения изучаемых разделов;
- ✓ примеры решения задач;
- ✓ тексты контрольных и тестовых заданий;
- ✓ вопросы для самоконтроля;
- ✓ задания физического практикума;
- ✓ справочные материалы.

При этом обучающийся должен руководствоваться тем, что изучать курс физики необходимо систематически в течение всего учебного процесса, а не только в период сессии, т.к. изучение дисциплины в сжатые сроки не дает глубоких и прочных знаний.

По сравнению с традиционными учебниками и учебными пособиями данное пособие позволяет студентам лучше усваивать материал учебной программы курса физики, совершенствовать навыки самостоятельной работы, проводить качественную подготовку к выполнению контрольных работ и заданий физического практикума.

Выводы. В результате проведенной работы каждый раздел курса физики представлен в виде отдельного модуля, включающего в себя теоретический раздел, вопросы для самостоятельного изучения и самоконтроля, тестовые задания, варианты контрольных работ, задания физического практикума и т.д. Все это позволяет обучающемуся быстрее и эффективнее адаптироваться к модульно – кредитной системе обучения. Постоянный поиск, анализ недостатков, их своевременное устранение и усовершенствование структуры организации самостоятельной работы позволяет поддерживать необходимый уровень компетенций студентов в соответствии с постоянно изменяющимися требованиями.

АЛГОРИТМ ЦВЕТОВОГО КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ МОНОХРОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Милюков В.В.

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

Введение. В данном разделе рассматриваются существующие методы решения проблемы, затрагиваемой автором, делается обзор существующих положений, отражающих суть проблемы.

Несмотря на большое количество прикладных исследований в области цифровой обработки изображений, до сих пор остается актуальной разработка и внедрение современных алгоритмов для улучшения качества получаемых изображений с учетом специфических особенностей изображений в данной предметной области. В большей степени это касается монохромных изображений, для которых выявление малоконтрастных объектов затрудняется особенностями человеческого зрения.

Цель и задачи исследований - разработка и реализация наиболее эффективных алгоритмов повышения выразительности графической информации с использованием различных приемов цветокодирования и путем выявления контуров на слабоконтрастном изображении.

Выводы:

1. Создана компьютерная программа, позволяющая работать с графическими файлами различного типа bmp, jpg, png, а также эффективно преобразовывать монохромные снимки в цветные, наглядно визуализировать детали изображения с использованием набора встроенных палитр цветов и цветовых контуров, выделять части изображения с определенной плотностью, позволяя получать информацию, не видимую человеческим глазом в исходном изображении.

2. Показана высокая чувствительность алгоритмов цветокодирования при исследовании дефектов лакокрасочных покрытий автомобилей.

3. Показано, что разработанная методика имеет пределы эффективного применения и имеет ощутимые преимущества только для снимков с большим разрешением (10-100 Мв). Для фотоснимков, получаемых с помощью тепловизоров с низким разрешением методика не эффективна.

4. Реализован алгоритм выделения частей изображения в определенном диапазоне плотностей, позволяющий извлекать информацию, не видимую человеческим глазом в исходном изображении (элементы стеганографии).

АЛГОРИТМЫ ЦВЕТОКОДИРОВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В МЕДИЦИНЕ

Миллюков В.В.

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

Введение. В данном разделе рассматриваются существующие методы решения проблемы, затрагиваемой автором, делается обзор существующих положений, отражающих суть проблемы.

В связи с развитием Интернет медицины, представляется актуальным получение высококачественных цифровых изображений, полученных с помощью современных методов цифровой фотографии в медицинских приборах, у которых отсутствует декодер высокого разрешения, а также применение специальных методов цветокодирования позволяющих увидеть детали невидимые для невооруженного человеческого глаза.

Цель и задачи исследований:

1. разработка алгоритмов работы с графическими матрицами, включая использование распараллеливания вычислений в CPU, GPU, а также блокировок графических объектов в памяти CPU. Реализация наиболее эффективных алгоритмов повышения скорости обработки информации, получаемой из графических файлов.

2. Создание компьютерной программы, позволяющей быстро работать с графическими файлами большого размера, а также эффективно преобразовывать монохромные снимки в цветные, наглядно визуализировать детали изображения с использованием набора встроенных палитр цветов и цветовых контуров, выделять части изображения с определенной плотностью.

3. Разработка и реализация методики получения высококачественных цифровых изображений, полученных с помощью современных методов цифровой фотографии в медицинских приборах, у которых отсутствует декодер высокого разрешения.

Выводы:

1. Изучены и реализованы алгоритмы параллельных вычислений для ускорения обработки графических изображений на CPU и GPU. Произведены измерения сравнительной скорости работы этих алгоритмов.

2. Разработана, реализована на языке C# и протестирована компьютерная программа, позволяющая быстро обрабатывать графические матрицы, получаемые из bmp, jpeg, png и tiff - файлов высокого разрешения, загружать наборы заранее разработанных цветовых палитр из файлов, быстро настраивать палитры под собственный стиль и сохранять измененные палитры в файлах. Разработанная программа позволяет начать работу быстро и без специальных знаний.

3. Реализованы различные варианты цветового кодирования (с использованием видимого спектра, с использованием случайных цветов, с использованием монохромных палитр с возможностью быстрой ручной коррекции палитр). Настроенные палитры могут сохраняться и загружаться из файлов.

4. Реализован алгоритм выделения контуров на малоконтрастных изображениях с возможностью регулирования размера дискретизации ячеек, их цвета и количества.

5. Реализован алгоритм выделения частей изображения в определенном диапазоне плотностей, позволяющий получать информацию, не видимую человеческим глазом в исходном изображении.

6. Разработана методика получения изображений с мониторов медицинских приборов с высоким разрешением и информативностью даже в том случае, когда в медицинском оборудовании отсутствует декодер высокого разрешения.

БЕСПРОВОДНАЯ СЕНСОРНАЯ СЕТЬ КУСТОВОГО ТИПА И СПЕЦИФИКА ЕЁ РЕАЛИЗАЦИИ

Ожегов А.Ю.

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

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

Aleksandr.Ozhegov@kimkfu.ru

Введение. Высокотехнологичные устройства уже стали неотъемлемой частью нашей жизни: от рабочего ПК до смартфона в кармане. Все эти технологии позволяют сделать нашу жизнь проще, эффективнее, безопаснее. Актуальным направлением развития являются системы типа «умный дом», позволяющая как контролировать температурные параметры жилища в автономном режиме, так и обеспечивать его безопасность. Основой любого «умного дома» является сеть датчиков и центральный модуль, обрабатывающий поступающую информацию и принимающий решения, в зависимости от заложенного алгоритма. В рамках данной работы проведён анализ существующих технологий беспроводной передачи. Проанализированы возможные частоты для работы сети, в рамках чего изучена загруженность и проницаемость того или иного частотного диапазона. На наш взгляд, наиболее оптимальным вариантом, применимо к текущим целям, является частота 2.4 ГГц. Выбор обоснован наличием на рынке широкого ассортимента недорогих, компактных и энергоэффективных микроустройств, использующих в процессе своей работы именно эту частоту.

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка и реализация беспроводной сенсорной сети кустового типа. Разрабатываемая сеть предназначена для сбора показаний датчиков удалённых автономных модулей и передачи информации на центральный контроллер, занимающийся сбором и обработкой данных. На начальном этапе группировка состоит из трех потенциально автономных полнофункциональных модулей, представляющих собой микроконтроллер и передатчик.

Методы исследования. В работе были использованы аналитический, литературно-описательный и практико-реализационный методы исследования.

Результаты исследования. На рынке радиоэлектроники имеется внушительное количество радиомодулей, к примеру, ESP8266 обладает весьма широким функционалом, который является в какой-то степени избыточным, применимо к текущей задаче. Кроме того, данный модуль имеет себестоимость в среднем \$5, что, в случае увеличения количества узлов в сети, потребует крупных финансовых затрат.

Оптимальным вариантом, на наш взгляд, является nRF24L01. Данный радиомодуль не является полноценным Wi-Fi адаптером, nRF24L01 – всего лишь передатчик. Минимальный необходимый функционал присутствует, что позволяет обмениваться небольшими сообщениями между двумя и более модулями. Кроме того, данный модуль отличается низким энергопотреблением и компактностью. nRF24L01 обладает радиусом действия 100 м, однако в условиях помещения эта величина снижается до 30 м и менее. Данное расстояние является приемлемым для поставленных задач.

В качестве среды разработки выбрана IDE Arduino (язык программирования C), позволяющая достаточно быстро написать рабочий код, однако быстроедействие оставляет желать лучшего. Кроме того, для подключения и управления радиомодулем nRF24L01 были использованы следующие библиотеки: RF24, служащая для подключения и взаимодействия радиомодуля с микроконтроллером; RF24Network, предоставляющая интерфейсы для простой и быстрой организации сети из модулей nRF24L01. Указанные библиотеки находятся в открытом доступе и распространяются свободно.

В качестве микроконтроллера выбран Arduino Pro Mini. Для подключения радиомодуля nRF24L01 используются 8 ножек Arduino, вследствие чего остаётся предостаточно ножек для

подключения датчиков. Совмещение ножек nRF24L01 и Arduino Pro Mini показано в таблице (См. Табл. 1).

Таблица 1. Подключение nRF24L01 к Arduino Pro Mini.

<i>Arduino Pro Mini</i>	nRF24L01
2	IRQ
9	CE
10	CS
11	MOSI
12	MISO
13	SCK
GND	GND
VCC	VCC 3.3V

Организация модулей в сеть осуществляется путём задания каждому модулю уникального имени в сети. Сеть строится по иерархическому принципу. Старшим является модуль с именем 00, с которым связаны модули с именами 01, 02 и т.д. Последние взаимодействуют между собой через корневой модуль 00. Третья цифра в имени, если таковая имеется, задаёт номер подузла узла 0N. Например, узел с именем 022 является подузлом модуля 02. Подузлы взаимодействуют друг с другом через свой корневой узел.

Согласно поставленной задаче, создана сеть из 3 модулей. Каждый модуль состоит из контроллера Arduino Pro Mini и радиомодуля nRF24L01, подключённых друг к другу. Для программирования, тестирования и отладки модули были подключены к отладочной плате PinBoard II R2 AVR при помощи интерфейса UART, которая в свою очередь подключена к компьютеру посредством USB кабеля. PinBoard II имеет двухканальный интерфейс UART, что позволяет одновременно программирования два модуля, кроме того, это даёт возможность отладки через интерфейс SPI сразу двух модулей без необходимости физического переключения пинов. На начальном этапе питание модулей можно обеспечить при помощи отладочной платы (напряжения 5 В и 3.3 В, для Arduino Pro Mini и nRF24L01 соответственно), в последующем в качестве источника питания будет выступать аккумуляторная батарея.

С целью демонстрации правильности работы модулей были поочерёдно созданы 2 сети: двухуровневая (модули имеют имена 00, 01, 02) и трёхуровневая (модули имеют имена 00, 01, 011). В созданных из модулей сетях осуществляется передача данных. В случае двухуровневой сети происходит передача от модуля 01 к 02 и в обратном направлении. Передача, согласно заложенному в библиотеки алгоритму, происходит через модуль 00. Отключив от питания модуль 00 происходит «разрыв» сети, и передача данных прекращается. С трёхуровневой сетью ситуация складывается аналогичная: осуществляется передача данных от модуля 011 к 00, через 01. Обесточиваем последний, и, как результат, передача прекращается. Данными, передаваемыми между модулями, является значение времени с начала работы модуля, полученное при помощи функции millis(). В дальнейшем, когда к модулям будут подключены различные датчики, в качестве данных будут передаваться значения, получаемые с датчиков.

Выводы. Описаны особенности реализации беспроводной сенсорной сети кустового типа на радиомодулях nRF24L01, в качестве контроллера, которого выступает Arduino Mini Pro. Прделанная работа создаёт базу для реализации полномасштабного проекта типа «умный дом». Контроллеры Arduino Pro Mini, после подключения радиомодулей и питания, имеют незадействованные ножки, к которым можно подключить различные датчики и (или) устройства вывода, такие как, например, светодиоды. Простота подключения к сети новых модулей позволяет за кратчайшее время увеличить количество датчиков в сети. Созданная сеть датчиков кустового типа имеет широкую сферу применения – от контроля влажности в помещениях до применения в качестве охранной системы.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В СФЕРЕ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

Ожегов А.Ю.

студент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ

научный руководитель: ст. преподаватель Тимофеева С.В.

Aleksandr.Ozhegov@kimkfu.ru

Введение. Наиболее важной проблемой в сфере телемедицины является информационная безопасность и защита персональных данных. В развитых странах существуют специальные законы о защите информации в медицинской сфере, устанавливающие порядок ведения электронных карточек пациентов, обмена информацией между медицинскими учреждениями и т.п. Защита информации является комплексной задачей, требующей комбинирования аппаратных и программных средств. Несмотря на это, риск несанкционированного доступа к конфиденциальной информации всегда сохраняется.

Цель и задачи исследования. Целью работы является анализ вопросов, связанных с информационной безопасностью и защитой персональных данных в сфере телемедицины.

Методы исследования. В работе были использованы аналитический и литературно-описательный методы исследования.

Результаты исследования. Наибольшему риску подвержены пациенты, пользующиеся услугами телемедицины в домашних условиях, так как, зачастую, в общественных сетях есть шанс того, что информация будет перехвачена. Лучшим решением в таких случаях является применение технологии VPN. Данная технология использует различные средства криптографии, такие как шифрование трафика, различные способы аутентификации, авторизации и другие. Использование VPN дает возможность безопасного обмена персональными данными в публичных сетях. Помимо этого крайне рекомендуется использование антивирусных пакетов (с базой данных вирусов актуальной версии) в связке с системами обнаружения шпионских программ и сетевыми экранами.

Беспроводные системы мониторинга состояния пациента используют радиосигналы, вещающие в определенном радиусе от передатчика. Если злоумышленник находится на достаточно близком расстоянии, то сигнал можно с легкостью перехватить. Мониторинг подразумевает, что система будет записывать информацию о пациенте и передавать ее врачу. Достаточно просто создать систему, которая будет незаметно передавать эту информацию третьим лицам. Ввиду этого стоит обращать внимание на репутацию разработчика и самостоятельно проверять такие системы на наличие скрытых каналов передачи.

Компьютерные сети, используемые в медицинских учреждениях, как правило, имеют целый комплекс защитных средств: от уже упомянутого выше шифрования, до использования экранированных кабелей. Персональная информация пациентов хранится на специальных серверах, доступ к которым имеет ограниченный круг лиц. Главное проблемой в таких сетях является защита от вторжения извне. Лучшим решением является полная локализация сети, то есть отключение оной от Интернета, однако в современных реалиях это невозможно. Поэтому требуется применение дорогостоящих сетевых экранов, как аппаратных, так и программных, чтобы минимизировать вероятность вторжения.

Несмотря на технологические аспекты вопроса, главной проблемой в деле защиты информации являются люди. Зачастую пользователи (пациенты и медицинские работники) могут сами стать причиной утечки: случайно предоставить персональную информацию мошенническому сайту или недостаточно обезопасить домашнюю сеть.

Выводы. В целях защиты персональных данных применяются программные и аппаратные межсетевые экраны, антивирусные пакеты, а также технология VPN. Но чтобы обеспечить максимально возможную степень защиты требуется проводить разъяснительную работу в области защиты информации, как с персоналом, так и с пациентами.

УВЕЛИЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ И ГАРАНТОСПОСОБНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННО-ДУБЛИРУЮЩЕГО ПРОЦЕССРНОГО БЛОКА

Корниенко А.Ю.

ассистент кафедры компьютерной инженерии и моделирования ФТИ КФУ

Научный руководитель: к.т.н. доцент Сосновский Ю.В.

Введение. Современные системы автоматизированного и автоматического управления зачастую строятся на основе специальных программируемых логических контроллеров (ПЛК). В связи с процессами импорт замещения в Российской Федерации, при разработке высоконадежных систем управления, возникает ряд проблем, связанных с аппаратной и программной закрытостью существующих иностранных систем и отсутствием соответствующих, в полной мере, решений отечественных производителей. Высоконадежные системы автоматического управления выполняются на основе резервирования аппаратных компонент, в том числе и микропроцессорных блоков. Подобные решения редки, они существуют у некоторых зарубежных фирм, в частности – Schneider Electric, и подпадают под определение технологий двойного назначения. На данный момент существует запрос на создание отечественной высоконадежной системы автоматической обработки данных, ориентированной на решение задач управления с распределенным (дублированным) процессорным модулем. При этом, выход из строя или изъятие одного из процессорных модулей не должно приводить к нарушениям работы системы.

Цель и задачи. Цель разработки состоит в предоставлении готовой информационной технологии и прототипа изделия для создания высоконадежных автоматических систем управления критически-важными объектами и объектами двойного назначения. При этом система управления с использованием разработанной технологии будет обладать повышенной живучестью, сохранением основного функционала при выходе из строя (уничтожении, отключении) одного из процессорных блоков. Разработка ориентирована на управление системами с критически-важными процессами: повышая их отказоустойчивость, предоставляя возможность горячей замены процессорных блоков, снижая до минимума риск потери функциональности системы при выходе из строя (выключении, уничтожении) процессорного блока.

Результат. Для определения направления развития проекта выполнен сравнительный анализ существующих методов обеспечения надежности распределенных систем обработки данных. На основе полученной информации были внесены правки, корректировки в первичную модель реализации, тем самым обеспечив более детальное проектирование системы, а также её универсальность. После проведения анализа рынка стартовала разработка алгоритмов и методов реализации распределенной дублированной системы автоматического управления на базе нескольких процессорных блоков. Система моделировалась в программном комплексе Proteus, на базе контроллеров серии ATmega. Реализована система реального времени, реализован модульный метод разработки системы. Для наглядности работы и детального тестирования работы системы создана детальная схема разработки в программном комплексе Proteus, где происходит программное моделирование процесса обработки данных в распределенной дублированной системе автоматического управления на базе нескольких процессорных блоков. Вывод состояния системы в реальном времени значительно упрощает разработку и наглядно демонстрирует всевозможные уязвимости, которые при возникновении исследуются и исправляются. После проведения анализа полученных результатов следует доработка модели, алгоритмов и методов по результатам

моделирования. На этапе первичного тестирования уже был сформирован большой объем данных, диаграмм, схем и т.д. На их основе вносились правки, коррективы, правились уязвимости и баги. На момент публикации разработана аппаратно-программная модель системы на основе 8-битных микроконтроллеров серии ATmega. Проектируется плата с необходимым перечнем аппаратных устройств и выходов, проводились первые тестирования на готовых решениях.

Вывод. Разрабатываемая концепция распределенно-дублированного процессорного блока является технологией двойного назначения. Её использование целесообразно применять при создании высоконадёжных АСУ. Коммерческая реализация технологии возможна путём минимальной адаптации под требования и технические условия заказчика. Область применения - высоконадёжные системы управления малыми и средними объектами, где требуется минимизация вероятности отказа системы управления вследствие выхода из строя выхода компонент системы, в том числе процессорного блока.

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВЕ ШУМОВ МАТРИЦЫ WEB-КАМЕРЫ

Михерский Р.М.¹, Исаев М.В.², Полянчук Д.М.³

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

²*студент кафедры компьютерной инженерии и моделирования
Физико-технического института КФУ*

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

Проблема генерации случайных чисел с неравномерным распределением в настоящее время является достаточно актуальной. Обусловлено это тем, что существуют криптографически стойкие алгоритмы шифрования, требующие использования в качестве ключа последовательности абсолютно случайных чисел, которые распределены по закону, отличному от равномерного. Причем, скорость генерации такой последовательности должна быть достаточно высока.

Целью данной работы явилось исследование метода генерации случайных чисел с неравномерным распределением, в котором в качестве источника энтропии выступают шумы ПЗС матрицы Web-камеры, подключенной к персональному компьютеру.

Рассмотрим алгоритм реализации этого метода. Для генерации случайных чисел с неравномерным распределением необходимо, чтобы web-камера, подключенная к ноутбуку или компьютеру, находилась в темном помещении или была закрыта. Только в таких условиях матрица камеры будет выдавать шумы, которые являются полностью случайными и не зависят от внешних факторов. Когда камера находится в нужных условиях, делается два снимка. Естественно, чем меньше промежутков времени между фотографированием, тем меньше вероятность того, что на них может что-то измениться и тем лучше. Далее из каждой фотографии необходимо получить так называемый bitmap – матрицу, в которой хранятся значения элементов изображения (пикселей). Для 24-х разрядного изображения каждый пиксель содержит в себе информацию о трех цветах (для цветовой модели RGB) – соответственно красном, зеленом и синем. На каждый цвет отводится 8 бит, то есть максимально возможное значение в десятичном представлении – 255, а минимальное 0. Значению 255 соответствует максимальная интенсивность цвета, а значению 0 – минимальная. На следующем шаге, в общем случае формируется двумерный массив (или bitmap), в который записываются соответствующие значения разностей Δx компонент цвета двух изображений

для каждого из пикселей. Полученные разности могут изменяться от -255 до 255. Эти разности и являются случайными числами.

На основе приведенного выше алгоритма на языке C# в среде программирования Visual Studio 2015 была реализована компьютерная программа. Исследование проводилось на ноутбуке Lenovo G-500 со следующими параметрами: 2-х ядерный процессор Intel Core i3-3110m с технологией HyperThreading; интегрированная видеокарта Intel HD-4000; дискретная видеокарта AMD Radeon 8570M; 8 ГБ ОЗУ; жесткий диск SeaGate, 1TB, 7200 rpm с интерфейсом передачи SATA-3; встроенная веб-камера Lenovo EasyCamera с разрешением 1 Мп; операционная система Windows 10.

В результате проведенного исследования получены следующие результаты. Было сгенерировано 1000000 чисел в промежутке от -255 до 255. При этом, время затраченное на эту операцию, составило 0.628 с, а скорость генерации случайных чисел – 12.8 Мбит/с.

Гистограмма распределения случайных чисел представлена на рисунке 1.

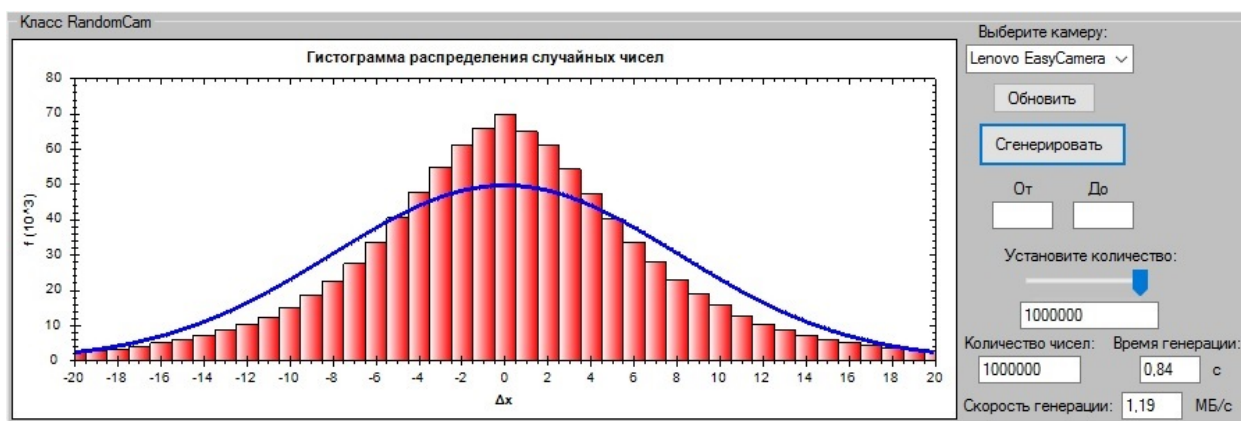


Рисунок 1. Гистограмма разностей Δx

Синим цветом изображен график для нормального распределения. Видно, что полученное распределение близко к нормальному.

Таким образом, реализованная компьютерная программа позволяет производить высокоскоростную генерацию случайных чисел с неравномерным распределением. Она с успехом может быть применена как составная часть криптографической системы защиты информации на основе случайных чисел с неравномерным распределением.

РЕАЛИЗАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СКАНЕРА ПОРТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АСИНХРОННОГО РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ

Ожегов А.Ю.

студент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н., доцент Зуев С.А.

Aleksandr.Ozhegov@kimkfu.ru

Введение. Взаимодействие устройств в сети осуществляется по средствам IP адресации с указанием порта, определяющего конечное приложение-получателя пакета. Порт — это число, передаваемое в TCP или UDP пакете, для однозначного определения приложения, которому адресован пакет на определенном хосте. Сканирование портов – процесс исследования определенного хоста на наличие открытых портов и доступных сервисов. В ходе сканирования портов можно получить информацию о приложении, прослушивающие порт, операционной системе. Сканеры портов – это программы, определяющие состояние порта,

приложение, прослушивающие порт, его версию и другую информацию. Само по себе сканирование портов является безопасной процедурой, однако информация, получаемая в ходе сканирования, может быть использована в противозаконных целях. Поэтому сканирование портов является важной операцией при проверке работоспособности и безопасности современных информационных систем.

Цель и задачи исследования. Целью работы является реализовать сканер портов на языке C# с применением объектно-ориентированного программирования (ООП) и с использованием технологий распараллеливания.

Методы исследования. В работе были использованы аналитический, литературно-описательный и программно-реализационный методы исследования.

Результаты исследования. Сканер портов был реализован на языке программирования C# по следующим причинам: наличие готовых системных библиотек и классов для работы с IP адресами, протоколами, сокетами и сетью в целом; возможность создания многопоточного приложения, с асинхронным выполнением; простота обращения со средствами визуализации. Для создания графического интерфейса было принято решение воспользоваться технологией Windows Presentation Foundation (WPF), позволяющей создать визуально привлекательный и функциональный интерфейс с максимальной степенью автоматизации. Особенностью данной технологии является то, что она позволяет настраивать графический интерфейс через расширяемый язык разметки XAML (Extensible Application Markup Language), который позволил в данной работе добиться оптимального взаимодействия программного кода и визуальной оболочки.

Графический интерфейс (См. Рис. 1), реализованный с помощью технологии WPF, предоставляет пользователю максимально понятный и простой механизм для выполнения сканирования портов. Так как программа предназначена для использования не в развлекательных целях, дизайн программы выполнен в строгом стиле. Окно программы является полностью масштабируемым, однако задан минимальный размер окна, являющийся оптимальным для большинства дисплеев.

Реализованный в текущей программе метод сканирования портов, TCP Connect(), использует connect() вызов, чтобы операционная система произвела TCP подключение. Этот метод достаточно медленен, так как для установки подключения требуется пройти трехступенчатую систему “рукопожатия”. Для того чтобы пользователь имел возможность отслеживать прогресс сканирования был добавлен элемент ProgressBar. Кроме того, этот элемент также дает представление о том, что программа работает, а не совершила несанкционированную приостановку. С целью ускорения процесса сканирования, применены средства распараллеливания вычислений, позволяющие значительно ускорить работу программы.

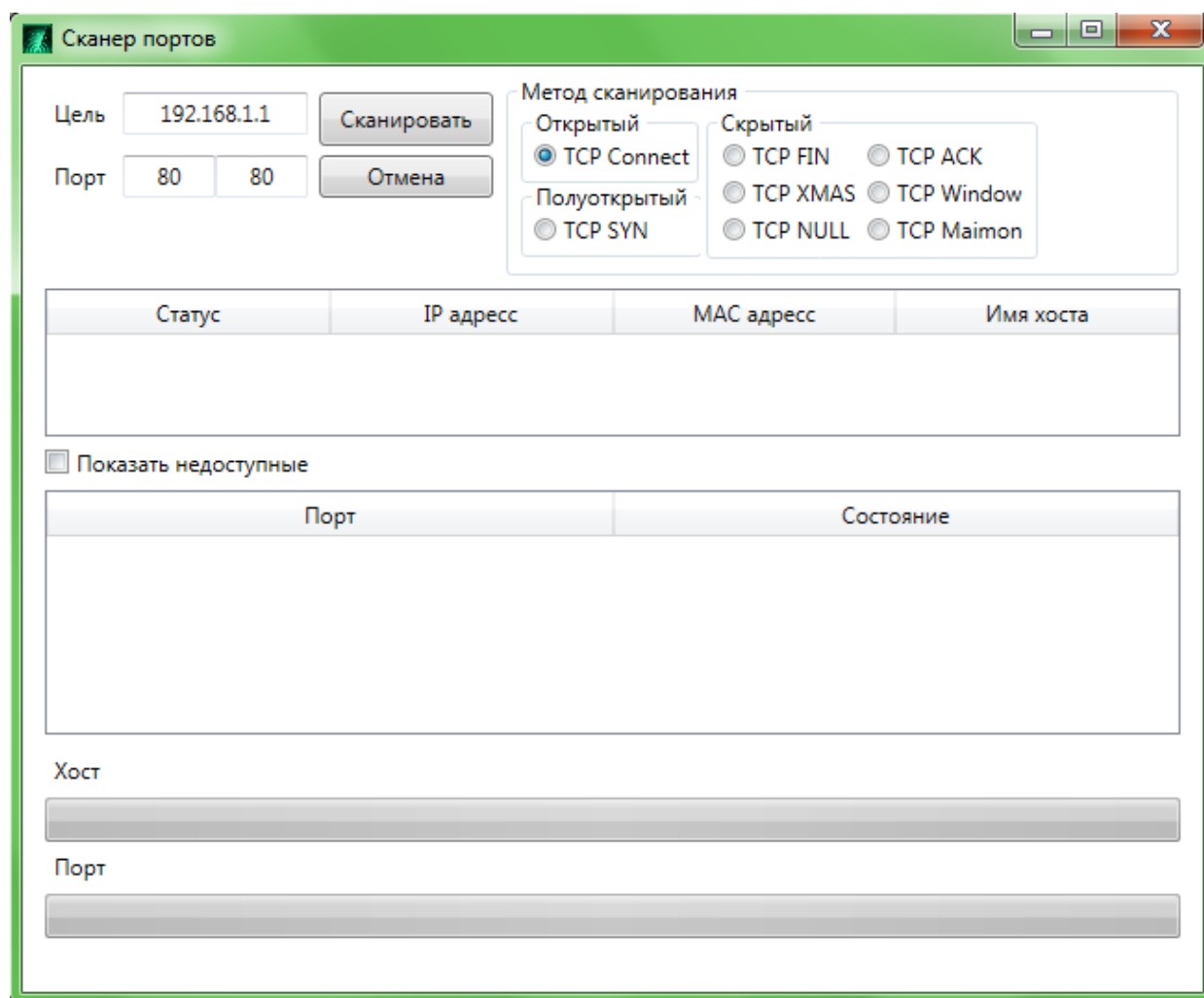


Рис. 1. Интерфейс сканера портов.

Выводы. Для сканирования портов существует множество методов, которые условно можно разделить на следующие категории: открытое, полуоткрытое, скрытое, Ping, Error, Proxy. Различные способы сканирования отличаются методом установки соединения, типом посылаемых пакетов и анализа ответов. После проведения сканирования, можно предположить, что конкретный порт находится в одном из следующих состояний: открыт, закрыт, фильтруется, не фильтруется, открыт и (или) фильтруется, закрыт и (или) фильтруется.

Проведен анализ уже существующих продуктов для сканирования портов, а именно программ: Advanced Port Scanner, Nmap и Zenmap. Проведя анализ функционала и интерфейса, а также тестирование программ в реальных условиях, был сделан вывод о том, что Zenmap и Nmap, на наш взгляд, являются наилучшим выбором.

В результате проведенной работы был реализован сканер портов на языке C# с применением объектно-ориентированного программирования (ООП) и с использованием технологий распараллеливания. В процессе тестирования программы проведено сканирование компьютеров в локальной сети. Для сравнительного анализа результатов, было проведено также сканирование с использованием Nmap. Открытые порты, найденные в процессе сканирования утилитой Nmap методом TCP Connect(), аналогичны тем, что были найдены при помощи созданной программы. Данный факт свидетельствует о правильности работы программы и возможности её применения на уровне с уже существующими продуктами. Также заложена основа для реализации других методов сканирования, которые, с учетом распараллеливания, значительно ускорят работу программы.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

В

Belotelov V.I., 13
Berzhansky V.N., 13
Borovkova O.V., 13

Ф

Fridman Yu.A., 68

Н

Halilov S., 100

И

Ilyasova A., 100

К

Karavaynikov A.V., 13
Kosmachev O.A., 68
Kozhaev M.A., 13
Krivtsova A.V., 68

Л

Lyashko S.D., 13

М

Milyukova E.T., 13

Р

Poletaev D., 100
Prisyazhnuk A., 100
Prokopov A.R., 13

С

Shaposhnikov A.N., 13
Sokolenko B., 100

Т

Tomilin S.V., 13

У

Volotskaya N., 100

А

Акулиничев Н. М., 32
Алексеев К.Н., 79
Алентьев Д.В., 21

Б

Бабяр А.И., 64
Батиашвили Л.А., 88

Белов А.С., 61
Бержанский В.Н., 23
Бокова А.П., 17
Босько П.Ю., 42
Булатов А.Е., 51
Бутрим В.И., 75

В

Васильева В.В., 81
Викулина И.С., 71

Г

Гирич Д.М., 38
Глечик Д.А., 27
Гонцова С.С., 81
Горишний В.А., 10

Д

Дзедолик И.В., 9
Доненко И.Л., 77, 97, 99
Дубинянский Ю.М., 105

З

Замковская А.И., 86

И

Исаев М.В., 113

К

Кириленко А.В., 7
Клевец Ф.Н., 69, 76
Коба А. А., 59
Коба А.А., 31
Коваленко М., 92
Коверниченко Л.Ю., 57
Корниенко А.Ю., 112
Космачев О.А., 76
Крикун А.С., 26
Купленный В.О., 36
Кушнаренко Д.С., 34

Л

Лемяков А.П., 71, 73, 74
Луговской Н.В., 7, 27

М

Максимова Е.М., 82, 86,
88, 92
Милюков В.В., 107, 108
Милюкова Е.Т., 23
Михерский Р.М., 113
Могиленец Ю.А., 82
Мухтарлы М.Х., 41

Н

Назарук П.В., 46
Наухацкий И.А., 81, 82,
86, 88, 92
Неклюдов Е.А., 69
Новиков В.А., 62
Нудьга А.А., 90

О

Ожегов А.Ю., 109
Ожегов А.Ю., 111, 114
Осокин К.С., 73, 74

П

Перескоков В.С., 5
Плотников А.А., 47
Полетаев Д.А., 90, 93, 95,
96
Поляновский Д.В., 65
Полянчук Д.М., 113
Попов В.В., 15

Р

Рябушкин Д.С., 4

С

Салов В.Е., 11
Сейтаблаев И. К., 45
Сейтумеров Э.Н., 44
Селезнева К.А., 82
Синани Г.А., 85
Снегирёв Н.И., 84
Соколенко Б.В., 90, 93, 95,
96
Сокут Л.Д., 51
Стругацкий М.Б., 82

Т

Томилин С.В., 21, 23

Томилина О.А., 23
Тохтаров Д.Э., 53

Ф

Федосов Э.Э., 16
Фридман Ю.А., 69, 76

Х

Хацаюк В.В., 29

Ц

Циперко Л.Н., 49

Ч

Чувылёв А., 92
Чуйков С.А., 55

Ш

Шеметов И.В., 39

Шостка В.И., 77, 97, 102,
105

Шостка Н.В., 97

Э

Эсаулова К.А., 15

Я

Ягупов С.В., 82
Ярыгина Е.А., 76