

Министерство образования Омской области
ФГБОУ ВО «Омский государственный университет
им. Ф.М. Достоевского»
Омский филиал Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН

ФМХ ОмГУ 2021

**СБОРНИК СТАТЕЙ
IX РЕГИОНАЛЬНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
МАГИСТРАНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
ПО ФИЗИКЕ, МАТЕМАТИКЕ И ХИМИИ**

(Омск, 7 июня – 19 июня 2021 г.)

© ФГБОУ ВО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского», 2021

ISBN 978-5-7779-2553-4



2021

УДК 53+51+54
ББК 22.3я43я05+22.1я43я05+24я43я05
Ф739

Рецензенты:

канд. биол. наук *М. Г. Потуданская*, канд. физ.-мат. наук *С. А. Сычев*

Ответственные за выпуск:

Ю. В. Коваленко, Г. М. Серолян

Ф739 **ФМХ ОмГУ 2021** [Электронный ресурс] : сборник статей IX региональной конференции магистрантов, аспирантов и молодых ученых по физике, математике и химии (Омск, 7 июня – 19 июня 2021 г.). – Электрон. текстовые дан. – Омск : Изд-во Ом. гос. ун-та, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; 12 см. – Загл. с тит. экрана.

ISBN 978-5-7779-2553-4

В сборнике опубликованы статьи участников конференции, посвященные исследованиям в области математического моделирования, дискретной оптимизации, прикладной теоретической физики, экспериментальной физики, химии и химической технологии.

Для молодых ученых, магистрантов, аспирантов физико-математических и химических специальностей и направлений.

УДК 53+51+54

ББК 22.3я43я05+22.1я43я05+24я43я05

Текстовое электронное издание
Самостоятельное электронное издание

Минимальные системные требования:
процессор с частотой 1,3 ГГц или выше; ОЗУ 512 Мб;
Microsoft Windows XP/Vista/7/8/10; Adobe Acrobat Reader 8.0 и выше; CD-ROM; мышь

© ФГБОУ ВО «ОмГУ
им. Ф.М. Достоевского», 2021

Издается в соответствии с оригиналом,
предоставленным организационным комитетом.

Дата выпуска: 30.06.2021.
1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. Тираж 8 копий. Объем 3,5 Мб.

Издательство
Омского государственного университета
им. Ф.М. Достоевского
644077, г. Омск, пр. Мира, 55а
тел.: 8 (3812) 67-32-55, 64-30-61, 64-13-07

СОДЕРЖАНИЕ

Организационный комитет	6
-------------------------------	---

Секция

«ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

<i>В. Ю. Тавченко</i> Алгоритмы построения приближенных решений в задаче обработки идентичных деталей.....	7
<i>Д. А. Носков</i> Эффективный алгоритм решения задачи максимизации прибыли инвестиционного проекта при идентичных работах.....	12
<i>И. М. Бучинский</i> Булев граф и его свойства.....	16
<i>Б. А. Туровец</i> Анализ погрешности квадратурных формул при интегрировании функций с большими градиентами	20
<i>Д. А. Ющенко</i> Исследование вычислительной сложности задачи календарного планирования с единичными длительностями работ	26
<i>Н. В. Коляда</i> Разработка аудиального управления электронными сервисами ОмГУ им. Ф. М. Достоевского	30

Секция

«ПРИКЛАДНАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

<i>В. В. Бражник</i> Вычисление ренормализационной константы связи трёхмерной однородной модели Изинга.....	34
<i>Д. С. Калинин</i> Первопринципные расчёты магнитной анизотропии системы Pt/Co/Cu/Co/Pt в зависимости от толщины прослойки.....	39
<i>Д. А. Льготина, П. В. Прудников</i> Исследование релаксации мультислойных магнитных структур в зависимости от начального состояния.....	44
<i>А. С. Лях, В. В. Прудников</i> Расчет динамической восприимчивости и ФДО для изотропной и анизотропной трехмерной модели Гейзенберга. Исследование влияния дефектов структуры	49
<i>М. Ю. Макеев</i> Исследование адсорбции фурфурола и фурфурилового спирта на поверхности Pd (111)	54

<i>И. Е. Шевченко</i> Первопринципные расчеты энергетических и магнитных свойств системы Ni на W	58
--	----

Секция

«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА»

<i>Я. О. Демочко</i> Применение QAM-модуляции в оптических системах связи	62
<i>А. Н. Байдаков</i> Исследование зависимости пьезоэффекта в пленках AlN от технологических параметров магнетронного напыления	65
<i>Н. М. Жилин</i> Экспериментальная проверка возможности изменения емкостного соотношения STW-резонаторов	70
<i>О. Н. Максимов</i> Исследование влияния дисперсии на распространение сигналов в оптических системах связи, использующих двубинарное кодирование	74
<i>Е. С. Кузнецов</i> Исследование керамических биокomпозитов на основе фосфатов кальция	78
<i>Е. Ю. Ткаченко, И. А. Лобов</i> Индивидуальные нановолокна «полианилин / углеродная нанотрубка» как чувствительный элемент резистивного наносенсора на аммиак	82
<i>Р.С. Нагорнов</i> Старение генераторов на основе пав резонаторов	86
<i>М. А. Сахацкая</i> Анализ температурного распределения по поверхности икроножной мышцы спортсменов в тренировочном процессе	92

Секция

«ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»

<i>Н. Е. Александрова</i> Электрохимический метод определения скорости коррозии Стали-3 в электролитических средах	96
--	----

Секция

«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЗОВАНИЯ»

<i>Н. Ш. Сатканова</i> Формирование навыков самостоятельной учебной деятельности при изучении математических дисциплин	100
<i>А. С. Борзов</i> Стандарт WorldSkills как средство развития критического мышления у студентов СПО	104

<i>А. А. Антонов</i> Дифференцированный контроль знаний по физике в системе СПО	108
<i>Л. В. Ломакина</i> Деятельностный подход как основа достижения метапредметных результатов обучения математике в школе ..	112
<i>О. Б. Петрова</i> Развитие памяти студентов младших курсов в процессе обучения физике.....	116
<i>Е. Ю. Ткаченко</i> Формирование мотивации учебной деятельности студентов СПО средствами контекстного обучения физике ...	120

Организационный комитет

<i>Сервах Владимир Вицентьевич</i>	д-р физ.-мат. наук, профессор, старший научный сотрудник Омского филиала Института математики им. С. Л. Соболева, профессор кафедры прикладной и вычислительной математики ОмГУ
<i>Прудников Владимир Васильевич</i>	д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики ОмГУ
<i>Потуданская Мария Геннадьевна</i>	канд. биол. наук, доцент, декан физического факультета ОмГУ
<i>Голованова Ольга Александровна</i>	д-р геолого-минерологических наук, профессор, заведующий кафедрой неорганической химии ОмГУ
<i>Власова Ирина Васильевна</i>	д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой аналитической химии ОмГУ
<i>Серопян Геннадий Михайлович</i>	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры общей, прикладной и медицинской физики ОмГУ
<i>Позыгун Ирина Станиславовна</i>	ст. преподаватель кафедры общей, прикладной и медицинской физики ОмГУ
<i>Леванова Татьяна Валентиновна</i>	канд. физ.-мат. наук, доцент, старший научный сотрудник Омского филиала Института математики им. С. Л. Соболева СО РАН, заведующий кафедрой прикладной и вычислительной математики ОмГУ
<i>Коваленко Юлия Викторовна</i>	канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Омского филиала Института математики им. С. Л. Соболева СО РАН, доцент кафедры алгебры и математического анализа ОмГУ

Секция

«ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Алгоритмы построения приближенных решений в задаче обработки идентичных деталей

В. Ю. Тавченко

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. В. В. Сервах

Аннотация. В работе рассматривается задача минимизации общего времени обработки идентичных деталей со сложным технологическим маршрутом на современной роботизированной производственной линии. Эта задача решается за полиномиальное время в классе циклических расписаний. Однако, несмотря на некоторые преимущества, циклические расписания не обеспечивают минимизацию общего времени обработки всей партии деталей. В работе предложены алгоритмы построения приближенных решений на основе циклических расписаний.

Ключевые слова: комбинаторная оптимизация, вычислительная сложность, полиномиальные алгоритмы.

Появление новых методов материально-технического обеспечения распределительных отраслях, автоматизацию производственных и логистических цепочек привело к необходимости решения задачи обработки изделий и заказов в системах конвейерного типа. В этих системах обработка деталей или выполнение заявки происходит в строгой последовательности. Задачи такого типа в литературе обозначается как Flow-shop.

Особую актуальность имеет задача обработки идентичных деталей или заявок. Пусть имеется заказ на обработку N идентичных деталей. Имеется m различных машин M_1, M_2, \dots, M_m . Все детали в процессе обработки проходят одинаковый технологический маршрут, последовательно обрабатываясь на указанных машинах. Операция i выполняется на машине M_i в течение p_i единиц времени, $i=1, \dots, n$. Прерывания операций

запрещены. Машина не может выполнять две операции одновременно. Требуется минимизировать общее время выполнения заказа.

Такая задача полиномиально разрешима. Определяем самую длительную операцию j_0 , такую, что $p_{j_0} = \max_{j=1,2,\dots,n} p_j$.

Длина расписание определяется формулой:

$$C_{max} = \sum_{j=1}^{j_0-1} p_j + N \cdot p_{j_0} + \sum_{j=j_0+1}^n p_j.$$

Данное расписание может быть представлено как циклическое, со временем цикла p_{j_0} , в котором каждая следующая деталь поступает в обработку с таким периодом. Циклические расписания обеспечивают ритмичность, прогнозируемость процесса обработки деталей.

Современный этап развития характеризуется внедрением сложных универсальных роботизированных производственных комплексов. Они могут выполнять множество операций. Высокая стоимость такого оборудования влечет необходимость его эффективного использования. Это приводит к тому, что вместо конвейерной системы Flow-shop, рассматривается более сложная система, в которой технологический маршрут детали более сложный и машины в нем могут повторяться. Такая задача называется Job-Shop или $J|identical|C_{max}$.

Возникает вопрос, насколько легко решается эта задача. К сожалению, она является NP трудной [1]. К ней сводится задача Job-Shop с тремя различными деталями [2]. Поэтому возникает вопрос о построении приближенных алгоритмов.

Такие алгоритмы предлагается строить на базе циклических расписаний. Расписание называется циклическим, если выполнение соответствующих операций любых двух последовательно обрабатываемых деталей происходит через промежуток времени, равный C и называемый длиной цикла. Пример циклического расписания двумя машинами изображен на рис.1. Операции O_1, O_3, O_5 выполняются на первой машине, а операции O_2, O_4, O_6 – на второй.



Рисунок 1 – Пример циклического расписания для 6 операций.

В [3] показано, что циклическое расписание дает асимптотически точное решение нашей задачи. То есть при росте числа деталей в заказе относительная оценка точности полученного решения стремится к нулю. Однако абсолютная оценка точности может быть достаточно большой. Дело в том, что максимальная загрузка оборудования достигается только в полном цикле. При запуске партии деталей и ее завершении вне полного цикла происходит простой оборудования. Для сложного технологического маршрута обработки детали такие простои могут быть довольно значительными.

Циклические расписания с минимальным временем цикла обеспечивают максимально возможную загрузку машин, но только в полном цикле. В начале запуска партии и при ее завершении циклы не являются полными, как в случае с конвейером, и простой машин оказывается большим. Рассмотрим следующие входные данные задачи:

$$\begin{pmatrix} O_1 & O_2 & O_3 & O_4 & O_5 & \dots & O_{2k-1} & O_{2k} & O_{2k+1} \\ M_0 & M_1 & M_0 & M_2 & M_0 & \dots & M_0 & M_k & M_0 \\ 1 & p_2 & 1 & p_4 & 1 & \dots & 1 & p_{2k} & 1 \end{pmatrix},$$

где $\sum_{i=1}^k p_{2i} < 1$. Минимальная длина цикла равна $k+1$. Но полные циклы, в которых выполняется весь набор операций, начинаются только с $k+1$ детали. Самая дефицитная машина в начальной стадии процесса, как и в заключительной стадии, простаивает в общей сложности k^2 единиц времени. Таким образом, главным недостатком циклических расписаний являются потери, связанные с запуском и завершением всей партии деталей.

Задача построения циклического расписания с минимальным временем цикла полиномиально разрешима. Используем этот малотрудоемкий алгоритм для построения приближенного решения NP-трудной задачи минимизации общего времени выполнения заказа. Для этого необходимо уплотнить неполные циклы такого расписания. Опишем алгоритм уплотнения.

Шаг 0. Строим циклическое расписание с минимальным временем цикла.

Шаг 1. Выделяем первый цикл с полным набором операций.

Шаг 2. Операции входящие в этот цикл и предшествующие циклы упорядочиваем по невозрастанию их времени окончания.

Шаг 3. Просматриваем этот список с конца каждую операцию сдвигаем как можно позднее, пока не нарушится отношение предшествования или две операции не поступят на одну машину.

Шаг 4. Аналогично действуем при завершении заказа.

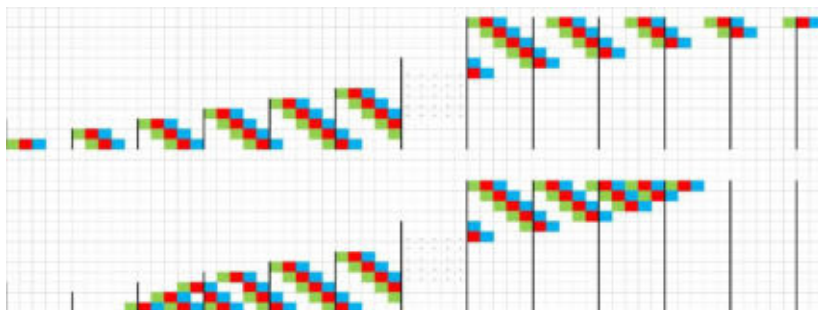


Рисунок 2 – Расписание до и после сжатия.

На рис. 2 показаны неполные циклы циклического расписания и итоговое расписание после сжатия этих неполных циклов.

Показано, что в классе циклических расписаний с последующим сжатием начало и конца, не всегда удается построить оптимальное решения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Межецкая М.А., Сервах В.В.* Задачи обработки деталей со сложным технологическим маршрутом // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=8407>
- [2] *Sotskov Y.N., Shakhlevich N.V.* NP-hardness of shop-scheduling problems with three jobs // Discrete Appl. Math. 1995. Vol. 59, No 3. P. 37–266.
- [3] *Boudoukh T., Penn M., Weiss G.* Scheduling jobshops with some identical or similar jobs // Journal of Scheduling. 2001. Vol. 4. P. 177–199.

Тавченко Вероника Юрьевна,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
1 курс аспирантуры, ИМИТ,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)644238,
nikapolicheva@mail.ru

Эффективный алгоритм решения задачи максимизации прибыли инвестиционного проекта при идентичных работах

Д. А. Носков

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. В. В. Сервах

Аннотация. Рассматривается задача календарного планирования выполнения совокупности идентичных технологически независимых работ, направленных на получение прибыли. Учитывается возможность использования кредита и реинвестирования дохода, получаемого от завершающихся работ. В работе выявлены новые свойства задачи, на основе которых предлагается малотрудоёмкий алгоритм построения ее точного решения.

Ключевые слова: инвестиционный проект, календарное планирование, идентичные работы, кредиты.

Формально постановка задачи выглядит следующим образом. Имеется N идентичных работ единичной длительности. k – необходимые капиталовложения в работу. В модели предполагается, что эти деньги вкладываются в момент начала выполнения работы. По ее завершению получаем доход в размере c . Инвестор обладает начальным капиталом в размере K_0 . Имеется возможность кредитования по ставке r за единичный период времени. Для сравнения денег в различные моменты времени используем операцию дисконтирования. Ставка альтернативного безрискового ликвидного размещения капитала равна r_0 . Требуется составить расписание выполнения работ, при котором чистая приведенная прибыль всего проекта будет максимальной.

Задача календарного планирования с ресурсами складываемого типа, к которым относятся финансы, рассматривалась в [1]. В [2] исследована задача максимизации чистой приведенной прибыли, а в [3] задача при возможности использования кредитов. Данная работа посвящена задаче с идентичными независимыми работами.

Пусть F_t – капитал к моменту t , $t = 0, 1, \dots, T$. Первоначально $F_0 = K_0$. Для $t = 0, 1, \dots, T - 1$ значение F_{t+1}

вычисляем рекуррентно. Если денег F_t не хватает на текущие вложения $\sum_{j \in N_t} k_j$, то на недостающую сумму берем кредит под ставку r , и, следовательно, $F_{t+1} = (F_t - kN_t)(1 + r) + cN_t$. Иначе свободные деньги в размере $F_t - \sum_{j \in N_t} k_j$ размещаем под ставку r_0 : $F_{t+1} = (F_t - \sum_{j \in N_t} k_j)(1 + r_0) + \sum_{j \in N_t} c_j$. Полученный в итоге капитал F_T дисконтируем к начальному моменту времени. Вычитая исходные капиталовложения K_0 получим значение чистой приведенной прибыли $NPV = \frac{F_T}{(1+r_0)^T} - K_0$, которую необходимо максимизировать. Таким образом, требуется найти срок завершения проекта T и разбивку множества всех работ на последовательность подмножеств $(N_0, N_1, \dots, N_{T-1})$.

Для решения этой задачи в [3] предложен алгоритм трудоемкостью $O(N^3)$ операций. В данной работе исследуются важные свойства задачи и на их основе предлагается более быстрый алгоритм ее решения.

Лемма 1. При $c > k(1 + r_0)$ в любой момент времени $t = 1, 2, \dots, T$, кроме $t = 0$, кредит выгоден лишь в размере, меньшем, чем требуется для выполнения одной работы.

Лемма 2. Если при $c > k(1 + r_0)$ в момент времени t ресурсов хватает на выполнение m целых работ, то все эти m работ должны быть выполнены.

Введем обозначения:

$K(t, n)$ – максимальный доход, полученный к моменту t , если к этому моменту завершились n работ;

$P(t, n)$ – число работ, выполняемых в интервале $(t, t + 1]$, на котором достигается оптимум для состояния (t, n) ;

x_t – количество работ в оптимальном решении, выполняемых в интервале $(t, t + 1]$.

Опишем новый алгоритм. На вход алгоритма поступают следующие значения: N, k, c, r, r_0, K_0 .

При формировании начальных значений для каждого $n = 1, 2, \dots, N$ вычисляем соответствующее значение дохода:

если $K_0 - kn < 0$, то $K(1, n) = (K_0 - kn)(1 + r) + cn$;

если $K_0 - kn > 0$, то $K(1, n) = (K_0 - kn)(1 + r_0) + cn$.

Организуем двойной цикл для вычисления дохода $K(t, n)$.

Цикл по $t = 2, 3, \dots, T$

Цикл по $n = 1, 2, \dots, N$.

В соответствии с леммой 2 выполняем максимальное возможное число работ, на которые хватает денег:

$$g_t = \left\lfloor \frac{K(t, n)}{k} \right\rfloor,$$

и вычисляем соответствующий доход:

$$K(t + 1, n + g_t) = \max \left\{ \begin{array}{l} K(t + 1, n + g_t) \\ (K(t, n) - kg_t)(1 + r_0) + cg_t. \end{array} \right.$$

Фиксируем число выполняемых работ для этого состояния $P(t + 1, n + g_t) = g_t$, если $(K(t, n) - kg_t)(1 + r_0) + cg_t > K(t + 1, n + g_t)$.

В соответствии с леммой 1 выполняем минимальной возможное число работ при условии кредитования:

$$g_t = \left\lceil \frac{K(t, n)}{k} \right\rceil,$$

и вычисляем соответствующий доход:

$$K(t + 1, n + g_t) = \max \left\{ \begin{array}{l} K(t + 1, n + g_t) \\ (K(t, n) - kg_t)(1 + r) + cg_t. \end{array} \right.$$

Фиксируем число выполняемых работ для этого состояния $P(t + 1, n + g_t) = g_t$, если $(K(t, n) - kg_t)(1 + r) + cg_t > K(t + 1, n + g_t)$.

В итоге получим набор значений $K(t, N)$, которые определяют максимальный доход, когда все работы выполнены в периоде $[0, t]$, $t = 1, 2, \dots, T$. Каждую из этих величин дисконтируем к начальному моменту $\frac{K(t, N)}{(1 + r_0)^t}$ и выбираем наибольшее из полученных значений. Значение t_0 , на котором достигается максимум определяет оптимальный срок выполнения всех работ.

Обратный ход выполняется стандартным образом, используя значения $P(t, n)$. В результате работы алгоритма получаем следующие выходные данные:

t_0 — срок завершения проекта;

$\frac{K(t_0, N)}{(1+r_0)^{t_0}}$ – оптимальное значение NPV;

$(x_0, x_1, \dots, x_{t_0})$ – расписание выполнения работ.

Трудоёмкость алгоритма составляет $O(NT)$ операций. Значение T можно оценить по формуле из [3]:

$$T = \log_a \left(\frac{(a(1+r) - 1) \cdot \ln(1+r_0)}{r \cdot \ln a (1+r_0)} \right),$$

где $a = \frac{c}{k}$. Алгоритм является псевдополиномиальным, так как длина входа задачи от числа работ N зависит логарифмически. Вопрос о полиномиальной разрешимости задачи остается открытым.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Казаковцева Е.А. Сложность задачи календарного планирования с кредитами // Дискретный анализ и исследование операций. 2015. Т. 22, № 4. С. 35–49.
- [2] Черных К.А. Планирование инвестиционных проектов с идентичными работами / Черных К.А. // Сборник статей V Региональной конференции магистрантов, аспирантов и молодых ученых по физике, математике и химии. Омск, ОмГУ. 2017.
- [3] Chernykh K.A., Servakh V.V. The planning investment project with identical independent jobs // Сборник статей VII Международной конференции «Проблемы оптимизации и их приложения», Омск. 2018.

Носков Дмитрий Андреевич,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
1 курс магистратуры, ИМИТ,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)644238,
noskovda97@gmail.com

Булев граф и его свойства

И. М. Бучинский

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. В. Н. Ремесленников

Аннотация. В данной статье на основе введенного ранее Э. Дж. Данканом, И. В. Казачковым и В. Н. Ремесленниковым оператора замыкания на вершинах графа описывается класс графов, чья решетка замкнутых подмножеств образует булеву алгебру, а также исследуются некоторые свойства таких графов.

Ключевые слова: простой граф, решетка замкнутых подмножеств, булев граф.

В статье [2] для произвольного подмножества вершин A некоторого простого графа Γ был введен оператор замыкания, который мы будем обозначать через $cl(A)$. На его основе была определена решетка замкнутых подмножеств $L(\Gamma)$ графа Γ . Эти понятия играют важную роль в теории частично коммутативных алгебраических систем: см., например, работы [1, 7, 8].

Подмножество вершин A графа Γ называется *замкнутым относительно оператора cl* , если $cl(A) = A$. Возникает естественный вопрос: для каких графов решетка замкнутых подмножеств относительно оператора cl является *булевой алгеброй*? Другими словами, как выглядят графы, в которых любое подмножество вершин замкнуто относительно cl ? Всюду далее под словом «граф» будем подразумевать «неориентированный конечный простой граф».

В данной работе будут использованы понятия решетки, формулы логики первого порядка и графа. Рекомендуем читателю работы [4, 5, 6] для ознакомления с ними.

Граф Γ будем называть *булевым графом* (сокращенно Б-граф), если любое его подмножество вершин является замкнутым относительно оператора cl .

Лемма 1. Справедливы следующие утверждения:

1. каждый Б-граф с более чем двумя вершинами связан;
2. в любом булевом графе нет центральных вершин.

Доказательство. 1. Прямо вытекает из того факта, что ортогональное дополнение множества, состоящего из пары вершин, находящихся в разных компонентах связности, совпадает со всем множеством вершин графа.

2. Следует из того, что в замыкание любого подмножества вершин попадают все центральные вершины. ■

Теорема 1. (О структуре булева графа). Для любой вершины булева графа существует единственная отличная от нее и несмежная с ней вершина.

Доказательство. Пусть Γ - произвольный n -вершинный Б-граф с множеством вершин X . Основываясь на лемме 1 перейдем к случаю $n > 2$. Так как в Γ нет центральных вершин, то для любой вершины найдется хотя бы одна вершина, отличная от нее и несмежная с ней. Покажем, что она единственная.

Пусть u – произвольная вершина в Γ , v – несмежная с ней вершина и w – еще одна вершина, несмежная с u . Пусть $\{u\}^\perp = \{u\} \cup Y$, $\{v\}^\perp = \{v\} \cup Z$, где $Y, Z \subset X$. Очевидно, что $v, w \notin Y$, $u \notin Z$. Тогда $\{u, v\}^\perp = Y \cap Z = T \not\ni w$. Заметим, что T не пусто. Действительно, если бы $T = \emptyset$, то $cl(\{u, v\}) = T^\perp = \emptyset^\perp = X$, но $\{u, v\}$ замкнуто, а $|X| > 2$. Противоречие.

Итак, T не пусто. Тогда $T^\perp = \{u, v\}$. Но ведь $(\{u, v\} \sqcup T)^\perp = \emptyset$. Тогда $X = \{u, v\} \sqcup T$ и $w \notin X$. Противоречие. Следовательно, не существует такой вершины $w \in X$. ■

Из теоремы 1 непосредственно вытекает

Следствие 1. Справедливы следующие утверждения:

1. булев граф имеет только четное число вершин;
2. n -вершинный Б-граф является $(n - 2)$ -регулярным графом.

Замечание 1. Условие о том, что каждая вершина обладает единственной отличной от нее несмежной с ней вершиной, выражается $\forall \exists \forall$ -формулой языка логики первого порядка, а значит может быть использовано как аксиома для определения класса булевых графов. Действительно, искомая формула выглядит следующим образом:

$$\forall x \exists y (\neg(x = y) \ \& \ \neg E(x, y) \ \& \ \forall z ((\neg(z = x) \ \& \ \neg E(x, z)) \rightarrow z = y)).$$

Кроме этого, исходя из теоремы 1 и из теоремы 2.2.4 из [3], которая описывает все конечные ультраоднородные графы, получаем следующий результат:

Следствие 2. Любой изоморфизм между подграфами произвольного Б-графа продолжается до автоморфизма всего этого графа, то есть любой булев граф ультраоднороден.

Следующая теорема представляет собой критерий булевости графа на языке ортогональных дополнений:

Теорема 2. $(2n)$ -вершинный граф с множеством вершин X булев тогда и только тогда, когда для любых различных вершин $u_1, u_2, \dots, u_n, \dots, u_{2n} \in X$ справедлива следующая цепочка вложений: $X = \emptyset^\perp \supseteq \{u_1\}^\perp \supseteq \{u_1, u_2\}^\perp \supseteq \dots \supseteq \{u_1, u_2, \dots, u_n\}^\perp \supseteq \dots \supseteq \{u_1, u_2, \dots, u_n, \dots, u_{2n}\}^\perp = \emptyset$.

Доказательство. « \Rightarrow » Выберем произвольную вершину $u_1 \in X$. Заметим, что $|\{u_1\}^\perp| = 2n - 1 < 2n = |\emptyset^\perp|$. Выберем другую произвольную вершину u_2 и вершину $v_2 \neq u_2$, несмежную с u_2 . Отметим, что если u_1 и u_2 несмежны, то $u_1 = v_2$. $\{u_1, u_2\}^\perp = \{u_1\}^\perp \setminus \{v_2\}$. Добавляя в очередное ортогональное дополнение вершину, хоть смежную со всеми вершинами из предыдущего ортогонального дополнения, хоть несмежную хотя бы с одной из них, его мощность все равно уменьшится ровно на единицу и будет обязательно содержаться в предыдущем. Размер ортогонального дополнения после добавления i -ой вершины станет равным $2n - i$. Так как всего вершин $2n$, то при добавлении последней вершины ортогональное дополнение станет пустым.

« \Leftarrow » От противного. Пусть Γ - $2n$ -вершинный граф, для которого выполнено условие и который не является булевым. Так как он не булев, в нем имеется хотя бы одна либо центральная вершина, либо вершина, степень которой меньше, чем $2n - 2$. Добавление центральной вершины в ортогональное дополнение на произвольном шаге никак не меняет его - значит ее быть не может. Пусть есть вершина w , степень которой меньше, чем $2n - 2$. Тогда $|\{w\}^\perp| < 2n - 1$ и, согласно условию, для любых различных $u_1, u_2, \dots, u_{2n-1} \in X \setminus \{w\}$ справедливы следующие неравенства: $|\{w, u_1\}^\perp| < 2n - 2$, $|\{w, u_1, u_2\}^\perp| < 2n - 3$, ...,

$|\{w, u_1, u_2, u_{2n-1}\}^\perp| < 2n - 1 - (2n - 1) = 0$. Из последнего получаем противоречие. ■

В частности, имеет место

Следствие 3. Высота решетки замкнутых подмножеств $(2n)$ -вершинного булева графа равна $2n$. Более того, длина каждой цепочки в его решетке от минимального элемента к максимальному равна $2n$.

Замечание 2. Из формулировки следствия 3 вытекает, что мощность подмножества вершин A булева графа Γ фактически является высотой A в решетке замкнутых подмножеств графа Γ .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Duncan A.J., Kazachkov I.V., Remeslennikov V.N.* Centraliser dimension and universal classes of groups // Сиб. электрон. матем. изв. 2006. Т. 3. С. 197–215.
- [2] *Duncan A.J., Kazachkov I.V., Remeslennikov V.N.* Orthogonal systems in finite graphs // Сиб. электрон. матем. изв. 2008. Т. 5. С. 151–176.
- [3] *Macpherson D.* A survey of homogeneous structures // Discrete Mathematics. 2011. Vol. 311, No 15. P. 1599–1634.
- [4] *Hodges W.* Model Theory // Encyclopedia of Mathematics and its Applications, Cambridge University Press. 1993.
- [5] *Биркгоф Г.* Теория решеток // М.: Наука. 1984.
- [6] *Дистель Р.* Теория графов // Новосибирск: Изд-во Ин-та математики. 2002.
- [7] *Мищенко А.А., Трейер А.В.* Графы коммутативности для частично коммутативных двуступенно нильпотентных \mathbb{Q} -групп // Сиб. электрон. матем. изв. 2007. Т. 4. С. 460–481.
- [8] *Ремесленников В.Н., Трейер А.В.* Структура группы автоморфизмов для частично коммутативных двуступенно нильпотентных групп // Алгебра и логика. 2010. Т. 49, № 1. С. 43–67.

Бучинский Иван Михайлович,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
4 курс специалитета, ИМИТ,
644077, Омск, пр. Мира 55-А, (3812)644238, buchvan@mail.ru.

Анализ погрешности квадратурных формул при интегрировании функций с большими градиентами

Б. А. Туровец

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. А. И. Задорин

Аннотация. Рассматривается вопрос численного интегрирования функций с большими градиентами в пограничном слое. Исследуется метод сгущения сетки на основе минимизации погрешности составной квадратурной формулы. Рассматриваются случаи квадратурных формул Ньютона-Котеса и Гаусса. Приводятся результаты численных экспериментов, которые показывают, что оценки погрешности рассматриваемых квадратурных формул на построенной сетке равномерны по малому параметру.

Ключевые слова: квадратурные формулы, пограничный слой.

Рассмотрим задачу численного интегрирования

$$I(u) = \int_0^1 u(x) dx \quad (1)$$

на классе функций с большими градиентами, соответствующих решению сингулярно возмущенной задачи.

Предполагаем, что для функции $u(x)$ справедлива декомпозиция:

$$u(x) = p(x) + \Phi(x), x \in [0,1] \quad (2)$$

$$|p^{(j)}(x)| \leq C_1, |\Phi^{(j)}(x)| \leq \frac{C_1}{\varepsilon^j} e^{-\frac{\alpha x}{\varepsilon}}, 0 \leq j \leq m, \quad (3)$$

функции $p(x)$ и $\Phi(x)$ в явном виде не заданы, $\alpha > 0, \varepsilon > 0$. Коэффициент α отделен от нуля, параметр ε может быть близок к нулю, m некоторая положительная постоянная. Под C и C_j подразумеваем положительные постоянные, не зависящие от параметра ε и числа сеточных интервалов N . В соответствии с [4], декомпозиция (2) справедлива для решения сингулярно возмущенной краевой задачи.

В соответствии с [3] в случае функций вида (2) составные формулы Ньютона-Котеса на равномерной сетке с шагом h имеют погрешность порядка $O(h)$ независимо от числа узлов в шаблоне для формулы. Таким образом, актуальна задача

построения квадратурных формул, погрешность которых не зависит от роста функции в пограничном слое.

В монографии [2] рассматривается задача построения оптимальной сетки при численном интегрировании функций с большими градиентами. Такая сетка строится на основе минимизации погрешности составной формулы трапеций.

Применим данный подход для численного интегрирования функций с большими градиентами в экспоненциальном пограничном слое. Будем использовать, что для таких функций справедливо представление (2) с оценками производных (3).

Зададим сетку интервала $[0,1]$, узлы которой будут находиться на основе минимизации погрешности:

$$\Omega^h = \{x_n: x_n = x_{n-1} + h_n, \quad n = 1, 2, \dots, N, x_0 = 0, x_N = 1.\}$$

Базовая квадратурная формула $S_{k,n}(u)$ с k узлами будет строиться на каждом интервале $[x_{n-1}, x_n]$.

Остановимся на случае применения формул Ньютона-Котеса. Итак, перейдем к построению составной квадратурной формулы. Пусть

$$I(u) = \sum_{n=1}^N I_n(u), I_n(u) = \int_{x_{n-1}}^{x_n} u(x) dx.$$

Предполагаем, что для вычисления интеграла $I_n(u)$ применяется формула Ньютона-Котеса $S_{k,n}(u)$ с k равноотстоящими узлами. Тогда для некоторой постоянной C справедлива оценка погрешности [2]

$$|S_{k,n}(u) - I_n(u)| \leq C(x_n - x_{n-1})^{k+1} \max_{s \in [x_{n-1}, x_n]} |u^{(k)}(s)|. \quad (4)$$

Зададим составную формулу Ньютона-Котеса

$$S_k(u) = \sum_{n=1}^N S_{k,n}(u).$$

Предполагаем, что $|u^{(k)}(x)| \leq F_k(x)$. Тогда в соответствии с (4)

$$|I(u) - S_k(u)| \leq C \sum_{n=1}^N \max_{x \in [x_{n-1}, x_n]} F_k(x) (x_n - x_{n-1})^{k+1}. \quad (5)$$

Будем задавать узлы x_n на основе минимизации погрешности составной квадратурной формулы $S_k(u)$.

Применяем подход, изложенный в [2] в случае составной формулы трапеций.

Задаем узлы сетки Ω^h в виде

$$x_n = g(n/N), n = 0, 1, \dots, N, g(0) = 0, g(1) = 1,$$

где $g(t)$ — строго возрастающая функция.

В соответствии с [2], задачу минимизации суммы (5) сводим к минимизации интеграла

$$\begin{aligned} \int_0^1 (g'(t))^{k+1} F_k(g(t)) dt &= \int_0^1 (t'(g))^{-k} F_k(g) dg \\ &= \int_0^1 G(g, t, t') dg. \end{aligned} \quad (6)$$

Интеграл (6) минимизируется на основе решения уравнения Эйлера

$$\frac{d}{dg} \left(\frac{\partial G}{\partial t'} \right) - \frac{\partial G}{\partial t} = 0.$$

С учетом (5), получаем

$$F_k(g) (g'(t))^{k+1} = M_1. \quad (7)$$

Учитывая краевые условия $g(0) = 0, g(1) = 1$ находим функцию $g(t)$ и далее находим узлы $x_n = g(n/N), n = 0, 1, \dots, N$.

Теперь перейдем к построению оптимальной сетки для численного интегрирования функций вида (2) - (3). При построении сетки будем предполагать, что $\varepsilon \leq \varepsilon_0 < 1$, где некоторая постоянная ε_0 отделена от единицы. В случае $\varepsilon \geq \varepsilon_0$ производные функции $u(x)$ являются равномерно ограниченными и для вычисления интеграла (1) можно применять формулы Ньютона-Котеса на равномерной сетке.

В соответствие с оценками (3), на интервале $[0, 1]$ зададим

$$F_k(x) = 1 + \frac{1}{\varepsilon^k} e^{-\alpha x / \varepsilon}.$$

Мы учли, что функцию $F_k(x)$ можно задать с точностью до множителя. Отметим, что при таком задании $F_k(x)$ уравнение (7) не интегрируется в явном виде. Тогда можно выделять подинтервал $[0, \sigma]$, на котором определим $F_k = \varepsilon^{-k} e^{-\alpha x / \varepsilon}$, а на интервале $[\sigma, 1]$ зададим $F_k(x) = 1$.

Остановимся на случае $F_k(x) = \varepsilon^{-k} e^{-\alpha x / \varepsilon}$. Интегрируя (7) с учетом краевых условий $g(0) = 0, g(1/2) = \sigma$, получаем:

$$g(t) = -\frac{(k+1)\varepsilon}{\alpha} \ln[1 - 2(1 - e^{-\alpha\sigma/(k+1)\varepsilon})t], t \in [0, 1/2].$$

Аналогично на интервале $[\sigma, 1]$ получаем

$$g(t) = 2\sigma - 1 + 2(1 - \sigma)t, \quad t \in [1/2, 1].$$

Таким образом, из минимизации погрешности составной квадратурной формулы получаем узлы сетки:

$$x_n = -\frac{(k+1)\varepsilon}{\alpha} \ln[1 - 2(1 - \varepsilon)n/N], n = 0, 1, 2, \dots, N/2,$$

$$x_n = 2\sigma - 1 + 2(1 - \sigma)n/N, n = N/2 + 1, N/2 + 2, \dots, N, \quad \sigma = x_{N/2}.$$

Интересно, что минимум погрешности достигается на сетке Бахвалова [1], применяемой при построении разностных схем для сингулярно возмущенных задач.

Остановимся на оптимизации узлов при применении квадратурной формулы Гаусса. В формуле Гаусса, применяемой на интервале $[x_{n-1}, x_n]$, в качестве узлов сетки берутся корни ортогонального многочлена Лежандра степени k , для заданного интервала. Для формулы Гаусса $G_{k,n}(u)$ с k узлами на интервале $[x_{n-1}, x_n]$ для некоторой постоянной C справедлива оценка погрешности [2]

$$|G_{k,n}(u) - I_n(u)| \leq C(x_n - x_{n-1})^{2k+1} \max_{s \in [x_{n-1}, x_n]} |u^{(2k)}(s)|.$$

Пусть $G_k(u)$ – составная формула Гаусса. Осуществляя минимизацию погрешности составной формулы Гаусса по аналогии с случаем формулы Ньютона-Котеса, получаем узлы сетки:

$$x_n = -\frac{(2k+1)\varepsilon}{\alpha} \ln[1 - 2(1 - \varepsilon)n/N], n = 0, 1, 2, \dots, N/2,$$

$$x_n = 2\sigma_1 - 1 + 2(1 - \sigma_1)n/N, n = N/2 + 1, N/2 + 2, \dots, N,$$

$$\sigma_1 = x_{N/2}.$$

Остановимся на результатах численных экспериментов.

Рассмотрим функцию вида (2).

$$u(x) = \cos \frac{\pi x}{2} + e^{-x/\varepsilon}.$$

В таблицах приведены погрешность и вычисленный порядок точности в зависимости от применяемой квадратурной формулы. Результаты вычислений подтверждают, что погрешность формул

Ньютона-Котеса на оптимальной сетке порядка $O(N^{-k})$, а формул Гаусса – порядка $O(N^{-2k})$, где k – число узлов базовой формулы. Применение равномерной сетки неприемлемо.

Таблица 1 – Погрешность формулы Гаусса с двумя узлами на оптимальной сетке

ε	N					
	8	16	32	64	128	256
1	2.55e-7 4.00	1.59e-8 4.00	9.95e-10 4.00	6.22e-11 4.00	3.89e-12 4.00	2.43e-13
10 ⁻¹	5.40e-5 3.95	3.50e-6 3.99	2.21e-7 4.00	1.38e-8 4.00	8.65e-10 4.00	5.41e-11
10 ⁻³	1.57e-5 3.28	1.62e-6 3.28	1.66e-7 3.33	1.66e-8 3.40	1.57e-9 3.48	1.41e-10
10 ⁻⁵	3.68e-6 3.94	2.39e-7 3.89	1.61e-8 3.80	1.15e-9 3.69	8.97e-11 3.55	7.68e-12
10 ⁻⁶	3.54e-6 4.00	2.21e-7 3.99	1.39e-8 3.97	8.87e-10 3.95	5.74e-11 3.91	3.82e-12

Таблица 2 – Погрешность формулы Гаусса с тремя узлами на равномерной сетке

ε	N					
	8	16	32	64	128	256
16 ⁻¹	1.74e-6 5.86	3.00e-8 5.96	4.80e-10 5.99	7.55e-12 6.00	1.18e-13 6.73	1.11e-15
32 ⁻¹	3.95e-5 5.51	8.70e-7 5.86	1.50e-8 5.96	2.40e-10 5.99	3.78e-12 5.99	6.00e-14
128 ⁻¹	2.07e-3 3.11	2.40e-4 4.60	9.88e-6 5.51	2.18e-7 5.86	3.75e-9 5.96	6.00e-11
256 ⁻¹	2.96e-3 1.52	1.04e-3 3.11	1.20e-4 4.60	4.94e-6 5.51	1.09e-7 5.86	1.87e-9
512 ⁻¹	1.93e-3 0.38	1.48e-3 1.52	5.18e-4 3.11	5.99e-5 4.60	2.47e-6 5.51	5.44e-8

Таблица 3 – Погрешность формулы Гаусса с тремя узлами на оптимальной сетке

ε	N					
	8	16	32	64	128	256
16^{-1}	1.74e-6 5.86	3.00e-8 5.96	4.80e- 10 5.99	7.55e- 12 6.00	1.18e- 13 6.73	1.11e- 15
32^{-1}	3.95e-5 5.51	8.70e-7 5.86	1.50e-8 5.96	2.40e- 10 5.99	3.78e- 12 5.99	6.00e- 14
128^{-1}	8.82e-7 6.16	1.24e-8 6.08	1.82e- 10 6.16	2.56e- 12 6.68	2.22e- 14 6.81	2.22e- 16
256^{-1}	4.70e-7 6.18	6.50e-9 6.08	9.58e- 11 6.05	1.44e- 12 6.13	2.07e- 12 6.54	2.22e- 16
512^{-1}	2.45e-7 6.19	3.36e-9 6.10	4.91e- 11 6.05	7.44e- 13 6.07	1.11e- 14 -	-

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Бахвалов Н.С.* К оптимизации методов решения краевых задач при наличии пограничного слоя // *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.* 1969. Т. 9, №4. С. 841–859.
- [2] *Бахвалов Н.С.* Численные методы // *Н.С. Бахвалов. М., 1975. 631 с.*
- [3] *Задорин А.И., Задорин Н.А.* Квадратурные формулы для функций с погранслошной составляющей // *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.* 2011. Т. 51, № 11. С. 1952–1962.
- [4] *Шишкин Г.И.* Сеточные аппроксимации сингулярно возмущенных эллиптических и параболических уравнений // *Г.И. Шишкин. Екатеринбург, 1992. 292 с.*

Туровец Богдан Александрович
 Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
 2 курс магистратуры, ИМИТ,
 644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)643238,
 turovets.b@gmail.com

Исследование вычислительной сложности задачи календарного планирования с единичными длительностями работ

Д. А. Ющенко

Научный руководитель: д.ф.-м.н., В. В. Сервах

Аннотация. В работе рассматривается задача максимизации чистой приведенной прибыли инвестиционного проекта с технологически независимыми работами единичной длительности. Доказана NP-трудность рассматриваемой задачи, описана технология расчета чистой приведенной прибыли инвестора с учетом соинвестирования проекта.

Ключевые слова: календарное планирование, инвестиционный проект, чистая приведенная прибыль.

Календарное планирование – одно из основных направлений теории комбинаторной оптимизации. Задачи такого типа возникают в строительстве, на производстве, при планировании и запуске современного оборудования, разведке и разработке месторождений. Впервые, как математическая задача, она была рассмотрена в 1958 году. В 1970 году Рассел исследовал задачу календарного планирования с критерием чистой приведенной прибыли. В настоящее время имеется большое количество программ по календарному планированию Microsoft Project 2010, Project Manager, Time Line, TurboProject, Project Scheduler. Однако остается большое число нерешенных проблем.

Инвестиционным проектом называется множество работ, выполнение которых направлено на получение прибыли. Для критерия задача максимизации прибыли NP-трудна в сильном смысле [1]. Она остается NP-трудной в сильном смысле даже в случае идентичных работ единичной длительности. К ней сводится задача о клике. Сложность задачи "заключена" в частичном порядке работ. Если работы независимы, то исследовался только случай с идентичными работами [2]. Предлагаемая работа посвящена исследованию задачи максимизации прибыли инвестиционного проекта с работами

единичной длительности, в случае, когда все работы технологически независимы.

Перейдем к постановке задачи. Пусть имеется N работ единичной длительности. Для выполнения работы j необходимо k_j единиц капитала, а после ее завершения получаем доход в размере c_j . Задана ставка дисконтирования $-r_0$ и ставка по кредиту $-r$. Свободный капитал размещаем под ставку r_0 , а в случае недостатка средств, разницу покрываем кредитом под ставку r . Полученный доход реинвестируется.

Переменными модели является срок завершения проектов T и множество работ N_t , начинающихся в момент времени. Выпишем баланс между вложениями и поступлениями:

$t=0$	$0 < t < T-1$	$t=T-1$
$-\sum_{j \in N_1} k_j$	$+\sum_{j \in N_t} c_j - \sum_{j \in N_t} k_j$	$\sum_{j \in N_{T-1}} c_j$

Прибыль проекта вычисляется по следующей формуле:

$$-\sum_{j \in N_1} k_j + \sum_{t=1}^{T-1} \frac{1}{(1+r_0)^t} \left(\sum_{j \in N_t} c_j - \sum_{j \in N_t} k_j \right) + \frac{1}{(1+r_0)^T} \sum_{j \in N_{T-1}} c_j.$$

Приведем пример с тремя работами. Пусть вложения в работы составляют 2, 3 и 6 единиц, а доход 4, 5 и 7 единиц, соответственно. При расписании $N_1 = \{1,2\}$, $N_2 = \{3\}$ поток платежей будет выглядеть следующим образом:

$t=0$	$t=1$	$t=2$
-5	+9-6	+7

Если $r_0 = 0,1$, то чистая приведенная к начальному моменту времени прибыль равна $NPV = 5 + \frac{3}{1,1} + \frac{7}{1,21} = 3,52$.

Это прибыль проекта. Далее встает вопрос о финансировании проекта. Обозначим через K_t размер собственного капитала в момент t , который мы можем использовать на финансирование проекта. Если денег на полное финансирование не хватает, то приходится привлекать соинвесторов. При этом часть прибыли получит соинвестор.

Наиболее простой способ соинвестирования – взять кредит в банке. Справедлива формула

$$NPV_{total} = NPV_{bank} + NPV_{our}.$$

Для рассмотренного выше расписания и собственного капитала $K_0 = 2, K_1 = 2$ потоки платежей приведены ниже:

	$t=0$	$t=1$	$t=2$	NPV
Общий	-5	+3	+7	3,52
Банк	-3	+3,6	0	0,27
Наш	-2	-0,6	+7	3,25

Сравним NPV этого расписания и двух других:

	{1,2,3}	{1,2}{3}	{1}{2}{3}
$K_0 = 5$	3,55	3,52	3,34
$K_0 = 0$	2,55	2,81	2,84
$K_0 = 2, K_1 = 2$	2,73	3,25	3,34

Из таблицы видно, что чистая приведенная прибыль проекта наибольшая при первом расписании. Если у нас нет собственного капитала и финансирует только банк, самым выгодным расписанием оказалось третье. И при наличии нашего капитала $K_0 = 2, K_1 = 2$ выгоднее также третье расписание.

Приведем алгоритм расчета собственной прибыли при заданном расписании. Пусть P_t – максимально возможный капитал к моменту $t, t = 0, 1, \dots, T$. Первоначально полагаем $P_0 = K_0$. Для $t = 0, 1, \dots, T - 1$ значение P вычисляем рекуррентно. Если денег P_t не хватает на текущие вложения $\sum_{j \in N_t} k_j$, то на недостающую сумму берем кредит под ставку r , и, следовательно

$$P_{t+1} = \left(P_t + K_t - \sum_{j \in N_t} k_j \right) (1 + r) + \sum_{j \in N_t} c_j.$$

Иначе свободные деньги в размере $P_t + K_t - \sum_{j \in N_t} k_j$ размещаем под ставку r_0 :

$$P_{t+1} = \left(P_t + K_t - \sum_{j \in N_t} k_j \right) (1 + r_0) + \sum_{j \in N_t} c_j.$$

Полученный в итоге капитал P_T дисконтируем к начальному моменту времени. Вычитая собственные капиталовложения K_t получим нашу долю чистой приведенной прибыли проекта

$$NPV_{our} = \frac{P_T}{(1 + r_0)^T} - \sum_{t=0}^{T-1} \frac{K_t}{(1 + r_0)^t},$$

которую необходимо максимизировать. Таким образом, требуется составить расписание выполнения работ, при котором собственная чистая приведенная прибыль NPV_{our} с учетом дисконтирования и реинвестирования будет максимальной.

К сожалению, справедлива следующая

Теорема. Задача календарного планирования проектов со складываемыми ресурсами, независимыми работами единичной длительности и критерием чистой приведенной прибыли является NP-трудной.

В перспективе планируется разработка как точного, так и приближенного алгоритмов для решения рассматриваемой задачи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Казаковцева Е.А., Сервах В.В. Сложность задачи календарного планирования с кредитами // Дискретный анализ и исследование операций. 2015. Т. 22, № 4. С. 35–49.
- [2] Chernykh K.A., Servakh V.V. The planning investment project with identical independent jobs // Сборник статей VII Международной конференции «Проблемы оптимизации и их приложения», Омск. 2018. С. 82 – 93.

Ющенко Дарья Анатольевна,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
1 курс магистратуры, ИМИТ,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)644238,
yushchenkodariya@gmail.com

Разработка аудиального управления электронными сервисами ОмГУ им. Ф. М. Достоевского

Н. В. Коляда

Научный руководитель: д.ф-м.н. Р. Ю. Симанчѳв

Аннотация. В публикации представлены результаты работы над разработкой аудиального менеджера для веб-приложения «Электронные сервисы ОмГУ».

Ключевые слова: информационная система, веб приложение, пользователи с ограниченными возможностями.

Современное общество в значительной степени зависит от Интернет-сайтов, которые обеспечивают ему доступ к различной информации. Хотя большинство пользователей воспринимают доступ к информации таким образом, как должное, некоторые группы пользователей сталкиваются с серьезными проблемами, пытаясь получить доступ к веб-сайтам традиционными средствами. В этом контексте мы фокусируемся на людях с серьезными нарушениями зрения, которые не могут использовать сайт без специальных программ.

На сегодня в ФГБОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского» (ОмГУ) остро стоит проблема предоставления доступа к электронным ресурсам для пользователей с ограниченными возможностями. В соответствии с Федеральным Законом «Об обеспечении доступа к информации...» [1] и национальным стандартом РФ ГОСТ Р 12 «Интернет ресурсы. Требования доступности для инвалидов по зрению» все ресурсы государственных и муниципальных структур обязаны предоставить версии сайтов для людей с ограниченными возможностями. В связи с указанной выше проблемой в отделе разработки информационных систем ОмГУ им Ф.М. Достоевского была поставлена задача по адаптивированию веб-приложения «Электронные сервисы» [2] для пользователей с ограниченными возможностями.

Одной из задач является разработка инструмента выполнения, озвученных пользователем команд, либо введенных

с клавиатуры с последующим аудио сопровождением для применения в информационных системах.

В таблице 1 приведены основные сервисы и библиотеки для возможности распознавания и синтеза речи в браузере.

Таблица 1 – Технологии распознавания и синтеза речи

Сервис/ Библиотека	Плат ный	Функция	Описание
Yandex SpeechKit	Да	Распознавание и синтез речи	Сервис Yandex SpeechKit позволяет разработчикам приложений использовать речевые технологии Яндекса: распознавание речи (Speech-to-Text) и синтез речи (Text-to-
SpeechRecognition	Нет	Распознавание речи	Экспериментальная технология. Интерфейс распознавание голоса Web Speech API является интерфейсом контроллера для сервиса распознавания.
SpeechSynthesisUtterance	Нет	Синтез речи	Интерфейс синтезирования текста в речь.
Google Cloud Speech	Да	Распознавание речи	Синтезатор в Google Cloud
pocketsphinx.js	Нет		Не поддерживают русский язык
watson-speech	Нет		

В результате анализа были выбраны технологии SpeechRecognition и SpeechSynthesisUtterance, для реализации распознавания и синтеза речи соответственно.

На данный момент только в некоторых браузерах существует поддержка функции SpeechRecognition для распознавания речи (таблица 2).

Таблица 2 – Поддержка браузерами распознавания и синтеза речи

Технология / Браузер	Chrome	Edge	Firefox	Internet Explorer	Opera	Safari
SpeechRecognition	+	+	-	-	-	-
SpeechSynthesisUtterance	+	+	+	-	+	+

В результате была реализована JavaScript-библиотека и модули для использования технологий SpeechSynthesisUtterance и SpeechRecognition при выполнении команд. Так же был реализован консольный менеджер управления, для ввода текстовых команд.

Краткий алгоритм работы программы:

пользователь активирует аудиального менеджера (речевая командой, спец. клавишей или комбинацией клавиш);

запускается режим прослушивания команды, с соответствующим сообщением пользователю;

пользователь озвучивает или вводит команду через консоль управления;

программа запускает процесс распознавания речи с последующим поиском подходящей команды путем отсеивания по алгоритму;

5) если найдено несколько совпадений, то программа предлагает выбрать нужный вариант;

6) когда команда однозначно определена или не найдена, программа выполняет команду и озвучивает результат.

Результаты апробированы на странице «Заявления» [3] веб-приложения «Электронные сервисы ОмГУ» [4]. В дальнейшем планируется доработка алгоритма поиска по фразе.

ЛИТЕРАТУРА

Об обеспечении доступа к информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления: федеральный закон от 9 февраля 1995 г. № 8-ФЗ.

Костюшина Е.А., Илюшечкин Е.А., Ворошилов В.В., Городецкий А.Д. Многокомпонентное веб-приложение «Электронные сервисы вуза». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 017612596, 01.03.17.

Сервис «Заявления»: [Электронный ресурс] URL:

Веб-приложение «Электронные сервисы ОмГУ»: [Электронный ресурс] URL: <https://eservice.omsu.ru> (дата обращения:

Коляда Никита Владимирович,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
1 курс аспирантуры, ИМИТ,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)644238,
nikita.nk16@yandex.ru

**Вычисление ренормализационной константы связи
трёхмерной однородной модели Изинга**

В. В. Бражник

Научный руководитель: д.ф.-м.н., доцент А. Н. Вакилов

Аннотация. Было проведено моделирование методом Монте-Карло термодинамического поведения трёхмерной модели Изинга вблизи критической точки с применением кластерного алгоритма Вольфа. С использованием метода перевешивания были вычислены различные термодинамические величины, такие, как: намагничённость, восприимчивость, корреляционная длина и ренормализационная константа связи, определяющая фиксированную (неподвижную) точку ренормализационного преобразования.

Ключевые слова: трёхмерная модель Изинга, методы Монте-Карло, метод перевешивания, ренормализационная константа связи.

Флуктуации параметра порядка являются одной из ключевых характеристик теории фазовых переходов второго рода. Отсутствие малого параметра [1] делает ряды теории возмущений расходящимися и усложняет исследование больших систем [2]. Эту проблему призваны решить специальные методы суммирования. Ренормализационная константа связи g является неподвижной точкой ренормгруппового преобразования и позволяет определить критические характеристики системы и критические индексы с применением специальных методов суммирования [3], поэтому вычисление констант связи непertурбативными методами Монте-Карло представляет большой интерес.

Модель Изинга в критической области термодинамически эквивалентна симметричной модели Гинзбурга-Ландау-Вильсона, определяемой гамильтонианом:

$$H = \int d^D x \left[\frac{1}{2} (\nabla \varphi(x))^2 + \frac{1}{2} m_0^2 \varphi(x)^2 + \frac{g_0}{4!} \varphi(x)^4 \right],$$

где φ - это n -компонентный параметр порядка, m_0 - это свободная масса, а g_0 - константа связи, определяемая при отсутствии критических флуктуаций полей. Однако описывается эффективным потенциалом, который определяется как:

$$V_{eff}(\varphi_R) = \frac{1}{2} m_R^2 \varphi_R^2 + \frac{1}{4!} m_R g_R^{(4)} \varphi_R^4 + \frac{1}{6!} g_R^{(6)} \varphi_R^6 + \frac{1}{8!} \frac{g_R^{(8)}}{m_R} \varphi_R^8 + \dots$$

где m_R - это ренормализационная масса (обратная корреляционная длина ξ), а $g_R^{(N)}$ - безразмерная ренормализационная константа связи N -го порядка.

Фазовый переход Прода возможен при условии, что $\frac{N}{V} \rightarrow const$, где число частиц $N \rightarrow \infty$ и объём системы $V \rightarrow \infty$. Для нахождения физических величин вблизи критической температуры используются методы конечно-размерного скейлинга. Прямое применение этих методов для вычисления константы связи в термодинамическом пределе не дает правильного значения, так как в критической области gR демонстрирует следующее свойство [2,5]:

$$g_R^\infty \equiv \lim_{\beta \rightarrow \beta_c^-} \lim_{L \rightarrow \infty} g_R(L, \beta) \neq \lim_{L \rightarrow \infty} \lim_{\beta \rightarrow \beta_c} g_R(L, \beta) \equiv \widetilde{g}_R$$

Вблизи критической температуры из-за расхождения времён релаксации и корреляции наблюдаются эффекты критического замедления, что увеличивает время расчётов и количество ресурсов для моделирования. Для повышения эффективности в данной работе были использованы метод перевзвешивания при расчёте термодинамических величин и кластерный алгоритм Вольфа [6].

Метод перевзвешивания позволяет получить диапазон значений термодинамических величин при температурах, полученных в ходе моделирования системы для одной температуры [7]. Формула перевзвешивания имеет вид:

$$\langle O \rangle_{\beta} = \frac{\sum_E O(E) h_{\beta}}{\sum_E h_{\beta}(E)} = \frac{\sum_E O(E) h_{\beta_c}(E) e^{-(\beta-\beta_c)E}}{\sum_E h_{\beta_c}(E) e^{-(\beta-\beta_c)E}},$$

где E – энергия системы, $h_{\beta}(E)$ - число состояний с энергией E .

В данной работе вычислялись следующие физические величины: намагниченность системы

$$M = \sum_i^N S_i$$

Восприимчивость

$$\chi = \frac{\langle M^2 \rangle - \langle M \rangle^2}{kT}$$

Корреляционная длина

$$\xi = \frac{1}{2 \sin\left(\frac{\pi}{L}\right)} \sqrt{\frac{\chi}{F} - 1}$$

Ренормализационная константа связи

$$g_R = 3 \left(\frac{L}{\xi}\right)^3 \left(1 - \frac{\langle M^4 \rangle}{3 \langle M^2 \rangle^2}\right)$$

В работе было проведено моделирование систем с линейными размерами решёток $L = 64, 80, 96, 110, 128, 140$ при критической температуре $T_c = 4.5115$. Усреднение термодинамических величин проводилось по $2 \cdot 10^6$ состояниям, соответствующим одному шагу Монте-Карло. Было получено значение $g_R^{\infty} = 23,56(1)$ с учётом условия достижения термодинамического предела $L/\xi > 5$ [4,5], которое согласуется с теоретическими [4] и экспериментальными [5] значениями.

Таблица 1 – Значения величин, вычисленных в данной работе

L	ξ	ξ/L	g_R
64	41,1(2)	0,64(3)	5,3(4)
80	51,4(3)	0,63(6)	5,28(2)
96	62,0(1)	0,64(6)	5,2(3)
110	70,82(6)	0,64(4)	5,26(3)
128	85,5(6)	0,64(5)	5,22(9)
140	90,73(9)	0,64(8)	5,18(9)

В отличие от других работ по вычислению констант связи метод перевзвешивания позволяет проводить вычисления вблизи критической температуры, обеспечивая большую точность получаемых значений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Вильсон К., Когут Дж.* Ренормализационная группа и ϵ -разложение // УФН. 1985. Т. 146. Вып. 3. С. 459–491.
- [2] *Baker, Jr. G. A. and Kawashima N.* Renormalized Coupling Constant for the Three-Dimensional Ising Model // Phys. Rev. Lett. 1995. V. 75. P. 995–997
- [3] *Pogorelov, A.A., Suslov, I.M.* Estimate of the critical exponents from the field-theoretical renormalization group: mathematical meaning of the “Standard Values” // JETP. 2008. V. 106. P. 1118–1129.
- [4] *Kim J.K., de Souza A.J., Landau D.P.* Numerical Computation of Finite Size Scaling Functions: An Alternative Approach to Finite Size Scaling // Phys.Rev. E. 1996. V. 54. P. 2291–2301.
- [5] *Ballesteros H.G., Fernández L.A.* Finite Size Scaling and “perfect” actions: the three dimensional Ising model // Phys. Lett. B, V. 441. № 1-4. P. 330–338.
- [6] *Wolf U.* Collective Monte Carlo updating for spin systems // Phys. Rev.Lett. 1989. V. 62. P. 361–364.

[7] *Ferrenberg R H and Swendsen R H*, New Monte Carlo technique for studying phase Transitions// *Phys. Rev. Lett.* 1988 . V.61. P. 2635–2638.

Бражник Валерия Владимировна,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского
1 курс магистратуры, физический факультет,
644077, Омск, пр. Мира 55А, (3812) 64-77-87,
brazhnik_valeria@mail.ru

Первопринципные расчёты магнитной анизотропии системы Pt/Co/Cu/Co/Pt в зависимости от толщины прослойки

Д. С. Калинин

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент М. В. Мамонова

Аннотация. В данной работе, в рамках первопринципных расчётов с применением программного комплекса VASP вычислены значения энергии магнитной анизотропии и магнитных моментов системы Pt/Co/Cu/Co/Pt с толщиной прослойки 3 и 5 монослоев.

Ключевые слова: VASP, полная энергия, магнитный момент, магнитная анизотропия, магнитные ультратонкие пленки.

В последнее время изучение свойств тонких магнитных пленок вызывает большой интерес у исследователей. Магнитные тонкие пленки являются основным материалом для создания магнитных записывающих устройств. С недавнего времени тонкопленочные структуры с перпендикулярной магнитной анизотропией (РМА) привлекали большое внимание из-за их использования в перпендикулярной магнитооптической записи [1]. Кроме того, недавно было показано, что перпендикулярная магнитная анизотропия значительно изменяется при использовании ультратонких слоев Pt между монослоем Co/Pt. Если толщина слоя Co меньше критического значения (1 нм), анизотропия поверхности превышает анизотропию формы, и многослойная система становится перпендикулярно намагниченной [2].

В данной работе с использованием программного комплекса VASP [3], метода проекционно-присоединенных волн (PAW) и псевдопотенциалом в приближении GGA PBE [4] были проведены первопринципные расчёты энергии магнитной анизотропии многослойной структуры, состоящей из пластины меди и двух ферромагнитных пленок кобальта и платины,

адсорбированных с двух сторон. Моделирование системы проводилось при помощи периодической суперячейки, состоящей из шести монокатомных слоев платины, шести атомарных слоев кобальта и трех (пяти) слоев меди. Размер к-сетки равен $32 \times 32 \times 1$, энергия обрезания плоской волны $E_{cut} = 500$, толщина вакуумного слоя равна 10 \AA .

Для системы Pt/Co/Cu/Co/Pt рассматривались следующие случаи спиновых конфигураций атомов пленок:

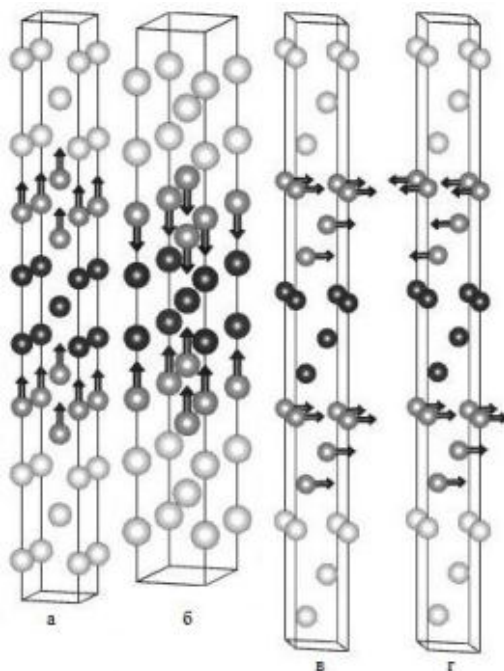


Рисунок 1 – Направления спинов в суперячейке для различных спиновых конфигураций: а) 100 ФМ вдоль оси z; б) 110 АФМ вдоль оси z; в) 111 ФМ вдоль оси x; г) 111 АФМ вдоль оси x.

ферромагнитные (все спины имеют одинаковое направление), антиферромагнитные (спины направление в противоположные

стороны от прослойки). Также были рассмотрены ориентации магнитных моментов, которые направлены параллельно и перпендикулярно поверхности. Были рассмотрены случаи с ориентациями поверхностной грани решетки (100, 110, 111). На рисунке 1 показаны направления магнитных моментов для структуры Pt/Co/Cu/Co/Pt с толщиной каждого металла 3 монослоя в зависимости от ориентаций поверхностной грани для разных спиновых конфигураций. Рассчитанные значения магнитной анизотропии (МАЭ) $E_{MA} = E_{\perp} - E_{\parallel}$ как разности полной энергии с намагниченностью, направленной перпендикулярно и параллельно плоскости поверхности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов магнитной анизотропии для различных спиновых конфигураций и ориентаций поверхностных граней

Грань	Спин конфиг		E_{MA}, meV		$\Delta E, \text{meV}$	
			$N_{Cu}=3$	$N_{Cu}=5$	$N_{Cu}=3$	$N_{Cu}=5$
100	ФМ		1,961	3,312	16,000	2,466
		⊥			17,034	2,110
	АФМ		2,995	3,668		
		⊥				
110	ФМ		-2,205	3,637	-30,755	1,621
		⊥			-28,443	0,903
	АФМ		0,107	2,919		
		⊥				
111	ФМ		-0,034		3,448	
		⊥			3,077	-0,291
	АФМ		-0,405			
		⊥				

По результатам из таблицы 1 видно, что для ориентации поверхностной грани (100) все рассмотренные структуры имеют

положительные значения энергии МАЭ, это означает, что структуры характеризуются анизотропией типа легкая плоскость с намагниченностью, ориентированной в плоскости пленки. Рассчитанные значения среднего магнитного момента атомов кобальта μ , магнитных моментов приповерхностного от прослойки атомов кобальта μ_1 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов магнитных моментов для различных спиновых конфигураций и ориентаций поверхностных граней

Грань	Спин конфиг		$N_{Cu}=3$		$N_{Cu}=5$	
			μ, μ_B	μ_1, μ_B	μ, μ_B	μ_1, μ_B
100	ФМ		1,751	1,836	1,752	1,837
		⊥	1,753	1,835	1,752	1,832
	АФМ		1,752	1,834	1,752	1,832
		⊥	1,751	1,831	1,751	1,830
110	ФМ		1,833	1,884	1,751	1,837
		⊥	1,834	1,892	1,750	1,829
	АФМ		1,835	1,893	1,751	1,831
		⊥	1,835	1,893	1,751	1,831
111	ФМ		1,805	1,858	0,016	0,012
		⊥	1,805	1,856	1,804	1,855
	АФМ		1,805	1,856		
		⊥	1,806	1,857	1,804	1,855

Магнитный момент приповерхностного от прослойки атомов кобальта больше, чем средний магнитный момент атомов кобальта. Значения среднего магнитного момента слабо зависят от спиновых конфигураций отличия около $0,01\mu_B$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-32-70189, Минобрнауки РФ (соглашение 0741-2020-0002)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Gambardella P., Rusponi S., Veronese M., Dhési S. S., Grazioli C., Dallmeyer A., Cabria I., Zeller R., Dederichs P. H., Kern K., Carbone C., Brune H.* Giant Magnetic Anisotropy of Single Cobalt Atoms and Nanoparticles // *Science* 2003. V.300. pp. 1130–1133.
- [2] *Stamps R.L., Breitzkreutz S., Akerman J., Chumak A.V., Otani Y., et al* The 2014 Magnetism Roadmap // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2014. V.47. N.33.
- [3] *Marsman G., Kresse M.* VASP the GUIDE. Wien. 2000. P.208.
- [4] *Perdew J.P., Burke K., Ernzerhof M.* Generalized gradient approximation made simple // *Phys. Rev. Lett.* 1996. Vol.77. P. 3865–3868.

Калинин Дмитрий Сергеевич,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
2-й курс магистратуры, физический факультет,
644077, г. Омск, пр. Мира 55а, (3812) 647787, kalinin9.7@mail.ru

Исследование релаксации мультислойных магнитных структур в зависимости от начального состояния

Д. А. Льготина, П. В. Прудников

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. П. В. Прудников

Аннотация. Осуществлено численное исследование методами Монте-Карло неравновесного поведения магнитных структур, состоящих из чередующихся магнитных и немагнитного слоев наномасштабной толщины. Для этой модели проведен расчет релаксаций намагниченности из начальных состояний.

Ключевые слова: мультислойная структура, немонотонная релаксация намагниченности.

В данной работе проводилось исследование влияния начальных состояний на поведение релаксации намагниченности для мультислойных структур с характеристиками пленки: толщина $N_1 = 4ML$; $N_2 = 2ML$ и линейный размер $L = 32$. Моделирование проводилось для магнитных пленок с ОЦК структурой.

Гамильтониан для моделирования магнитных свойств мультислойной структуры с намагниченностью пленок, ориентированной перпендикулярно плоскости пленок, брался в виде:

$$H = -J_1 \sum_{ij \in N_s} \vec{S}_i \vec{S}_j - J_2 \sum_{\alpha \in N_1, \beta \in N_2} \vec{S}_\alpha \vec{S}_\beta - A \sum_{i \in N_s} (S_i^z)^2 - h_z \sum_{i \in N_s} S_i^z, \quad (1)$$

где S_i - (S_i^x, S_i^y, S_i^z) - трёхмерный спин в i -ом узле всей системы; $N_s = 2 \cdot NL^2$ - полное число спинов в системе; α, β - индексы ферромагнитных пленок N_1 и N_2 соответственно; J_1 и J_2 - константы обменного взаимодействия, между спинами внутри пленки и между пленками соответственно; A - константа, характеризующая одноионную анизотропию, создаваемую подложкой вдоль оси перпендикулярной плоскости монослоя; способствуя ориентации магнитных моментов перпендикулярно

границе раздела фаз, и противодействуя анизотропии формы; h - величина внешнего магнитного поля. Значение обменного интеграла, определяющего взаимодействие между пленками $J_2 = -0.2 J_1$. Отрицательность J_2 отражает тот факт, что в мультислойных структурах с эффектом ГМС толщина немагнитной прослойки подбирается так, чтобы дальнедействующее и осциллирующее межслоевое обменное РККИ взаимодействие между спинами ферромагнитных слоев носило эффективный антиферромагнитный характер [1]. За счет этого взаимодействия намагниченности соседних ферромагнитных слоев ориентируются противоположно друг другу. Таким образом, рассматриваемая структура моделирует искусственно создаваемые мультислойные структуры, характеризующиеся проявлением эффектов гигантского магнетосопротивления. Константа, характеризующая одноионную анизотропию, создаваемую подложкой вдоль оси перпендикулярной плоскости монослоя выбиралась равной $A = 0.0; 1.0; 2.0$. В случае $A > 0$ ось z соответствует оси легкого намагничивания [2].

Используя метод поведения проекции намагниченности m_z при изменении внешнего магнитного поля h , были получены значения критической температуры T_c при разных значениях константы анизотропии A , которые представлены ниже.

	$A = 0.0$	$A = 1.0$	$A = 2.0$
$T_c, J_1/k_b$	1.33	1.63	1.83
$T_c/2, J_1/k_b$	0.665	0.815	0.915

Из данных значений критических температур T_c мультислойных несимметричных магнитных структур видно, что с увеличением значения константы анизотропии A , увеличивается критическая температура.

В работе [3] представлено увеличенное изображение наиболее значимых кривых для различных значений поля.

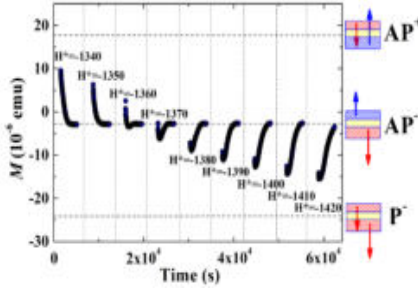


Рисунок 1 – Кривые релаксации при $T = 100$ К под воздействием нескольких магнитных полей. Поля от -1340 до -1420 эрстед.

В работе проводился расчет намагниченности пленок по оси Z :

$$\vec{m}_n^z(t) = \left\langle \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} \vec{S}_i^z(t) \right\rangle, \quad (2)$$

где n - номер пленки; $\langle \dots \rangle$ обозначают статистическое усреднение по реализации начального состояния.

Полная намагниченность ферромагнитной пленки задается формулой:

$$\vec{m}_n = \left\langle \frac{1}{N_s} \left[\left(\sum_{i=1}^{N_s} \vec{S}_i^x \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{N_s} \vec{S}_i^y \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{N_s} \vec{S}_i^z \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\rangle. \quad (3)$$

Представлен набор немонотонных релаксаций m_{total} при $A = 2.0$ и разных h для высокотемпературного и низкотемпературного начального состояния. Начальное состояние системы: а) спины $\uparrow\uparrow$; б) спины $\uparrow\downarrow$.

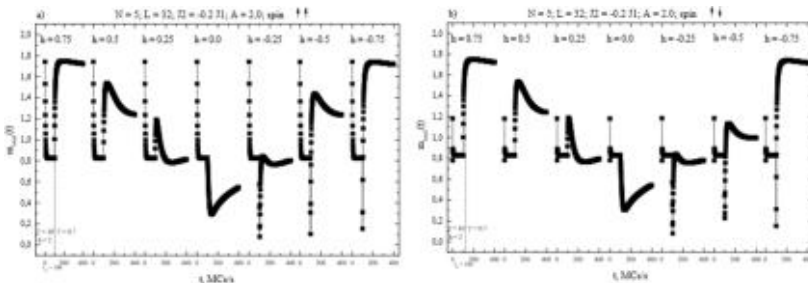


Рисунок 2 – Релаксации из высокотемпературного состояния.

Релаксационное поведение намагниченности имеет похожий вид при разных начальных состояниях спинов. Отличие: значение намагниченности при $t = 0$ MC/s. Поведение системы не существенно зависит от начального температурного состояния.

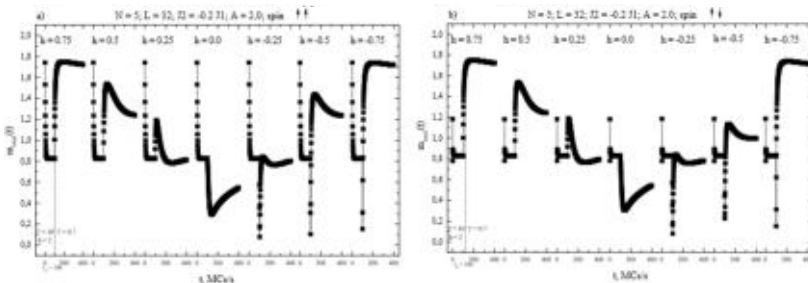


Рисунок 3 – Релаксации из низкотемпературного состояния.

Поведение существенно зависит от начального температурного состояния. При начальном состоянии системы спины $\uparrow\downarrow$ поведение релаксации намагниченности не зависит от направления поля. Полученные результаты качественно напоминают экспериментальные данные.

Было проведено исследование релаксации мультислойных магнитных структур, описываемых анизотропной моделью Гейзенберга в зависимости от начального состояния. Определена критическая температура мультислойной структуры. При

увеличении константы анизотропии увеличивается критическая температура. Релаксация намагниченности может быть монотонной, немонотонной и осциллирующей. Для высокотемпературного начального состояния в поведении немонотонных релаксаций не наблюдается сильное влияние от начального положения. Для низкотемпературного начального состояния влияния начальных состояний существенно. В случае начального состояния системы: спины $\uparrow\downarrow$, поведение релаксации намагниченности не зависит от направления поля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-32-70189, Минобрнауки РФ (соглашение 0741-2020-0002)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Прудников П.В., Прудников В.В., Романовский Д.Е., Моделирование методами Монте-Карло мультислойных магнитных структур и расчет коэффициента магнитосопротивления // Письма в ЖЭТФ. 2015. Т. 102. В. 10. С. 759–765.
- [2] Вонсовский С.В. Магнетизм // Москва. 1971.
- [3] Fache T., Tarazona H. S., Liu J., L'vova G., Applegate M. J., Rojas-Sanchez J. C., Petit-Watelot S., Landauro C. V., Quispe-Marcato J., Morgunov R., Barnes C. H. W. and Mangin S. Nonmonotonic aftereffect measurements in perpendicular synthetic ferrimagnets // Phys. Rev. B. 2018. Vol. 98. 064410.

Льготина Дарья Александровна,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
2 курс магистратуры, физический факультет,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)644238, dlgotina@mail.ru

Расчет динамической восприимчивости и ФДО для изотропной и анизотропной трехмерной модели Гейзенберга. Исследование влияния дефектов структуры

А. С. Лях, В. В. Прудников

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. В. В. Прудников

Аннотация. С применением алгоритма глауберовской динамики осуществлено моделирование неравновесного критического поведения трехмерной изотропной модели Гейзенберга и анизотропной модели Гейзенберга с анизотропией типа «легкая ось». Для этих моделей проведен расчет динамической восприимчивости и флуктуационно-диссипативного отношения при эволюции системы из высокотемпературного начального состояния.

Ключевые слова: неравновесное критическое поведение, алгоритм глауберовской динамики, трехмерная модель Гейзенберга, дефекты структуры, динамическая восприимчивость, флуктуационно-диссипативное отношение.

При медленной эволюции систем из неравновесного начального состояния предсказываются и наблюдаются свойства старения, характеризующиеся нарушениями флуктуационно-диссипативной теоремы (ФДТ) [1, 2], которая связывает функцию отклика системы на внешнее возмущение $R(t, t_w)$ и корреляционную функцию $C(t, t_w)$:

$$R(t, t_w) = \frac{X(t, t_w)}{kT} \frac{\partial C(t, t_w)}{\partial t_w}, \quad (1)$$

где $X(t, t_w)$ - флуктуационно-диссипативное отношение (ФДО). ФДТ утверждает, что в равновесном состоянии $X(t > t_w \gg t_{rel}) = 1$.

Предельное значение флуктуационно-диссипативного отношения

$$X^\infty = \lim_{t_w \rightarrow \infty} \lim_{t \rightarrow \infty} X(t, t_w), \quad (2)$$

может быть использовано в качестве новой универсальной характеристики для неравновесного критического поведения различных систем.

Гамильтониан ферромагнитной модели Гейзенберга задается выражением

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} [(1-\Delta)(S_i^x S_j^x + S_i^y S_j^y) + S_i^z S_j^z], \quad (3)$$

где $J > 0$ характеризует короткодействующее обменное взаимодействие между спинами \vec{S}_i , зафиксированными в узлах простой кубической решетки, Δ - параметр анизотропии. Спин $\vec{S}_i = (S_i^x, S_i^y, S_i^z)$ задается как классический единичный вектор. Моделировалась система с размерами $L \times L \times L$ и наложенными периодическими условиями. Для данного исследования параметр анизотропии принимал значение $\Delta = 0.63$ [3] для анизотропной модели и $\Delta = 0$ для изотропной модели.

Для получения аналитических выражений для обобщённой восприимчивости модели Гейзенберга была применена методика, реализованная в работе [4] для модели Изинга и позволяющая при моделировании динамики системы с помощью алгоритма глауберовской динамики получить функцию отклика без введения магнитного поля.

Выражения для обобщённой восприимчивости трёхмерной модели Гейзенберга могут быть представлены в виде:

$$\chi(t, t_w) = \frac{\beta}{N} \sum_{i=1}^N \langle \vec{S}_i(t) \cdot \Delta \vec{S}_i(t_w) \rangle, \quad (4)$$

$$\Delta \vec{S}_i(t_w) = \sum_{s=0}^{t_w} \vec{\Sigma}(s), \quad \vec{\Sigma}(t) = \vec{S}_i^{\parallel}(t) \left[1 - th \left(\frac{\beta}{2} \Delta H_i(t) \right) \right].$$

Было проведено компьютерное моделирование неравновесного критического поведения систем с линейным размером $L = 100$. Вычислялась двухвременная зависимость автокорреляционной функции:

$$C(t, t_w) = \left\langle \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_t} \vec{S}_i(t) \vec{S}_i(t_w) \right\rangle - \vec{M}(t) \vec{M}(t_w), \quad (5)$$

где угловые скобки обозначают статистическое усреднение по реализациям начального состояния. В анизотропной модели Гейзенберга при расчете автокорреляционной функции учитывались только z-составляющие спинов [5].

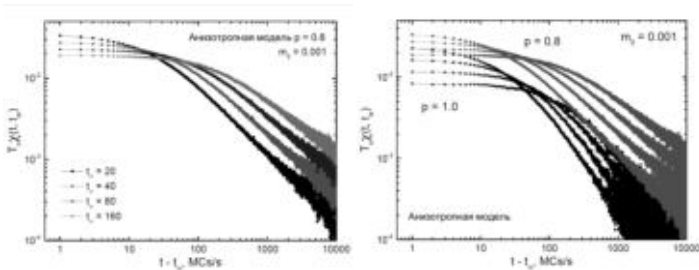


Рисунок 1 – Зависимость динамической восприимчивости $\chi(t, t_w)$ от времени наблюдения $t - t_w$ для различных времен ожидания t_w для анизотропной модели Гейзенберга.

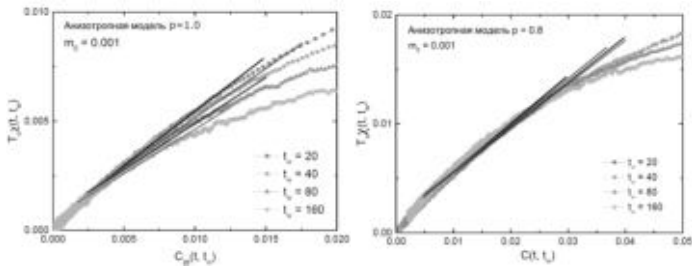


Рисунок 2 – Параметрическая зависимость динамической восприимчивости от автокорреляционной функции для анизотропной модели Гейзенберга. На графике показаны участки, на которых определялись $\chi(t_w)$ при $C \rightarrow 0$.

С применением соотношений (4) вычислялась динамическая восприимчивость $\chi(t, t_w)$ системы. Графики на рис. 1 наглядно демонстрируют проявление эффектов старения в зависимости $\chi(t, t_w)$ от “возраста” системы t_w (с увеличением времени ожидания динамическая восприимчивость спадает медленнее), а также влияние дефектов структуры.

Для расчета флуктуационно-диссипативного отношения была построена параметрическая зависимость $T_c\chi(t, t_w)$ от автокорреляционной функции $C(t, t_w)$ (рис. 2). В долговременном режиме $(t-t_w) \rightarrow \infty$ восприимчивость может быть записана в виде

$$T_c\chi(t, t_w) = \int_0^c X(q) dq. \quad (6)$$

Графики параметрической зависимости динамической восприимчивости от автокорреляционной функции на рис. 2 позволяют в соответствии с соотношением

$$X(t_w) = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{T_c \partial \chi(t, t_w)}{\partial C(t, t_w)}. \quad (7)$$

по асимптотической кривизне представленных кривых определить значения ФДО $X(t_w)$ для каждого из времен ожидания t_w . Применяя к полученным значениям ФДО $X(t_w)$ процедуру линейной аппроксимации, а затем экстраполяции $X(t_w \rightarrow \infty)$ было определено предельное значение ФДО $X^\infty = 0.383(6)$ для изотропной модели с $p = 1.0$, $X^\infty = 0.388(6)$ для анизотропной модели с $p = 1.0$ и $X^\infty = 0.402(5)$ для анизотропной модели с $p = 0.8$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-32-70189, Минобрнауки РФ (соглашение 0741-2020-0002)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Berthier L., Holdsworth P.C.W., Sellitto M.* Non-equilibrium critical dynamics of the two-dimensional XY model // *J. Phys. A.* 2001. Vol. 34. P. 1805–1824.
- [2] *Calabrese P., Gambassi A.* Aging and fluctuation-dissipation ratio for the dilute Ising model // *Phys. Rev. B.* 2002. Vol. 66. 212407.
- [3] *Прудников П.В., Прудников В.В., Медведева М.А.* Размерные эффекты в ультратонких магнитных пленках // *Письма в ЖЭТФ.* 2014. Т. 100. Вып. 7. С. 501–505.
- [4] *Прудников В.В., Прудников П.В., Поспелов Е.А.* Расчет флуктуационно-диссипативного отношения для неравновесного критического поведения неупорядоченных систем // *Письма в ЖЭТФ.* 2013. Т. 98. С. 693–699.
- [5] *Прудников В.В., Прудников П.В., Лях А.С.* Неравновесное критическое поведение трехмерной анизотропной модели Гейзенберга // *Вест. Ом ун-та.* 2019. Т. 24, № 3. С. 39–48.

Лях Анастасия Сергеевна,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
2 курс магистратуры, физический факультет,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)644238,
lyakhnastya@gmail.com

Исследование адсорбции фурфуrolа и фурфурилового спирта на поверхности Pd (111)

М. Ю. Макеев

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент М. В. Мамонова

Аннотация. В рамках первопринципных расчетов были выполнены DFT расчеты с использованием программного комплекса VASP. Рассчитаны значения полной энергии, а так же энергии адсорбции фурфуrolа и фурфурилового спирта на подложке Pd(111).

Ключевые слова: VASP, полная энергия, энергия адсорбции.

С ростом интереса к возобновляемым видам топлива, топливным добавкам и химическим веществам, в последнее время, значительное внимание было обращено на молекулы строительных блоков из биомассы, такие как фуран, а также его продукты гидрирования [1].

Палладий успешно применялся при низкотемпературном селективном гидрировании в водной фазе фурфуrolа до метилфурана [2]. Однако при более высоких температурах фурфуrol подвергается декарбоксилации с образованием фурана и CO [3]. Поскольку фурфуrol может подвергаться гидрированию или декарбоксилации на Pd. Селективность важна, и детали механизма, полученные при изучении этих реакций, могут быть полезны при разработке более дешевых и более активных катализаторов.

Фурфуrol является многофункциональной молекулой и потенциально может связываться с каталитической поверхностью через свое ароматическое фурановое кольцо, или через карбонильную функциональную группу. В результате фурфуrol может подвергаться декарбоксилации на катализаторе Pd с сильным связыванием, на котором ожидается «плоская» адсорбция через фурановое кольцо. [3, 4]

Геометрия адсорбции фурана и фурфуrolа теоретически исследована с использованием приближения обобщенного градиента (GGA) в рамках теории функционала плотности (DFT) [4]. Традиционные функционалы GGA иногда не могут описать

взаимодействие между ароматическими молекулами и металлами, а также их геометрию адсорбции. Переходные металлы группы 11 особенно подвержены этим проблемам [5]. Эта неточность возникает из-за неспособности функционалов GGA учесть Ван-Дер-Ваальсовы (vdW) взаимодействия [6], поскольку учитываются только электростатические силы. Из-за этого недостатка стандартных методов DFT, мы ожидаем некоторой неточности в предсказаниях конструкции катализатора из первых принципов. Наибольшие неточности возникают в слабосвязанных системах (менее ~1 эВ), в которых ожидается сочетание электростатических сил и сил Ван-Дер-Ваальса [7].

В данной работе мы используем методы DFT, для расчета энергии превращения фурфурола в фуран и фурфуриловый спирт на Pd (111). С использованием пакета моделирования Vienna Ab Initio Simulation Package (VASP) [8]. Энергия электрон-электронного обмена и корреляции были рассчитаны с использованием функционала Пердью, Берка и Эйзенхоф (PBE). Для электрон-ионных взаимодействий использовался метод проекционно-присоединенных волн (PAW) с псевдопотенциалом в приближении GGA PBE. Использовался плоско-волновой базис с ограничением по энергии 500 эВ. Интегрирование проводилось в зоне Бриллюэна с использованием k-сетки, построенной по методу Монкхорста-Пака размером $8 \times 8 \times 1$. Постоянная ГЦК-решетки Pd была взята из экспериментальных значений и составила 3,89 Å.

Металлическая пластина была смоделирована с помощью элементарной ячейки 3×3 , состоящей из четырех атомных слоев. Была использована полная релаксация системы. Ширина вакуумного слоя была установлена на уровне 5 Å.



Рисунок 1 – Молекула фурфурола (лев.) и фурфурилового спирта (прав.).

Молекулы, расположенные в плоскости подложки, были адсорбированы на Pd (111).

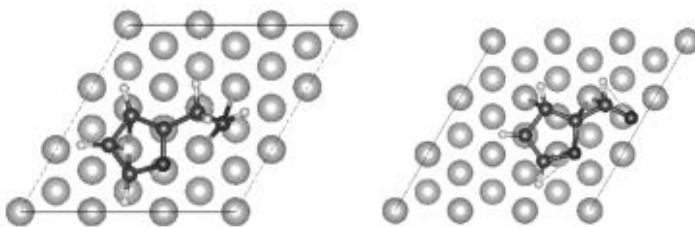


Рисунок 2 – Адсорбция молекулы фурфура (лев.) и фурфурилового спирта (прав.) на подложке из Pd (111).

Были рассчитаны значения полных энергий: фурфура на палладии E_{furPd} , фурфурилового спирта на палладии E_{furAlcPd} , а также палладия E_{Pd} , фурфура E_{furAlc} , и фурфурилового спирта E_{fur} отдельно. После этого, были получены значения энергий адсорбции молекул фурфура ($\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$) и фурфурилового спирта ($\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$) на подложку из Pd (111). Энергия адсорбции была рассчитана по формуле:

$$\Delta E_{\text{ads}} = E_{\text{slab,ads}} - E_{\text{slab}} - E_{\text{gas}}$$

Где $E_{\text{slab,ads}}$ – полная электронная энергия системы металлическая пластина – адсорбат; E_{slab} – полная электронная энергия чистой плиты; E_{gas} – полная электронная энергия адсорбата в газовой фазе.

Таблица 1 – Рассчитанные значения полной энергии и энергии адсорбции

PBE (3 × 3-unit cell)	E_{furPd} , eV	-250.5796
	E_{furAlcPd} , eV	-258.1143
	E_{Pd} , eV	-178.0659
	E_{furAlc} , eV	-79.4001
	E_{fur} , eV	-70.7496
$E_{\text{ads}}^{\text{ads}}(\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2)$, eV		-1.76404
$E_{\text{ads}}^{\text{ads}}(\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2)$, eV		-0.64831

В данной работе были выполнены расчеты теории функционала плотности (DFT) с использованием функционала PBE. Получены значения полных энергий, а также рассчитаны значения энергии адсорбции молекулы фурфурола и фурфурилового спирта на подложку из Pd (111). Отрицательные значения энергии адсорбции свидетельствуют о способности молекулы адсорбироваться на поверхность.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Werpy T., Petersen G.* Top Value Added Chemicals from Biomass: Volume I – Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas; National Renewable Energy Laboratory (NREL): 2004. P. 1–27.
- [2] *Lange J.-P., van der Heide E., van Buijtenen J., Price R.* ChemSusChem. 2012. P. 150–166.
- [3] *Sitthisa S., Resasco D.* Catal. Lett. 2011. P. 784–791.
- [4] *Sitthisa S., Pham T., Prasomsri T., Sooknoi T., Mallinson R. G., Resasco D. E. J.* Catal. 2011. P. 17–27.
- [5] *Rohlfing M., Bredow T.* Phys. Rev. Lett. 2008. P. 26.
- [6] *Mpourmpakis G., Froudakis G. E. J.* Nanosci. Nanotechnol. 2008. P. 3091–3096.
- [7] *Kelkkanen A., Lundqvist B. I., Norskov J. K.* Phys. Rev. B. 2011. P. 113–401.
- [8] *Kresse G., Furthmüller J.* Comput. Mater. Sci. 1996. P. 15.

Макеев Михаил Юрьевич,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
Физический факультет, 1-й курс магистратуры.
644077, г. Омск, пр. Мира 55а, (3812) 647787,
mihailmaki603@gmail.com

Первопринципные расчеты энергетических и магнитных свойств системы Ni на W

И. Е. Шевченко

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент М. В. Мамонова

Аннотация. В данной работе, с помощью программного комплекса VASP применяемого для выполнения первопринципных расчетов, было исследовано влияние различных толщин магнитной пленки Ni на энергетические и магнитные свойства системы Ni на W. Свойства данной системы исследовались при ориентации поверхностной грани (110) и при различных положениях адатома для неколлинеарного случая магнитной анизотропии типа легкая плоскость.

Ключевые слова: VASP, полная энергия, намагниченность, ультратонкие магнитные пленки, неколлинеарная магнитная анизотропия типа легкая плоскость.

Физика ультратонких магнитных пленок является направлением интенсивных научных исследований [1]. Значительные достижения в технологии получения различных материалов и покрытий позволяют в настоящее время получать высокого качества ультратонкие пленки и мультислойные покрытия на основе магнитных переходных металлов, таких как Ni, Co, Fe и их сплавов [2]. Исследование природы магнетизма в таких структурах имеет большой фундаментальный интерес из-за возникающей в них размерной зависимости для магнитных характеристик. Поведение мультислойной системы будет зависеть от кристаллической решетки ее компонентов ГЦК - Ni и ОЦК - W.

В настоящее время для описания структурных, энергетических и магнитных свойств монослойных и многослойных поверхностных систем достаточно широко используется подход, основанный на применении метода функционала спиновой плотности (МФСП), лежащего в основе первопринципных расчетов электронной и кристаллической структур магнитных материалов [3]. Основная идея МФСП состоит в том, что при описании электронной подсистемы, многоэлектронная волновая функция, зависящая от большого

числа переменных в конфигурационном пространстве, заменяется электронной плотностью, определяемой в обычном трехмерном пространстве.

Все расчеты проводились в зависимости от таких положений адатома, как положение адсорбированного атома сверху над пластиной (ontop), в междуузлье (hollow), положения вдоль длинной (longbridge) и короткой (shortbridge) прямой соединяющей два атома подложки для 1, 2, 3, 4 и 5 монослоев из атомов Ni симметрично расположенных относительно пяти атомов W по одному в каждом слое. Целью данной работы является численное исследование магнитных и энергетических свойств системы Ni на W в зависимости от выбранных конфигураций (ориентации поверхностной грани и положения адатома).

В таблице представлены результаты расчета значений полной энергии для однослойной $E^{(1)}$ эВ, двухслойной $E^{(2)}$ эВ, трехслойной $E^{(3)}$ эВ, четырехслойной $E^{(4)}$ эВ и пятислойной $E^{(5)}$ эВ структур системы Ni на W для неколлинеарного случая магнитной анизотропии типа легкая ось полученные при различных конфигурациях системы Ni на W.

Таблица 1 – Результаты расчетов значений полной энергии для однослойной, двухслойной, трехслойной, четырехслойной и пятислойной структур системы Ni на W, полученные при различных конфигурациях

Грань	Initial position	$E^{(1)}$, эВ	$E^{(2)}$, эВ	$E^{(3)}$, эВ	$E^{(4)}$, эВ	$E^{(5)}$, эВ
W_{110}	hollow	-75,16	-85,28	-95,59	-105,99	-116,50
	ontop	-73,57	-85,30	-94,19	-106,06	-116,38
	longbridge	-75,16	-85,28	-95,69	-105,96	-116,29
	shortbridge	-74,48	-85,28	-95,64	-106,05	-116,42

На рисунке представлены результаты расчета значений магнитных моментов отдельных атомов $\mu^{(1)}$ μ_B , $\mu^{(2)}$ μ_B , $\mu^{(3)}$ μ_B , $\mu^{(4)}$ μ_B , $\mu^{(5)}$ μ_B для однослойной, двухслойной, трехслойной, четырехслойной и пятислойной структур системы Ni на W полученные при различных конфигурациях системы Ni на W.

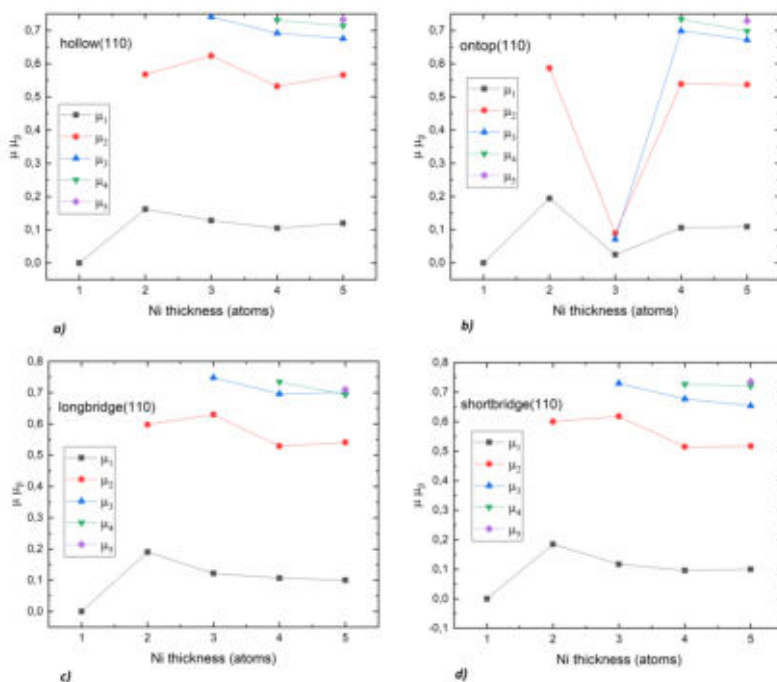


Рисунок 1 – Графики зависимости значений магнитных моментов отдельных атомов от толщины пленки Ni системы Ni на W, полученные при ориентации поверхностной грани (110) и положениях адатома а) hollow, б) ontop, в) longbridge, г) shortbridge.

По результатам расчетов, приведенным в таблице и на рисунке, можно сделать следующие выводы. Численные исследования намагниченности показали, что она возникает уже в случае двухслойной пленки Ni для неколлинеарного случая магнитной анизотропии типа легкая плоскость.

Исследования полной энергии однослойной, двухслойной, трехслойной, четырехслойной и пятислойной структур системы Ni на W показали, что энергетически наиболее выгодна для данной системы пятислойная. Результаты расчетов полной энергии показали, что наиболее энергетически выгодным

для данной системы будет положение с адатомом в междоузлье hollow в случае пятислойной пленки и с значением полной энергии $E^{(5)} = -116,50$ эВ.

Результаты исследования намагниченности показали, что ее значение растет с увеличением толщины пленки, состоящей из атомов Ni. Также расчеты показали, что чем ближе атомы магнитного материала Ni располагаются относительно подложки из атомов W, тем меньшего значения достигает их магнитный момент.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-32-70189, Минобрнауки РФ (соглашение 0741-2020-0002)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Vaz C.A.F., Bland J.A.C., Lauhoff G.* Magnetism in ultrathin film structures // Rep. Prog. Phys. 2008. V. 71. P. 056501–056578.
- [2] *Bihlmayer G. et al.* Ultra-Thin Magnetic Films and Magnetic Nanostructures on Surface // NIC Symposium 2006 / ed. by G. Munster, D. Wolf, W. Kremer. Julich von Neumann Institute for Computing, 2006. NIC Series. V. 32. P. 151–158.
- [3] *Прудников В.В., Прудников П.В., Мамонова М.В.* Теоретические методы расчета структурных, энергетических и магнитных характеристик систем с межфазным взаимодействием. Омск. 2017. 190 с.

Шевченко Иван Евгеньевич,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
1-й курс магистратуры, физический факультет,
644077, г. Омск, пр. Мира 55а, (3812) 647787,
79081194923@mail.ru

Применение QAM-модуляции в оптических системах связи

Я. О. Демочко

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Т. К. Бolečкая

Аннотация. Гибкое переключение формата модуляции в волоконно-оптических системах связи обеспечивает переключение скорости передачи. Для реализации этого необходима идентификация формата модуляции. Одним из методов идентификации является расчет отношения значений постоянного составляющей тока в приемнике, измеренных с вращением и без вращения фазы принятого сигнала. В работе вычислены указанные отношения для QPSK, 16-QAM и 64-QAM сигналов.

Ключевые слова: волоконно-оптические системы связи, QAM-модуляция, идентификация форматов модуляции.

Ожидается, что с ростом глобального интернет-трафика, волоконно-оптические системы связи будут эволюционировать от фиксированной архитектуры к адаптивной архитектуре [1-3]. Для реализации этого необходима идентификация формата модуляции. Одним из методов идентификации является расчет отношения значений постоянного составляющей тока в приемнике, измеренных с вращением и без вращения фазы принятого сигнала [4].

Символу, соответствующему некоторой точке созвездия соответствует сигнал, который может быть записан в следующем виде:

$$S_n = m_n e^{j\theta_n}, \quad 1 \leq n \leq N \quad (1)$$

$m_n = A_n e^{ja_n}$ - комплексно модулированный сигнал, A_n - модулированная амплитуда, a_n - модулированная фаза, θ_n - фазовый шум, вызванный шириной линии несущей и лазером приемника, N – число точек созвездия.

Преобразование Фурье сигнала имеет вид

$$M_k = \sum_{n=0}^{N-1} m_n e^{-j2\pi kn/N}, \quad 0 \leq k \leq N-1, \quad (2)$$

j – мнимая единица.

При $k = 0$ получаем M_0 – постоянную составляющую сигнала:

$$M_0 = \sum_{n=0}^{N-1} m_n = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{ja_n}. \quad (3)$$

Для симметричных созвездий M_0 , близко к нулю. Но величина r_1 , определяемая по формуле (4) не равна нулю. При вычислении r_1 фазы сигналов увеличиваются в 4 раза.

$$r_1 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j4a_n} \quad (4)$$

Величина r_2 вычисляется по модифицированной формуле

$$r_2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j4(a_n + \varphi f_n)}, \quad (5)$$

Для некоторых точек фаза перед увеличением в 4 раза складывается с фиксированной величиной φ . Для этих точек $f_n = 1$, для остальных точек $f_n = 0$.

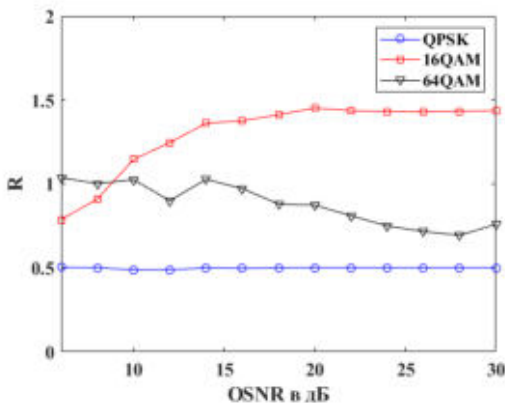


Рисунок 1 – Зависимости R от оптического отношения сигнал/шум для трех форматов модуляции.

Величина R , равная отношению модулей r_1 и r_2

$$R = |r_2| / |r_1| \quad (6)$$

позволяет судить о формате модуляции.

Расчеты выполнялись для QPSK, 16-QAM и 64-QAM сигналов.

На рис. 11 приведены графики зависимостей R от оптического отношения сигнал/шум при $\varphi = \pi / 4$ и $1/4$ доле точек, фазы которых изменяются на φ для трех форматов модуляции. Из рис. 11 видно, что при отношении сигнал/шум от 5 до 30 дБ QPSK формат модуляции по величине R можно отличить от 16QAM и 64QAM форматов. Если отношение сигнал/шум больше 8 дБ, то по величине R можно отличить форматы модуляции 16QAM и 64QAM друг от друга.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Бейли Д., Райт Э.* Волоконная оптика. Теория и практика // 2006. 320 с.
- [2] *Фриман Р.* Волоконно-оптические системы связи // 2003. 500с.
- [3] *Keang-Po Ho.* Phase-Modulated optical communication systems // New York. 2005. 439 p.
- [4] *Qingzhao Tan, Aiyang Yang, and Peng Guo.* Blind Modulation Format Identification Using the DC Component // IEEE Photonics Journal. 2019. V. 11. №2. DOI: 10.1109/JPHOT.2019.2908658.

Демочко Ярослав Олегович,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
2 курс магистратуры, физический факультет,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)644238,
yarilo1998@mail.ru

Исследование зависимости пьезоэффекта в пленках AlN от технологических параметров магнетронного напыления

А. Н. Байдаков

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор В. И. Струнин

Аннотация. Методом силовой микроскопии пьезоотклика были исследованы пьезоэлектрические свойства пленок AlN, полученных методом магнетронного напыления. Исследовались образцы AlN, полученные при разных мощностях напыления и температурах подложки. Было обнаружено, что пьезокоэффициент d_{33} зависит от мощности установки, а также материала и температуры используемой подложки.

Ключевые слова: силовая микроскопия пьезоотклика (СМП), нитрид алюминия, пьезоэффект.

Введение. Одними из важнейших компонентов электроники являются резонаторы на акустических волнах различных типов [3]. В этой работе будут рассматриваться пленки нитрида алюминия AlN, на основе которых планируется построение резонаторов на ПАВ с брэгговским отражателем. Нитрид алюминия является одним из наиболее перспективных материалов для создания микроэлектронных устройств [2].

Целью данной работы является получение пленок нитрида алюминия с большим пьезокоэффициентом d_{33} и малой шероховатостью для применения в резонаторах на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с брэгговским отражателем. Актуальность данной работы состоит в том, что коэффициент электромеханической связи (КЭС) напрямую зависит от d_{33} , а КЭС, в свою очередь, определяет насколько эффективно происходит преобразование и накопление энергии в резонаторе.

Методы получения.

Образцы были получены методом магнетронного напыления. Использовалась установка нанесения многокомпонентных покрытий STEMS116-01.В установке применялись магнетроны 6"МАКСPUTTERSOURCE фирмы MeiVac. Для создания вакуума использовался турбомолекулярный насос STPA1303С. В качестве шибера использовался плоский затворный клапан ДУ200.

Для того, чтобы получить значение пьезокоэффициента d_{33} , использовался СМП. В нескольких точках на пленке вычислялись значения добротности Q и характеристики зонда $k(\text{нм/В})$. Значение k в точке умножалось на значение напряжения приложенного поля на резонансной частоте A_B . Управляющее напряжение V_{ac} для всех пленок составляло 30 В. Пьезокоэффициент в точке вычислялся по формуле:

$$d_{33} = \frac{k \cdot A_B}{V_{ac} \cdot Q};$$

Затем полученные данные усреднялись.

Результаты и обсуждение. Полученные данные представлены в таблице 1. Как видно из таблицы, пленка №9, которую напыляли при той же температуре подложки, но меньшей мощности, обладает меньшим пьезокоэффициентом, нежели пленка №12. Время напыления пленок примерно одинаково, поэтому можно сделать вывод, что значение пьезокоэффициента связано с толщиной полученной пленки. Этот результат также установлен в работе [1].

Таблица 1 – Условия получения и значения d_{33} пленок AlN

Пленка	Условия получения			d_{33} , пм/В
	P, Па	W, Вт	$T_{\text{подл.}}$, °C	
№9, Si	0,07	400	350	0,843
№12, Si		700	350	1,270
№12, Sitall		700	350	0,991
№ 199, Si		900	60	0,837
№ 200, Si		900	100	0,839
№ 201, Si		900	150	0,816
№ 202, Si		900	200	0,917

Пленка №12 напылялась при одинаковых условиях на двух разных подложках: кремний и ситалл. Как видно из таблицы 1, полученная пленка на ситалле обладает меньшим пьезокоэффициентом, чем пленка на кремнии. В нашем случае среднеквадратичная шероховатость R_q у ситалловой подложки ($R_q = 2,35$ нм) оказалась меньше, чем у кремниевой ($R_q = 4,78$ нм). Из чего можно сделать вывод, что пьезокоэффициент d_{33} получаемой пленки зависит от шероховатости используемой подложки.

Для пленок №199-202 напыление приводилось при различных температурах подложек. Из результатов видно, что с увеличением температуры подложки увеличивается и d_{33} . Образец №201 немного выбивается из общей картины, что может быть связано с погрешностями измерений. В работе [5] было установлено, что на промежутке 100 - 300 °C с увеличением температуры подложки уменьшается размер кристаллитов и увеличивается угол их разориентации. В связи этим делается

предположение о связи значения пьезокоэффициента с размерами и разориентацией кристаллитов.

Заключение. Расчёты пьезокоэффициента для пленок нитрида алюминия показали, что он зависит от условий напыления пленки и подложки, на которую напылили пленку. Так, при одинаковых температурах подложек, пленка, полученная при меньшей мощности, обладает меньшим пьезокоэффициентом. Пленка на ситалловой подложке обладает меньшим пьезокоэффициентом, чем пленка на кремниевой подложке. Также эксперимент показал, что с увеличением температуры подложки увеличивается и пьезокоэффициент получаемой пленки.

В дальнейшем планируется найти физическое объяснение наблюдаемым зависимостям в пленках нитрида алюминия, получение данных о шероховатостях пленок. Также планируется получить эмпирические данные о связи между условиями получения пленок (мощность, температура и материал подложки, давление, концентрация газов) и характеристиками получаемой пленки (шероховатость, пьезокоэффициент d_{33} , КЭС).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Ababneh, A. & Schmid, Ulrich & Hernando, J. & Sanchez-Rojas, J.L. & Seidel, Helmut.* The influence of sputter deposition parameters on piezoelectric and mechanical properties of AlN thin films // *Materials Science and Engineering*. 2010. В. 172. С. 253–258.
- [2] *Fei, C., Liu, X., Zhu, B., Li, D., Yang, X., Yang, Y., & Zhou, Q.* AlN piezoelectric thin films for energy harvesting and acoustic devices // *Nano Energy*. 2018. V. 51. P. 146–161.
- [3] *Сорокин Б.И. [и др.]* Разработка и исследование композитных акустических резонаторов со структурой “Al/(Al,Sc)N/Mo/АЛМАЗ” с высокой добротностью на СВЧ // *Акустический журнал*. 2019. Том 65. №3. С. 325–331.
- [4] *Фещенко В.С. [и др.]* Особенности получения пьезоэлектрических тонких пленок методом плазменного напыления из

порошкообразного AlN // Российский технологический журнал. 2020. 8(1). С. 67–79.

[5] Сушенцов Н.И., Мороз А.В., Степанов С.А. Влияние условий формирования на строение пленок AlN, полученных магнетронным распылением // Приволжский научный вестник. 2014. №10 (38).

[6] Девизкий О.В., Никулин Д.А., Сысоев И.А. Импульсное лазерное напыление тонких пленок нитрида алюминия на сапфировые подложки // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 2. С. 177–184.

[7] Марков Ю.М., Латухин Е.И. СВЧ нитрида алюминия с использованием активирующих добавок // Современные материалы, техника и технологии. 2019. №5 (26). С. 103–110.

Байдаков Алексей Николаевич,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
1 курс магистратуры, физический факультет,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, +7-908-118-53-92,
fbaetc@yandex.ru

Экспериментальная проверка возможности изменения емкостного соотношения STW-резонаторов

Н. М. Жилин

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. С. В. Кривальцевич

Аннотация. В работе представлены расчетные и экспериментальные результаты изменения емкостного соотношения C_0/C_D резонатора на поверхностных поперечных волнах (STW). Произведен анализ возможности изменения C_0/C_D методом разделения встречно-штыревого преобразователя (ВШП) на участки и параллельного их соединения.

Ключевые слова: поверхностные акустические волны (ПАВ), емкостное соотношение, деление встречно-штыревого преобразователя (ВШП).

Резонаторы на поверхностных акустических волнах и на поверхностных поперечных волнах (surface transverse waves—STW), так же как кварцевые резонаторы на объемных акустических волнах (ОАВ), широко используются в качестве элементов управления и стабилизации частоты генераторов, управляемых напряжением (ГУН). Для этих генераторов важным параметром является емкостное соотношение параметров эквивалентной схемы резонатора C_0/C_D . Чем меньше C_0/C_D , тем больший диапазон перестройки (или подстройки) центральной частоты f_0 обеспечивается в схеме генератора, тем легче реализовать генератор с заданным номиналом f_0 .

Эквивалентная схема одноходового STW-резонатора подобна эквивалентной схеме обычного ПАВ-резонатора и представляет собой двухполюсник с динамической индуктивностью L_D , динамической емкостью C_D , статической емкостью C_0 , и сопротивлением R_D , характеризующим внутренние потери в резонаторе [1]. Статическая емкость C_0 измеряется на низкой частоте с учетом емкости SMD-корпуса. Для оценки эквивалентных параметров STW-резонатора используются формулы из метода эквивалентных схем для одноходовых ПАВ-резонаторов [2,3]:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}, R_D = \frac{1}{G_M}, L_D = \frac{QR_D}{2\pi f_0}, C_D = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L_D} \quad (1)$$

где G_M – максимальное значение действительной части проводимости на частоте f_0 ; Δf – полоса частот по уровню $G_M/2$.
 Схема, изображенная на рис.1, имеет 2 резонанса: последовательный и параллельный [4,5]. Частота последовательного и параллельного резонансов f_r и f_a определяются по формулам (2).

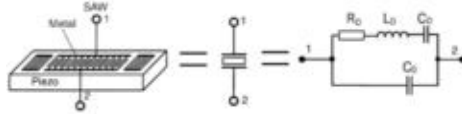


Рисунок 1 – Эквивалентная схема одноходового STW-резонатора с сосредоточенными элементами R, L, C.

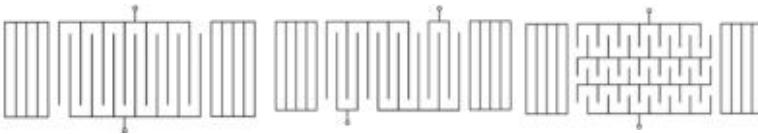
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_D C_D}} f_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_D \left(\frac{C_0 \cdot C_D}{C_0 + C_D}\right)}} \quad (2)$$

Частота параллельного резонанса f_a всегда больше частоты последовательного резонанса f_r : $f_a > f_r$.

Из формул (2) можно получить выражение для емкостного соотношения через частоты резонансов:

$$\frac{C_0}{C_D} = \frac{f_r}{2(f_a - f_r)} \quad (3)$$

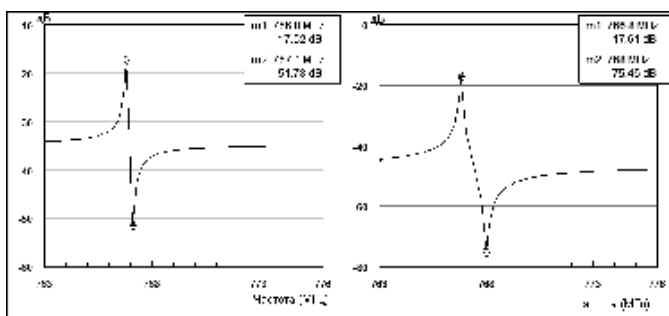
Метод деления ВШП основан на делении исходного ВШП на p участков и последовательного их соединения, так что акустически они действуют как ВШП с N парами электродов, но эффективная статическая ёмкость C_0 уменьшается в p^2 раз за счёт последовательного соединения секций (рис. 2).



(а)(б)(в)

Рисунок 2 – STW-резонатор с параллельным соединением секций ВШП (а), последовательным соединением секций ВШП $p=3$ в одном акустическом канале (б) и в параллельных акустических каналах (в)

На рис. 3 представлены расчетные характеристики модулей проводимости исходного STW-резонатора (а) и STW-резонатора с разделением ВШП на 2 части (б). Хорошо виден сдвиг частоты параллельного резонанса в область более высоких частот, что приводит к уменьшению значения емкостного соотношения в соответствии с формулой (3).

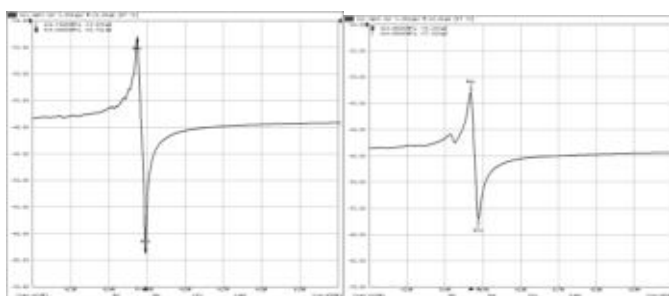


(а)

(б)

Рисунок 3 – Расчетные характеристики модулей проводимости исходного STW-резонатора (а) и STW-резонатора с разделением ВШП на 2 части (б)

На рис. 4. представлены измеренные частотные характеристики модуля проводимости резонаторов без деления секций ВШП и с параллельным соединением разделенных секций ВШП.



(а)

(б)

Рисунок 4 – Измеренные частотные характеристики модуля проводимости резонаторов без деления секций ВШП и с параллельным соединением разделенных секций ВШП.

Из рис. 4 (б) уменьшение пиков последовательного и параллельного резонансов f_r и f_a , что свидетельствует о снижении добротности резонатора с параллельным соединением разделенных секций ВШП и отсутствие разницы частот последовательного и параллельного резонансов f_r и f_a , а, следовательно, и изменения емкостного соотношения.

Экспериментальные данные, полученные в ходе исследования с использованием метода деления встречно-штыревого преобразователя, методом параллельного соединения, разделенного ВШП не дали результата. Необходима проверка метода последовательного соединения, разделенного ВШП, расчеты показывают целесообразность проведения эксперимента для обоснования выбора метода соединения разделенного ВШП или доказательства отсутствия возможности использования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Soluch W.* Scattering Matrix Approach to One Port SAW Resonators // Proc. IEEE IFCS-EFTF. 1999. P. 859–862.
- [2] *Hashimoto Ken-Ya.* Surface Acoustic Wave Devices in Telecommunications: Modeling and Simulation” // N.Y.: Springer. 2000 (Engineering online Library).
- [3] *Веремеев И.В., Доберштейн С.А., Разгоняев В.К.* Моделирование ПАВ-резонаторов и лестничных ПАВ-фильтров методом Р-матриц // Техника Радиосвязи. 2018. Вып.3. С. 61–71.
- [4] *Link A., Warder P.* Golden Age for Filter Design // IEEE Microwave Magazine, august, 2015, P. 60–72.
- [5] *Friedt J.-M [et al.]* Design of Asynchronous STW Resonators for Filters and High Stability Source Applications // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 2005. P. 1315–1318.

Жилин Николай Михайлович,

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
1 курс магистратуры, физический факультет,
644077, пр. Мира 55-А, zhilinnm050898@gmail.com

Исследование влияния дисперсии на распространение сигналов в оптических системах связи, использующих двубинарное кодирование

О. Н. Максимов

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Т. К. Болецкая

Аннотация. Рассчитаны глазковые диаграммы для двубинарных и бинарных сигналов при различных расстояниях от передатчика с учетом хроматической дисперсии оптического волокна. Показано, что двубинарные сигналы более устойчивы к хроматической дисперсии, чем бинарные.

Ключевые слова: оптические системы связи, хроматическая дисперсия, двубинарное кодирование, глазковая диаграмма.

До появления волоконных эрбиевых усилителей, дальность передачи в волоконно-оптических системах связи ограничивалась вследствие потерь в волокне. После появления усилителей дальность передачи ограничивается хроматической дисперсией волокон. Использование сигналов с кодировкой, ограничивающей спектр, позволяет расширить предел дисперсии без дополнительных оптических устройств. Для уменьшения ширины полосы частот сигнала может использоваться двубинарное кодирование [1]. Кроме того, использование двубинарных сигналов увеличивает скорость передачи информации.

Цель настоящей работы: исследовать влияние хроматической дисперсии на передачу двубинарных сигналов по оптическому волокну.

Двубинарные сигналы формировались следующим образом: предварительно кодированная случайная последовательность пропускалась через двубинарный фильтр, в качестве которого использовался фильтр Бесселя [2] использовался фильтр Бесселя 10-го порядка с частотой среза $1/(2T)$, T – продолжительность бита. В преобразователе, которым может быть интерферометр типа Маха-Цендера, нули

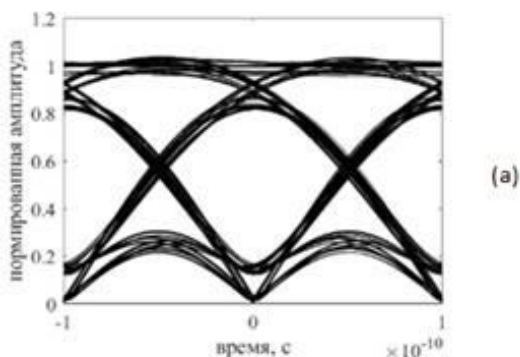
электрического сигнала преобразуются в нули оптического сигнала, единицы и минус единицы в оптические сигналы с максимальной амплитудой. Распространение сигнала по оптическому волокну моделировалось следующим образом. Оптическое волокно можно рассматривать как фильтр с передаточной характеристикой [3]

$$H(f) = e^{-j\alpha f^2}, \quad (1)$$

где $\alpha = \pi D(\lambda) \frac{\lambda^2}{c} L$, $D(\lambda)$ – дисперсия волокна, λ – длина оптической волны, c – скорость света, L – длина волокна. На рис. 1 приведены глазковые диаграммы двубинарного сигнала на расстояниях 0 и 100 км от передатчика.

Для сравнения выполнены расчеты для бинарного сигнала. Случайная последовательность нулей и единиц пропусклась через эллиптический фильтр. Фильтр использовался для ограничения спектра. На рис. 2 приведены глазковые диаграммы бинарного сигнала на расстояниях 0 и 100 км от передатчика.

Хорошо видно, что двубинарный сигнал более устойчив к хроматической дисперсии, чем бинарный сигнал.



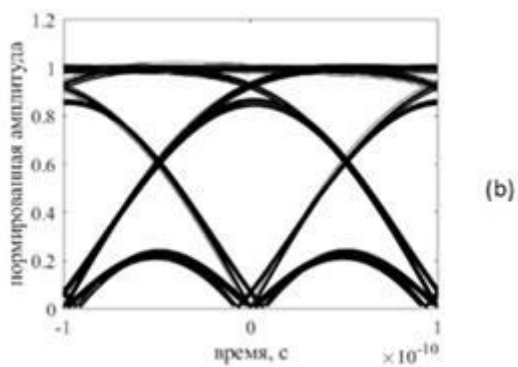
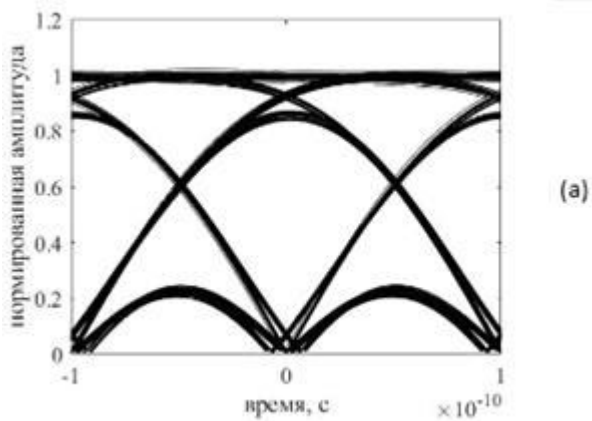


Рисунок 1 – Глазковая диаграмма оптического дубинарного сигнала:
а) вплотную с передатчиком (0 км); б) передача на 100 км.



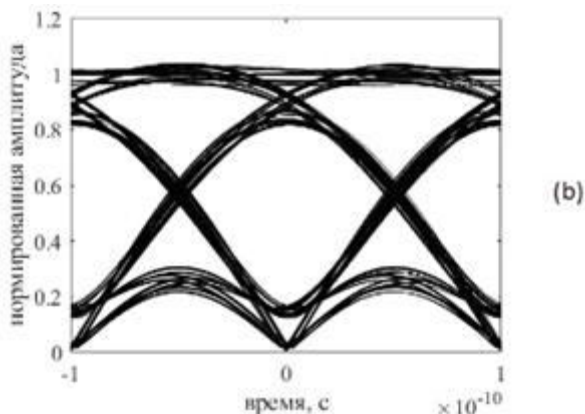


Рисунок 2 – Глазковая диаграмма оптического бинарного сигнала:
 а) вплотную с передатчиком (0 км); б) передача на 100 км.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Скляр Б.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: пер. с англ. // М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
- [2] *Рабинер Л., Гоулд Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов // Издательство «Мир», Москва, 1987. 848 с.
- [3] *Kazushige Yonenaga and Shigeru Kuwano.* Dispersion-Tolerant Optical Transmission System Using Duobinary Transmitter and Binary Receiver // *Journal of lightwave technology*, VOL. 15, NO. 8, August 1997.

Максимов Олег Николаевич

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
 2 курс магистратуры, физический факультет,
 644077, Омск, пр. Мира 55-А, +79681079325,
 oleg88maksimovn@gmail.com

Исследование керамических биокomпозитов на основе фосфатов кальция

Е. С. Кузнецов

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Т. В. Панова

Аннотация. Проведен отжиг при температурах 900, 1000 и 1100 °С предварительно синтезированных двухкомпонентных (гидроксиапатит, брушит) и трехкомпонентных смесей (гидроксиапатит, брушит и октакальцийфосфат). Показано, что фазовый состав полученной биокерамики зависит от условий синтеза и представляет собой переход от ГА, брушита и ОКФ к трикальций фосфату и пирофосфату кальция при температурных воздействиях.

Ключевые слова: гидроксиапатит, брушит, октакальцийфосфат, биокерамика, биокomпозиты, рентгенофазовый анализ.

Разработка биосовместимых материалов органического происхождения активно развивается в настоящее время и решает многие проблемы в сфере медицины [1]. Важным направлением является создание керамических биокomпозитов на основе фосфатов кальция для замены поврежденной костной ткани, в частности на основе гидроксиапатита (ГА). Использование химически синтезированного нанокристаллического гидроксиапатита открывает широкие возможности при наличии различных тканевых дефектов костей, так как способствует быстрой репаративной регенерации окружающей ткани [2].

Целью работы является создание и исследование керамических биокomпозитов на основе фосфатов кальция, синтезированных в лабораторных условиях.

Синтез гидроксиапатита и брушита проводили при комнатной температуре путем кристаллизации в результате спонтанного осаждения малорастворимого соединения из водного раствора. В качестве исходных реагентов использовали нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) и двузамещенный фосфат аммония ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$). pH полученных растворов доводили до 12 ± 0.05 для ГА и $5,5 \pm 0.05$ для брушита. Порошок ОКФ получали путем сливания растворов хлорида кальция ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), и

двухзамещенного фосфата натрия ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), с предварительно корректируемым значением $\text{pH}=6,5 \pm 0,05$. Синтезированные порошки гидроксиапатита, брушита и фосфата кальция использовали для создания смеси биокompозита, который получали путем прессования и последующего спекания в муфельной печи при температурах 900, 1000 и 1100 $^{\circ}\text{C}$. Были изготовлены 2-х и 3- компонентные керамики.

Определение фазового состава синтезированной керамики проводилось методом рентгенофазового анализа (РФА). Для рентгенофазового анализа были использованы программы DifWin и Search-Match. ИК- спектры снимали на спектрофотометре “ФСМ 2202”. Регистрацию спектров проводили с разрешением 4 см^{-1} , общее число сканирований – 50. Запись спектра исследуемых образцов проводили в области частот от 400 до 4000 см^{-1} . Пористость полученной керамики измеряли по стандартной методике.

РФА синтезированных порошков показал, что синтез по вышеописанной методике позволил получить образцы ГА, брушита и ОКФ. Двухкомпонентная смесь составлялась из ГА и брушита, 3-х компонентная содержала все синтезированные фазы.

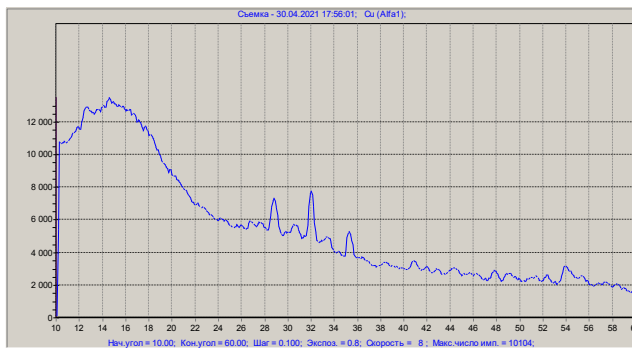


Рисунок 1 – Дифрактограмма двухкомпонентного биокompозита, отожженного при температуре 900 $^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 1 представлена дифрактограмма двухкомпонентного биокompозита, отожженного при температуре 900 $^{\circ}\text{C}$. РФА показал, что под воздействием температуры двухкомпонентная смесь переходит в новые фазы -

трикальций фосфата и пирофосфата кальция. Последующее повышение температуры отжига картину фазообразования не изменяет.

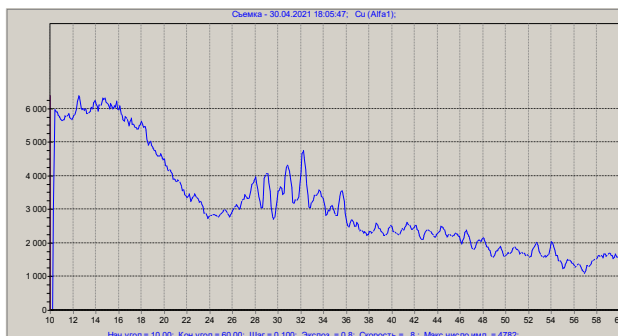


Рисунок 2 – Дифрактограмма трехкомпонентного биокомпозита, отожженного при температуре 1100°C.

Рентгенофазовый анализ трехкомпонентного биокомпозита, отожженного при температурах 900, 1000 и 1100°C показал аналогичную картину (рис. 2). Трехкомпонентная смесь при отжиге образует фазы трикальций фосфата и пирофосфата кальция. Изменяется только интенсивность и количество пиков, принадлежащих этим фазам.

Анализ ИК- спектров полученных образцов показал присутствие полос, характерных для фосфата кальция. Спектры имеют сложную структуру, обусловленную группами полос пропускания, вызванных валентными ($1060-1030\text{ см}^{-1}$) и деформационными ($640-550\text{ см}^{-1}$) колебаниями связей O-P-O в тетраэдрах PO_4^{3-} , полос деформационных колебаний C-O ($1500-1450\text{ см}^{-1}$), валентных колебаний O-H (3400 см^{-1}). С увеличением температуры отжига интенсивность полос поглощения карбонатов и воды уменьшается, что связано с их удалением из образцов.

Измерения пористости полученных образцов биокерамики показало, что чем больше температура отжига, тем меньший процент пористости материала. При этом для всего диапазона проведенного эксперимента была получена малая пористость, что позволяет утверждать, что была получена плотная керамика.

Таблица 1 – Пористость двух- и трехкомпонентной биокерамики

Наименование образца	П, %
2-х комп. Отжиг 900°C	13,6
2-х комп. Отжиг 1000°C	5,9
2-х комп. Отжиг 1100°C	2,4
3-х комп. Отжиг 900°C	6,8
3-х комп. Отжиг 1000°C	4,5
3-х комп. Отжиг 1100°C	1,9

Таким образом, исследования синтезированных в лабораторных условиях керамических биоконпозитов показали, что была получена плотная керамика, пористость которой уменьшается с повышением температуры отжига. При этом пористость трехкомпонентной биокерамики меньше чем двухкомпонентной. Установлено, что фазовый состав биоконпозитов зависит от условий синтеза и представляет собой переход от ГА, брушита и ОКФ к ТКФ и ПКФ при температурных воздействиях. Данные ИК-спектроскопии подтвердили сложный характер структуры полученных фосфатов кальция, связанные с наблюдаемыми группами полос пропускания, что свидетельствует о получении керамического биоконпозита.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Баринов С.М., Комлев В.С. Биокерамика на основе фосфатов кальция // М.: Наука. 2005. 204 с.
- [2] Шехирев М.А. Резорбируемая керамика на основе фосфатов кальция. Дипломная работа // МГУ им. М.В. Ломоносова. ФНМ. 2008.

Кузнецов Евгений Сергеевич,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
2 курс магистратуры, физический факультет,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, dantes156@mail.ru

Индивидуальные нановолокна «полианилин / углеродная нанотрубка» как чувствительный элемент резистивного наносенсора на аммиак

Е.Ю. Ткаченко, И.А. Лобов

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Н.А. Давлеткильдеев

Аннотация. Изучены особенности морфологии и сенсорного отклика на малые концентрации аммиака индивидуальных нановолокон «полианилин / многостенная углеродная нанотрубка», «полианилин / многостенная углеродная нанотрубка, легированная азотом до 2 ат.-%» и «полианилин / многостенная углеродная нанотрубка, легированная азотом до 4 ат.-%».

Ключевые слова: полианилин, многостенная углеродная нанотрубка, индивидуальные нановолокна, аммиак, резистивный наносенсор.

Введение. Композиты на основе полианилина (ПАНИ) и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) широко исследуются для применения в различных приложениях, таких как газовые сенсоры, суперконденсаторы, солнечные батареи, защитные покрытия и другие. Композиты ПАНИ/МУНТ отличаются большой удельной площадью поверхности, химической стабильностью и термостабильностью, высокой прочностью и электропроводностью. Подобие химической структуры ПАНИ и МУНТ обеспечивает их взаимодействие посредством π - π стекинга между бензольными кольцами полимера и графеновой плоскостью МУНТ. Управление морфологией и свойствами композита осуществляется через изменение условий синтеза ПАНИ и структурную модификацию стенок МУНТ. Одним из эффективных способов модификации МУНТ является легирование их гетероатомами. При этом может меняться морфология и электронная структура стенок МУНТ. Целью данной работы является установление особенностей морфологии и резистивного сенсорного отклика на аммиак индивидуальных нановолокон композита ПАНИ/МУНТ, вызванных легированием МУНТ атомами азота с различной концентрацией.

Методика эксперимента. Массивы нановолокон синтезированы методом химической окислительной полимеризации анилина в присутствии нелегированных МУНТ и МУНТ, легированных азотом с концентрацией 2 ат.% (N-МУНТ) и 4 ат.% (N⁺-МУНТ).

Индивидуальные нановолокна высаживались на специальную микроэлектродную матрицу, содержащую систему парных золотых микроэлектродов, методом центрифугирования из суспензий, полученных путем ультразвукового диспергирования массивов нановолокон в этиловом спирте.

Исследование морфологии массивов нановолокон проводилось на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM-6610LV “JEOL” в режиме регистрации вторичных электронов.

Измерение сенсорного отклика индивидуальных нановолокон на NH₃ проводилось с помощью герметичной газовой ячейки, содержащей столбик с электрическими контактами, цифровой мультиметр и систему напуска и удаления газа. При экспозиции в газе с помощью мультиметра регистрировалось изменение электрического сопротивления нановолокон во времени. Резистивный сенсорный отклик индивидуальных нановолокон определялся как относительное изменение их сопротивления при экспозиции в газовой среде R_{gas} и в атмосфере при отсутствии газа R_0 в соответствие с формулой

$$S = \frac{R_{gas} - R_0}{R_0} \cdot 100\%$$

Время отклика определялось как интервал между моментом напуска газа и временем достижения 90% от максимального изменения сопротивления при введении газа. Время восстановления определялось как интервал между моментом удаления газа и временем достижения 90% от максимального изменения сопротивления в процессе удаления газа.

Результаты. На рис. 1 показаны СЭМ изображения синтезированных массивов нановолокон ПАНИ/МУНТ, ПАНИ/N-МУНТ и ПАНИ/N⁺-МУНТ и величины разброса диаметров нановолокон и нанотрубок.

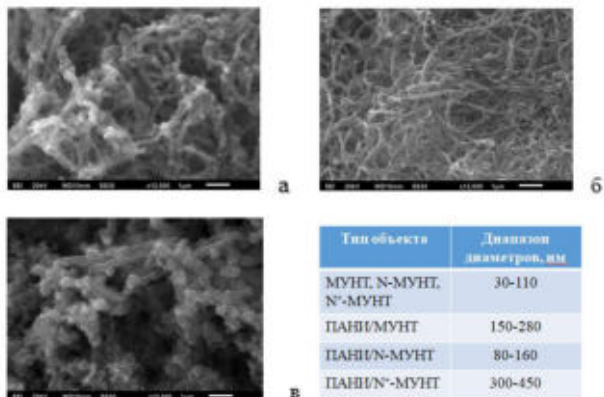


Рисунок 1 – СЭМ изображения массивов нановолокон ПАНИ/МУНТ (а), ПАНИ/N-МУНТ (б) и ПАНИ/N⁺-МУНТ (в).
 В таблице представлены диапазоны разброса диаметров нановолокон и исходных нанотрубок.

Анализ изображений с учетом величин разброса диаметров нановолокон и нанотрубок показал, что на нелегированных МУНТ слой ПАНИ достигает толщины порядка 80 нм и имеет развитую морфологию поверхности. На N-МУНТ слой ПАНИ имеет толщину порядка 30 нм и обладает слабо развитой морфологией поверхности. На N⁺-МУНТ наблюдается толстый (порядка 150 нм) и сильно развитый слой ПАНИ в форме шипов.

На рис. 2 и 3 представлены результаты определения сенсорного отклика, времен отклика и восстановления исследуемых нановолокон при концентрации аммиака от 2 до 10 ppm.

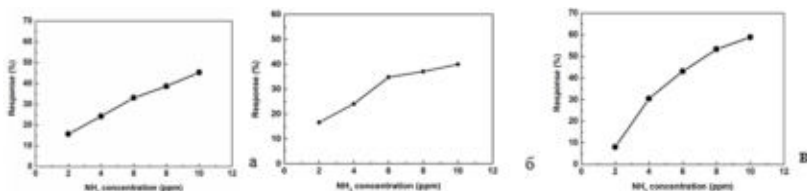


Рисунок 2 – Зависимость сенсорного отклика индивидуальных нановолокон ПАНИ/МУНТ (а), ПАНИ/N-МУНТ (б) и ПАНИ/N⁺-МУНТ (в) от концентрации аммиака в атмосфере.

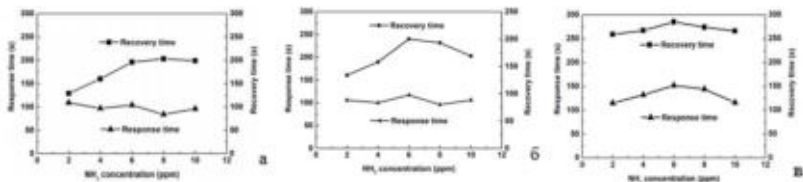


Рисунок 3 – Зависимость времени отклика и времени восстановления индивидуальных нановолокон ПАНИ/МУНТ (а) ПАНИ/N-МУНТ (б) и ПАНИ/N⁺-МУНТ (в) от концентрации аммиака в атмосфере.

Для всех нановолокон наблюдается близкий к линейному рост сенсорного отклика с увеличением концентрации аммиака. Наибольшим откликом обладают нановолокна ПАНИ/N⁺-МУНТ, их отклик в 1,5 раза превышает отклик волокон ПАНИ/N-МУНТ и ПАНИ/МУНТ. Время отклика и время восстановления волокон ПАНИ/N⁺-МУНТ несколько превышают данные параметры для остальных волокон.

Значительная развитость поверхности слоя ПАНИ на N⁺-МУНТ обеспечивает наибольший газовый отклик благодаря большей удельной площади поверхности, но снижает временные характеристики отклика за счет увеличения протяженности каналов проводимости в слое ПАНИ и возможного изменения скоростей адсорбции и десорбции молекул аммиака.

Ткаченко Екатерина Юрьевна

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
 2 курс магистратуры, физический факультет,
 644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, dna_mail@mail.ru

Старение генераторов на основе пав резонаторов

Р.С. Нагорнов

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. С.В. Кривальцевич

Аннотация. Представлена разработка методики ускоренного старения генераторов на поверхностных акустических волнах, что направлено на определение величины старения резонаторов на ПАВ для генераторов и их доминирующих причин. Рассмотрены результаты измерений по стандартной методике старения генераторов на основе ПАВ-резонаторов. Для достижения приемлемого ускоренного старения предложена новая методика при повышенной рабочей температуре 85°C во включённом состоянии в течение 500 часов.

Ключевые слова: генератор на пав, поверхностно-акустическая волна, пьезоэффект, кварцевый генератор, изотермическое старение, ступенчатое старение, ускоренное старение, корпусирование, stw-резонатор.

Актуальность написания данной статьи заключается в нахождении эффективных методов старения генераторов на основе ПАВ-резонаторов, так как в настоящее время требуется широкий спектр таких устройств с разными требованиями по стабильности. За последние несколько лет были получены значительные данные о старении для генераторов ПАВ, но генераторы ещё не достигли долгосрочной стабильности по сравнению с кварцевыми.

Объектом исследования является поведение частоты генератора при долговременных испытаниях. Цель работы – разработка методики ускоренного старения генераторов на поверхностных акустических волнах. Возможно ли при стандартном технологическом процессе после изготовления ПАВ резонаторов при эксплуатации иметь величину старения лучше 5 ppm за год?

Прежде чем ответить на поставленный вопрос, необходимо обратиться к двум основным понятиям. Первое – пьезоэлектрический эффект (см.рис.1), представляющий собой процесс, при котором происходит образование противоположных по значению электрических зарядов.

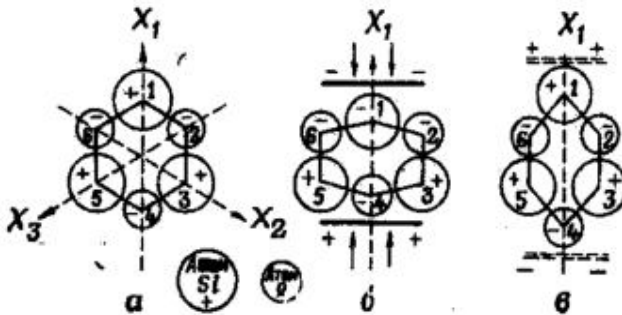


Рисунок 1 – Пьезоэлектрический эффект на примере кристалла кварца: а) недеформированный кристалл, б) сжатие кристалла, в) растягивание кристалла [1]

Второе понятие - генераторы на ПАВ (см.рис.2). Они являются ещё одной областью применения пьезоэлектрических структур, а также позволяют осуществлять температурную компенсацию генератора.

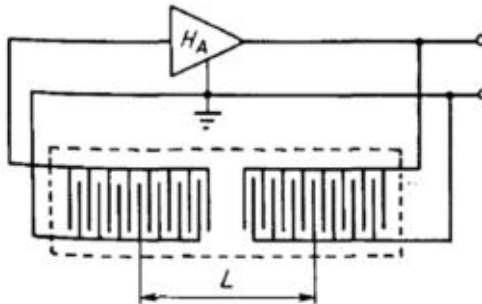


Рисунок 2 – Схема генератора с линией задержки на ПАВ [2]

Сферой их исследования стала долгосрочная стабильность частоты (старение), так как является важным параметром для многих применений. Актуальность выбора ПАВ резонатора заключается как в нахождении эффективных методов старения генераторов на основе ПАВ-резонаторов, так и в определении доминирующих причин старения в генераторах ПАВ с рабочими частотами в диапазоне от 500 МГц до нескольких ГГц.

Проведённый анализ теоретико-экспериментальных исследований по выявлению как причин старения в генераторах ПАВ, так и механизмов их старения показал, что, несмотря на недостатки долговременной стабильности частоты (или старение) в генераторах на ПАВ-резонаторах в сравнении с кварцевыми генераторами, они широко используются и являются конкурентоспособными для многих областей применения.

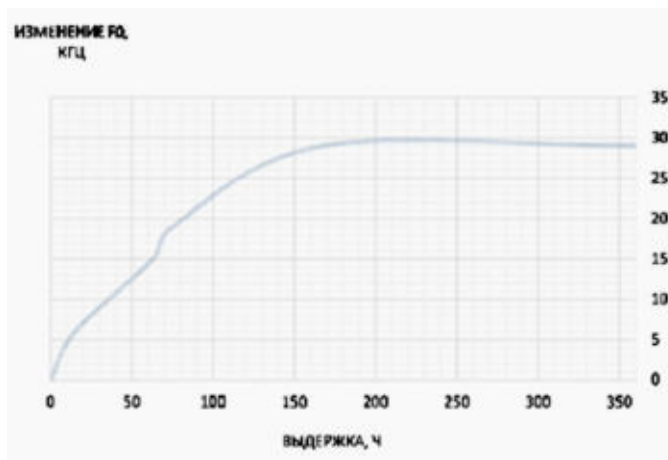


Рисунок 3 – Измерение частоты генератора на ПАВ-резонаторе с частотой 1000МГц за 360 часов работы под нагрузкой [3]

Поэтому в части работы *Анализ результатов проведенного исследования* предлагаю рассмотреть результаты осуществлённого в АО «ОНИИП» наблюдения над долговременным сдвигом частоты трёх генераторов.

Исследование направлено на поведение частоты генератора при долговременных испытаниях в дополнение к тому, что уже известно о старении ПАВ. Рабочие частоты резонаторов 500, 750 и 1000 МГц.

В качестве частотозадающего элемента использовался STW-резонатор, поскольку STW волна проникает в кристалл на большую глубину. Также немаловажно, что конструкция STW-резонатора значительно проще, а технологический процесс – короче.

По рисунку 4 видно, что после 200 часов изменился основной, влияющий на старение, механизм. Изменение частоты резонаторов со временем (в течение 1000 часов) и работы под нагрузкой при температуре 85° С стало меньше и изменило знак.

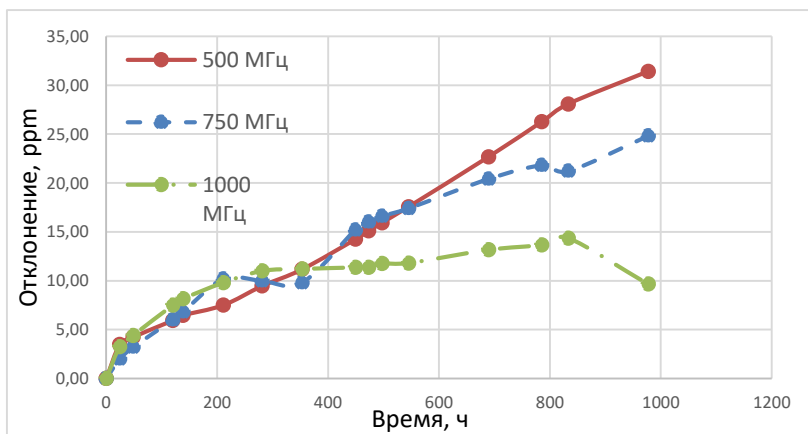


Рисунок 4 – Отклонение частоты в ppm от номинала в ходе работы под нагрузкой при 85° С в течение 1000 часов. Частоты резонаторов 500 (сплошная), 750 (пунктирная) и 1000 МГц (штрих-пунктирная)

Стоит отметить схожее поведение генератора на рисунке 4 с резонатором на 1000 МГц с резонатором на рисунке 3. После 200 часов изменился темп старения. Старение стало заметно ниже.

На рисунке 5 представлена реальная информация макетных образцов генераторов кварцевых производства АО «ОНИИП». На данном графике видно изменение частоты трех образцов со временем. Находились генераторы в камере тепла и холода при +85С во включенном состоянии, благодаря чему имитировалась эксплуатация изделий при +35С – реальное старение.

Из рисунка 5 видно, что резонаторы на 500 и 1000 МГц демонстрируют прогноз по старению порядка 5 ppm за год после 7000 часов работы, что является хорошим показателем для устройств на ПАВ. Резонаторы на 750 МГц показывают прогнозное старение за год свыше 20 ppm, что не достаточно.

Стоит отметить, что резонаторы на 750 плавно ушли по частоте, что требует дополнительных исследований и данных для анализа. Дополнительного анализа требует резонатор на 500МГц, так как он предварительно вышел из строя, это видно на рисунке 5. Стоит обратить внимание на различие в мощностях, подаваемых на ПАВ-резонаторы. На резонаторы 500 и 750 МГц подается в 2 раза меньшая мощность. То есть, на старение также влияет и неотмеченная в литературе мощность возбуждения резонатора.

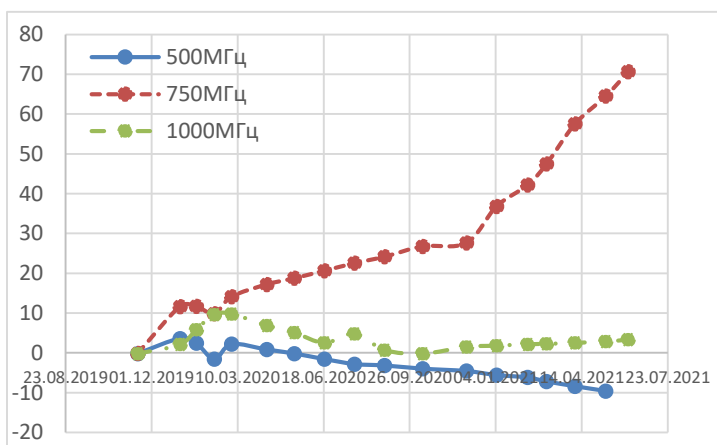


Рисунок 5 – Отклонение частоты в ppm от номинала в ходе непрерывной работы в течение 11320 часов при 35°С. Частоты резонаторов 500 (сплошная), 750 (пунктирная) и 1000 МГц (штрих-пунктирная)

Таким образом, проведённые наблюдения показывают, что достаточно выдержать генераторы в течение 200-500 часов во включенном состоянии при температуре 85° С для достижения приемлемого старения. Результаты проведенных измерений по стандартной методике старения генераторов на основе ПАВ-резонаторов показали схожие результаты вне зависимости от технологии и места производства резонаторов. Кроме того, показали, что для получения стабильных генераторов их нужно «проставить», то есть производить ускоренное старение в рабочем состоянии при повышенной рабочей температуре 85 °С.

Также исследования показали, что увеличение мощности возбуждения резонатора является дополнительным механизмом, сильно искажающим картину старения, и требует дополнительного исследования. Таким образом, при стандартном технологическом процессе после изготовления резонаторов достаточно их прогнать во включенном состоянии при 85°C в течение 500 часов, чтобы в дальнейшем при эксплуатации иметь величину старения лучше 5 ppm за год. В доступных источниках по экспериментам показано, что получить старение лучше 5 ppm при стандартных технологических процессах невозможно.

Благодаря результатам наблюдения можно предположить, что, кроме рассмотренных условий по стандартной методике старения генераторов на основе ПАВ-резонаторах, возможным способом улучшения долговременной стабильности может быть нанесение алюминия с кремнием на электроды, что позволит увеличить их устойчивость к повышенной мощности сигнала. Если же продолжать использовать только алюминий, то следует обратить внимание, что он мигрирует, тем самым нарушая рисунок на плате.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Сивухин Д.В.* Общий курс физики Том 3. Электричество // М.: Наука, 1996. 704 с
- [2] *Ляшук А.Н.* Исследование и разработка стабильных высокочастотных широкоперестраиваемых ударостойких генераторов на основе фильтровых ПАВ компонентов: дисс. канд. техн. наук // Омск, 2014. 146 с.
- [3] Новые STW резонаторы для прецизионных генераторов. Вносимые шумы. Перспективы внедрения. [Электронный ресурс]. // URL: <https://docplayer.ru/57249740-Novye-stw-rezonatory-dlya-precizionnyh-generatorov.html>

Нагорнов Роман Сергеевич,

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
1 курс магистратуры, физический факультет,
644077, пр. Мира 55-А, nagornov1997@gmail.com

Анализ температурного распределения по поверхности икроножной мышцы спортсменов в тренировочном процессе

М. А. Сахацкая

Научный руководитель: к.б.н., доц. М. Г. Потуданская

Аннотация. В работе изучен вопрос о возможности оценки эффективности тренировочного процесса на основе анализа распространения температур по поверхности голени в области расположения икроножной мышцы.

Ключевые слова: термография, поверхностное распределение температуры, тренировочный процесс.

Применение физических методов для оценки физиологического состояния организма человека применяется достаточно широко. Одним из таких методов является термография. Процесс тренировки спортсменов как на начальном этапе, так и при подготовке спортсменов высшего спортивного мастерства требует четко разработанной последовательности нагрузок с определением объема интенсивности. Объем характеризуется продолжительностью воздействия нагрузки и суммарным количеством выполняемой работы. Интенсивность связана с активностью выполнения нагрузки и силой воздействия нагрузки в каждый конкретный момент тренировки. В различные периоды тренировочного процесса объем и интенсивность нагрузки существенно отличаются [1]. Каким образом тренер может объективно установить, что подобранный объем и интенсивность нагрузки являются достаточными? Мы предлагаем делать такую оценку с учетом анализа температурных распределений по поверхности участков тела, на которые проецируются мышцы, активно участвующие в тренировочном процессе. Очевидно, что мышцы должны быть достаточно крупными и легко идентифицированы. Такой мышцей мы выбрали икроножную мышцу, которая испытывает существенное воздействие при всех нагрузках на нижние конечности, рис. 1.

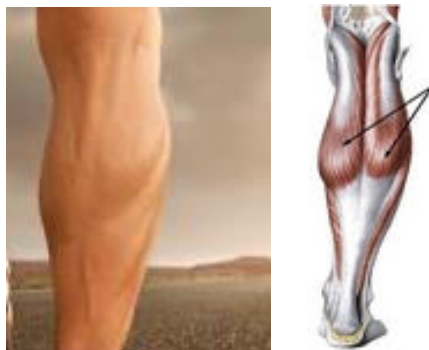


Рисунок 1 – Икроножная мышца.

Таким образом, целью исследования является разработка на основе термографии способа оценки эффективности тренировочного процесса.

В исследовании, проводимом в лаборатории медицинской физики ОмГУ им. Ф.М. Достоевского, участвовали две группы студентов мужского пола. Каждая группа состояла из 5 человек. Эксперимент проводился с помощью тепловизора ПергаМед [2]. Группы объединяли спортсменов разной степени подготовки. Для каждой группы записывались по три серии термограмм: до, во время и после физической нагрузки.

Термограммы для всех трех случаев при эталонном тренировочном процессе представлены на рис. 2.

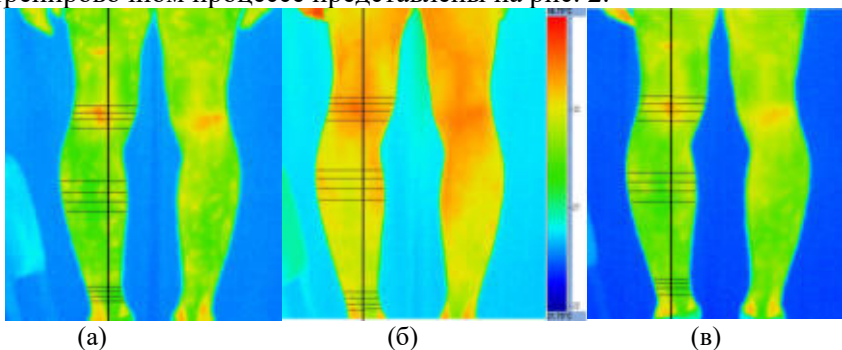


Рисунок 2 – Термограмма области икроножной мышцы (а) - до, (б) – во время и (в) после физической нагрузки.

При планировании нагрузок предполагалось, что повышение температуры во время максимума нагрузки не должно превышать 2,5 градуса Цельсия. В качестве нагрузок рассматривались следующие комбинации упражнений:

1. Подъем на носки из положения стоя 20 раз; подъем на носки из положения стоя на платформе (по 20 раз на каждую ногу), бег. Данный комплекс был отвергнут, так как при анализе термограмм, записанных во время физической нагрузки, повышение температуры превосходило заданный диапазон изменения, что свидетельствует о высокой интенсивности метаболических процессов в начальной стадии и может привести к снижению продуктивности сокращения в ближайшие несколько дней до восстановления баланса метаболитов.

2. Приседания в машине Смита (3 подхода по 15-18 раз с отдыхом по 1 минуте); жим, выполняемый носками (45 секунд работы с отдыхом 45 секунд). Данный комплекс позволил наблюдать повышение температуры в пределах заданного диапазона, однако понижения температуры к концу тренировочного процесса не наблюдается (есть даже незначительное дальнейшее повышение, которое, однако, нельзя считать достоверным). Такая ситуация связана с недостаточной активацией процесса теплообмена с окружающей средой из-за недостаточной регуляции потоотделения.

3. Приседания в машине Смита (3 подхода по 15-18 раз с отдыхом по 1 минуте). В предыдущем комплексе эта часть нагрузки дала удовлетворительный результат, поэтому она не изменялась. Вторая часть – сгибание ног из положения лежа в тренажере.

Продолжительность тренировки во всех случаях составляла 15 минут. Запись термограмм осуществлялась в состоянии покоя за 5 минут до начала тренировки при вертикальном положении тела. Вторая термограмма записывалась на 8-ой минуте тренировки без остановки на значительное время. Время регистрации термограммы составляло 30 секунд. Последняя термограмма записывалась через 1-2 минуты после прекращения тренировочного процесса. При однородной по степени подготовленности группы оптимальным был тренировочный процесс, представленный под пунктом 3. Далее, при продолжении тренировки происходит

понижение температуры, так как процесс передачи тепла в окружающее пространство начинает преобладать над производством тепла при работе мышцы. При подборе упражнений предполагалось, что снижение температуры не должно превышать 1 градуса Цельсия на момент окончания тренировки. Таким образом, тренировочный процесс был скорректирован во второй части занятия.

Таким образом, в ходе выполнения работы было показано, что термография позволяет количественно оценивать интенсивность нагрузки, оказываемой на поверхностные мышцы, что может быть использовано для формирования и корректировки оптимального тренировочного процесса.

Выявлено, что повышение температуры поверхности икроножной мышцы при пиковой нагрузке не должно превышать 2,5 градусов Цельсия.

Понижение температуры к концу тренировки не должно превышать 1 градуса Цельсия. В заданных пределах изменения температур сформирован и апробирован комплекс упражнений для тренировки икроножной мышцы.

ЛИТЕРАТУРА

[1] *Величко Т. И., Сергеева Л. В.* Медико-биологические основы физической культуры студента. Учебно-методическое пособие // М.: Тольяти, 2014. 11-45 с.

[2] «ПергаМед»- официальный сайт производителя. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://pergamed.ru/>

Сахацкая Мария Александровна,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
1 курс магистратуры, Физический факультет,
644077, пр. Мира 55-А, salamanka.98.98@mail.ru

Секция

«ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»

Электрохимический метод определения скорости коррозии Стали-3 в электролитических средах

Н. Е. Александрова

Научный руководитель: д.г.-м.н., проф. О. А. Голованова

Аннотация. В статье изучены процесс коррозии стали Стали-3 в водных средах теплоэнергетических установок с помощью электрохимического метода. Изучено влияние ряда ингибиторов на протекание скорости коррозии. Сравнение агрессивности исследуемой среды производилось по РД 153-34.1-17.465-00 «МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ». По итогам оценки экспериментальных данных было установлено, что использование в качестве ингибитора коррозии гидрофосфат натрия (30 мг/л) является эффективным способом защиты от коррозии.

Ключевые слова: коррозия, ингибитор, Сталь-3, Монитор-2м.

Обработка воды на теплоэнергетических установках осуществляется обычно на специальных водоподготовительных установках (ВПУ). С помощью установок водоподготовки поддерживается определенный водно-химический режим работы оборудования ТЭС, котельных и в тепловых сетях. Нарушения вводно химического режима всегда приводят к ухудшению эксплуатационных и экономических показателей энергетических установок и ведут к перерасходу топлива, выходу из строя оборудования и т. д. [1].

Таким образом, целью данной работы является изучение процессов коррозии стали Стали-3 в водных средах теплоэнергетических установок и подбор ингибиторов для снижения скорости коррозии.

Для определения эффективности ингибиторов использовался электрохимический метод определения скорости коррозии с помощью портативного прибора Монитор-2М.

Функционирование прибора основано на принципе Штерна-Гири. В общем случае этот принцип читается так (1): Ток коррозии (I) обратно пропорционален поляризационному сопротивлению (R_p) поверхности электрода, измеренному вблизи стационарного потенциала коррозии [2]

$$I[\text{mA}] = k[\text{mV}]/R_p[\text{Oм}] \quad (1)$$

Электрохимический метод определения скорости коррозии осуществляется в цилиндрической ячейке, наполненной агрессивной средой и снабженной датчиком, который подключен к индикатору скорости коррозии Монитор-2М. Схема установки приведена на рис. 1.

На протяжении всего испытания производилось непрерывное перемешивание среды с помощью мешалки. Опрос датчика производился с периодичностью 20 минут.

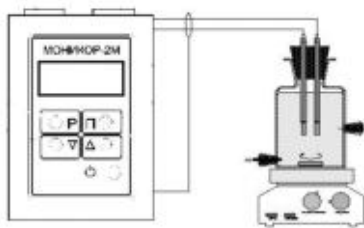


Рисунок 1 – Внешний вид индикатора скорости коррозии, подключенный к исследуемой измерительной ячейке.

Сравнение агрессивности исследуемой среды производилось по РД 153-34.1-17.465-00 «МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ» [3].

Расчет степени защиты ингибитора производится по формуле (2):

$$Z = [(K_1 - K_2)/K_1] \cdot 100 \quad (2)$$

где K_1 , K_2 – скорость коррозии металла в агрессивной среде без и с ним (мм/год) [3].

При исследовании скорости коррозии Ст-3 в водных средах теплоэнергетических установок установлено, что агрессивность исследуемой среды является высокой, но скорость коррозии не превысила значения соответствующие аварийности сетевой воды.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

V ингибитора (мл)	Масса электрода		Скорость коррозии, мм/год	Степень защиты, %
	До (g ₁), г	После (g ₂), г		
<i>Вода без обработки (1)</i>				
-	8,8278	8,9419	0,144	-
<i>Необработанная вода в присутствии ингибитора Na₂HPO₄ (0,3 г/л)</i>				
1	8,9650	8,9688	0,061	57,6
2	8,9244	8,9276	0,079	45,1
3	8,5742	8,5759	0,004	97,2
5	8,9315	8,9329	0,093	35,4
<i>Необработанная вода в присутствии ингибитора Na₂HPO₄ (18 мг/л) + этиленгликоль (0,01 мг/л)</i>				
1	8,8690	8,8734	0,044	69,4
2	9,1847	9,1888	0,025	82,6
3	8,9275	9,9399	0,072	48,6
5	9,3082	9,3221	0,093	36,1
<i>Вода без обработки (2)</i>				
-	8,7836	8,7855	0,093	-
<i>Необработанная вода в присутствии ингибитора агар-агара (100 мг/л) + Na₂HPO₄ (18 мг/л) pH=9,14</i>				
1	8,9784	9,9780	0,141	-
2	8,8645	8,8641	0,135	-
3	9,0773	9,0763	0,119	-
5	9,9853	9,9850	0,043	53,7
<i>Необработанная вода в присутствии ингибитора агар-агара (100 мг/л) + Na₂HPO₄ (18 мг/л) pH=6,26</i>				
1	8,9838	8,9825	0,051	45,2
2	8,8728	8,8714	0,088	5,4
3	8,3592	9,3582	0,043	53,7
5	9,1347	9,1332	0,027	71,0

Эффективность использования ингибиторов коррозии представлена в табл. 1, где видно, что лучшим ингибитором для данной коррозионной среды является гидрофосфат натрия с концентрацией 30 мг/л (3 мл), степень защиты Ст-3 составила 97,2%. Также видно, что при использовании 2 мл ингибитора гидрофосфата натрия (18,0 мг/л) + этиленгликоль (0,01 мг/л) 1 мл

в агрессивной среде скорость коррозии Ст-3 уменьшается в 5,8 раза и степень защиты составляет 82,6%.

При исследовании влияния pH в присутствии ингибитора агар-агара (100 мг/л) и гидрофосфата натрия (18 мг/л), выявлено, что наиболее эффективное действие оказывается при pH=6,26, степень защиты от коррозии составляет 71,0%.

Таким образом по проделанной работе можно сделать выводы:

1. Скорость коррозии Ст-3 в водных средах теплоэнергетических установок относится к высокой, но не превышает значения, соответствующие аварийности сетевой воды.

2. С помощью проведенных исследований выявлено, что наиболее эффективным ингибитором коррозии для данной исследуемой среды является гидрофосфат натрия, степень защиты составляет 97,2%.

ЛИТЕРАТУРА

[1] *А.Д. Семенов, О.А. Голованова.* Методы подготовки воды при эксплуатации паровой котельной г. Омска. Молодёжь третьего тысячелетия: сборник научных статей / [отв. ред. Т. Ф. Ящук] // Омск: Изд-во Ом. гос. унта, 2019. С. 1464–1468.

[2] Инструкция по эксплуатации Монитор-2М (модель выпускается с 2009 года) версия от 2009-10-27 (ru). URL: <https://www.monitor.ru/ru/doc/> (дата обращения: 24.05.2021)

[3] РД 153-34.1-17.465-00 «МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ». URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817104.htm> (дата обращения 30.05.202)

Александрова Наталья Евгеньевна,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
2 курс магистратуры, химический факультет,
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, +7-913-632-77-36,
nata.shevtsova.97@gmail.com

Формирование навыков самостоятельной учебной деятельности при изучении математических дисциплин

Н. Ш. Сатканова

Научный руководитель: к.п.н., доцент И. А. Круглова

Аннотация. В статье рассматривается проблема формирования навыков самостоятельной учебной деятельности. Приводятся примеры уровней и видов самостоятельной деятельности на основе анализа литературных источников. Формулируются вопросы для дальнейших исследований.

Ключевые слова. Самостоятельная учебная деятельность, обучение математике, уровни самостоятельной деятельности.

Как научить своих учеников учиться мыслить и работать самостоятельно? Эти вопросы ставили еще Ш.В. Амонашвили, В.А. Сухомлинский, К.Д. Ушинский.

Проблема формирования навыков самостоятельной учебной деятельности не является новой и занимает важное место в современной дидактике, поскольку учащийся приобретает знания только в процессе личной самостоятельной учебной деятельности. Умение управлять своей деятельностью выступает в качестве ключевой компетенции, как в жизни человека, так и в его трудовой деятельности.

Внимание к этой проблеме актуально и сейчас, так как навык самостоятельной учебной деятельности важен не только при получении среднего образования, но и при продолжении обучения после школы. Не достаточно развитый уровень самостоятельной деятельности делает невозможным эффективное обучение в высшей школе.

Математика, как один из важнейших предметов образовательного цикла, учит не только строить и

оптимизировать деятельность, вырабатывать и принимать решения, но и проверять результаты, исправлять ошибки, различать аргументированные и бездоказательные утверждения. Все это может быть достигнуто только, если в обучении заложена возможность мотивации учащегося на самостоятельную деятельность.

С.И. Демидова определяет самостоятельную работу как, «любую организованную учителем активную деятельность учащихся, направленную на выполнение поставленной дидактической цели в специально отведённое для этого время» [3]. Выделяют следующие виды самостоятельной деятельности:

Репродуктивная - самостоятельное изучение отдельных тем с использованием учебника, первоисточника, дополнительной литературы. Цель такого рода работ - закрепление знаний, формирование умений, навыков.

Поисково-аналитическая и практическая - аналитическая обработка текста, подготовка сообщений, докладов, выступлений на семинарских и практических занятиях; поиск информационных источников; выполнение упражнений и т.д.

Творческие самостоятельные работы - эта деятельность позволяет учащимся получать принципиально новые для них знания, закрепляет навык самостоятельного поиска информации. Задачи такого типа – одно из самых эффективных средств формирования творческой самостоятельности.

Педагог и психолог Л.В. Жарова выделяет так же три уровня самостоятельной деятельности: копирующий (низкий), воспроизводящий (средний) и творческий (высокий), в зависимости от того насколько ученик умеет пользоваться полученными знаниями [2]:

Низкий уровень. Учащийся может выполнять действия по готовому образцу (копирование). По мнению Л.С. Выготского, подражание является свойством развивающейся личности, способом познания действительности: «чтобы подражать, ребенок должен иметь возможность перехода от того, что он умеет к тому, чего не умеет» [1].

Средний уровень (активно – поисковый) характеризуется свободой применения знаний в стандартной ситуации. Цель работы, учебную задачу выдвигает учитель, но планировать ее

решение ученик должен сам. Выполняя упражнения, решая примеры, изучая текст, обучающийся реконструирует материал, учится раскрывать суть проблемы своими словами, не копируя учебник или изложение преподавателя.

Высокий уровень (интенсивно – творческий).

Обучающиеся успешно применяют уже имеющиеся знания в нестандартной ситуации.

Каждый ученик объективно проходит все эти уровни. Задача любого творчески работающего учителя довести как можно больше своих учеников до высшего уровня самостоятельной деятельности.

Различают урочную, под руководством преподавателя, и внеурочную самостоятельную деятельность без его непосредственного участия [4]. Тесная взаимосвязь этих видов работ предусматривает дифференциацию учащихся по уровням самостоятельности и целенаправленно развивает этот навык.

Эффективность результатов выполнения такой работы зависит от организации, содержания, логики учебного процесса (межпредметных связей, перспективных знаний и др).

На уроках математики навык самостоятельной учебной деятельности должен формироваться на каждом занятии, однако опрос учителей школ показал тенденцию к снижению активности учеников к такой работе, наблюдается желание действовать по алгоритму. В большом количестве появляющиеся рабочие тетради с готовыми шаблонами решения и чертежами наносят скорее вред, чем приносят пользу.

В стандартах высшего образования прописано, что на самостоятельную деятельность отводится 70% учебного времени. САНПИН рекомендует следующие временные затраты при подготовке домашней самостоятельной работы школьников: 1-й класс – домашнего задания нет; 2–3-й классы – 1,5 часа в день; 4–5-й классы – 2 часа в день; 6–8-й классы – 2,5 часа в день; 9–11-й классы – 3,5 часа в день, что тоже составляет около 70% учебного времени в целом.

Как показал опрос учителей, отсутствие навыков самостоятельной работы приводит к неэффективному использованию отведенного времени.

Отсюда встают вопросы о методах работы с обучающимися

в этом направлении и формах контроля изменения уровней сформированности самостоятельной учебной деятельности:

- кто должен проводить измерения – учитель-предметник, школьный психолог, классный руководитель;
- с какой периодичностью нужно проводить эти исследования;
- как проводить коррекцию результатов?

Можно сказать, что при формировании навыка самостоятельной учебной деятельности, так же развивается критическое мышление, повышается уровень мотивации к учебе.

ЛИТЕРАТУРА

[1] *Выготский Л.С.* Развитие высших психических функций /под ред. Леонтьева А. Н. , Лурье А. Р., Теплова Б. М.. – М.: изд-во АПН РСФСР, 1960. – 500 с.

[2] *Жарова Л.В.* Учить самостоятельности. - М., «Просвещение», 1993. То же [Электронный ресурс]. <https://ru.book.cc/ireader/3255235>

[3] Самостоятельная деятельность учащихся при обучении математике /Сборник статей. Составители Демидова С.И., Денищева Л.О. «Просвещение» 1985г; То же [Электронный ресурс]. <https://drive.google.com/file/d/1R5Qafacq58nfjDnGZ-K1-wn6MW-YKkST/view>

[4] Самостоятельная работа студентов: виды, формы, критерии оценки: учеб.-метод. пособие /[Меренков А.В., Куньщиков С.В., Гречухина Т.И., Усачева А.В., Вороткова И.Ю.; под общ. ред. Гречухиной Т.И., Меренкова А.В.]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург, 2016.

Сатканова Насибхан Шахеновна,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского
2 курс магистратуры, физический факультет
644077, Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)647787,
Nasibhan.satkanova@yandex.ru

Стандарт WorldSkills как средство развития критического мышления у студентов СПО

А. С. Борзов

Научный руководитель: д.п.н., доц. М. П. Ланкина

Аннотация. Статья посвящена проблеме формирования критического мышления у студентов СПО. Рассмотрена технология применения стандартов WorldSkills в процессе изучения физики. Показано, что на каждом этапе организации занятий по рассматриваемой технологии применяются структурные элементы критического мышления.

Ключевые слова: критическое мышление, технология развития критического мышления, WorldSkills.

Одним из важнейших инструментов в реализации комплекса мер, направленных на совершенствование технического образования, является участие в движении WorldSkills (далее – WS). Использование принципов и стандартов WorldSkills можно рассматривать как инструмент независимой оценки качества технологического образования и средство повышения его качества. Благодаря методическому обеспечению, разработанности оценочных процедур, регламентов проведения конкурсов, движение Worldskills позволяет выстроить образовательный процесс, обеспечивающий высокий уровень подготовки будущих работников и специалистов различных уровней [1].

Предметная область «Физика» является организующим ядром вхождения в мир инженера. В рамках освоения дисциплины «Физика» происходит приобретение базовых навыков работы с современным оборудованием, физическим объяснением инженерных задач, знакомство с миром технических профессий, самоопределение и ориентация обучающихся на деятельность в различных технических сферах, обеспечивается преемственность перехода обучающихся от общего образования к среднему профессиональному, высшему образованию и трудовой деятельности.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- создание системы преемственного физического образования на всех уровнях профессионального образования;
- изменение статуса предметной области «Физика» в соответствии с ее ключевой ролью в обеспечении связи фундаментального знания с преобразующей деятельностью человека и взаимодействия между содержанием общего образования и окружающим миром;
- модернизация содержания, методик и технологий преподавания дисциплины «Физика»; усиление воспитательного эффекта; изучение элементов как традиционных, так и наиболее перспективных технологических направлений, соответствующих стандартам Worldskills;
- формирование у обучающихся культуры проектной и исследовательской деятельности, использование проектного метода во всех видах образовательной деятельности;
- создание системы выявления, оценивания и продвижения обучающихся (включая продолжение образования), обладающих высокой мотивацией и способностями в сфере материального и социального конструирования, включая инженерно-технологическое направление и ИКТ, расширение олимпиад НТИ; широкое участие в чемпионатах юниоров и демонстрационных экзаменах по стандартам Worldskills, учет достижений обучающихся в системе «Паспорт компетенций» [1].

Для реализации технологии применения стандартов Worldskills при изучении дисциплины «Физика» занятия можно проводить как в группах, так и индивидуально. В роли эксперта могут выступать как группа студентов, так и сам преподаватель.

Этап 1.

На первом этапе работы студенты делятся на группы (модули), обозначаются эксперты. Эксперты заранее готовят задания (домашнее задание), вносят ошибки в задачи, в вопросы, и определения. Преподаватель помогает студентам составить листы заданий, разделяя каждое задания на модули. На модули можно разбить целый раздел на темы; темы на подтемы; подтемы на параграфы.

Студенты, выполняющие роль экспертов, активно используют свое критическое мышление, проводят анализ

задания, вносят ошибки, учатся работать в команде, выслушивать альтернативное мнение и вносить свои коррективы. Прорабатывая в таком режиме, студенты-эксперты сами лучше запоминают материал, ведь теперь они выступают в роли преподавателей, тем самым более активно и углубленно изучают материал.

Этап 2.

На втором этапе проходит само занятие по технологии применения стандарта Worldskills. К каждой группе ребят прикрепляется свой студент-эксперт. Каждая группа получает листы с заданием, в котором внесены ошибки, студенты знают, что в задании есть неисправности. Обучающиеся начинают выполнять задание, разбирать его на составляющие и находить ошибки. Эксперт наблюдает за каждой группой, в случае обнаружения ошибки обучающиеся оповещают эксперта, который в свою очередь говорит, правильно ли студенты справились с заданием. Как только студенты выполнили один модуль, они меняются листами с заданием и тем самым переходят к следующему модулю. Эксперты оценивают выполненные задания и ставят каждой группе баллы.

На втором этапе критическое мышление активно используется студентами. Сочетание индивидуальной и групповой работы позволит каждому ученику актуализировать свои знания и опыт и услышать другие мнения, проанализировать свои и чужие суждения. Это очень важный момент, ведь уже здесь каждый студент начинает критически мыслить, осмысляя как свои, так и чужие идеи. Каждое задание обучающимся приходится оценивать критически, ставить под сомнение найденные ошибки.

На третьем этапе занятия идет подсчет баллов и награждение победителей.

Преподаватель на занятии по технологии применения стандартов Worldskills выступает в роли главного эксперта, помогает экспертам в составлении задания, следит за процессом, курирует деятельность участников и экспертов.

При введении в занятия по физике данной педагогической технологии у студентов развивается навык рассуждения и аргументации: постановка цели, выдвижение гипотез,

приведение аргументов, их обоснование, принятие или непринятие альтернативных точек зрения, выявление ошибок, улучшается способность применения базовых интеллектуальных умений для синтеза и анализа задач. Все перечисленные умения и способности входят в состав критического мышления.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Дудырев Ф., Фрумин И. и др. Новые возможности WorldSkills для сопоставимой оценки результатов в профессиональном образовании. Электронный ресурс <https://ioe.hse.ru/data/2019/08/24/1536798817/Доклад%20экспертов%20Института%20образования.pdf> (дата обращения 5.06.2021)

Борзов Алексей Сергеевич,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
2 курс магистратуры, физический факультет,
644077, г. Омск-77, пр. Мира, 55-А, (3812)647787,
skydank97@icloud.com

Дифференцированный контроль знаний по физике в системе СПО

А. А. Антонов

Научный руководитель: д.п.н., доц. М. П. Ланкина

Аннотация. В статье описываются поисковый и формирующий этапы дидактического эксперимента по исследованию влияния дифференцированного контроля знаний на уровень учебной мотивации студентов СПО. Сформулированы критерии оценки и выявлены уровни учебной мотивации студентов контрольных и экспериментальных групп. Разработаны дифференцированные по сложности задания. Доказано, что дифференцированный контроль знаний приводит к повышению учебной мотивации студентов.

Ключевые слова: учебная мотивация, дифференцированный контроль знаний.

Успешность человека, как и его мировоззрение, во многом зависит от качества его образования. Тем не менее, год за годом наблюдается снижение уровня знаний и умений обучающихся. Причиной такой тенденции в первую очередь является низкий и продолжающийся уменьшаться уровень учебной мотивации студентов. Молодых людей не привлекают ни обучение, ни знания. Мотивация учения в таком случае имеет внешний, формальный характер. Студентов в таком случае интересует только получение оценки, зачета, диплома или стипендии, либо же получение чьего-то одобрения, избегания порицания. Данное исследование ставит перед собой цель разработки методических средств повышения учебной мотивации студентов.

Педагогика трактует понятие мотивации как общее название для процессов, методов и средств побуждения учащихся к продуктивной познавательной деятельности, активному освоению содержания образования [2]. В своем исследовании мы придерживаемся именно этого определения понятия учебной мотивации.

По результатам проведенного среди студентов первого курса СПО анкетирования, основными мотивами обучения выступают социальные и коммуникативные.

Мотивы учения, в свою очередь, подразделяются на внешние и внутренние. Внешние мотивы исходят от общества, т.е. родителей, преподавателя, учебного заведения. Такие мотивы нередко носят принуждающий характер, из-за чего встречаются внутреннее сопротивление. Внутренние же мотивы учения находятся в самом обучаемом и имеют решающее значение [3]. Таким образом, важной задачей педагогики становится превратить изначально внешний мотив в наиболее важный – внутренний.

Способом повышения учебной мотивации студентов в этом исследовании является дифференцированный контроль знаний. В общем случае, дифференциация – это учет индивидуальных особенностей учащихся в той форме, когда учащиеся группируются на основании каких-либо особенностей для отдельного обучения. Обычно обучение в этом случае происходит по несколько различным планам и учебным программам [3]. Дифференцированный контроль знаний является частью дифференциации обучения. Для проведения такого вида контроля нами были разработаны задания по физике, дифференцированные по трем уровням сложности. Каждый уровень сложности подразумевает максимальную оценку, которую можно получить за полное выполнение работы. Уровень сложности студенты выбирают самостоятельно, исходя из своих знаний и желаемой оценки. Первым этапом дидактического эксперимента был дифференцированный по уровням сложности коллоквиум для студентов младших курсов физического факультета университета имени Ф.М. Достоевского. Подробные результаты этого этапа эксперимента опубликованы в статье [1].

Вторым, формирующим этапом был дифференцированный по уровням сложности контроль знаний студентов младших курсов Омского колледжа транспортного строительства. Для проведения формирующего этапа эксперимента были разработаны дифференцированные задания трех уровней сложности. Пять заданий на узнавание с выбором варианта ответа соответствовали легкому уровню сложности; четыре задания на

воспроизведение части теории или выбор подходящей для решения задачи формулы – среднему уровню, и три задания, требующие решения, - для высокого уровня.

Дифференцированные задания были предложены студентам по трем темам: электричество и магнетизм; колебания и волны, волновая и квантовая оптика; атомная физика.

Дифференцированный контроль знаний ставит перед собой несколько задач:

1. Уменьшение вероятности случайного получения оценки значительно выше той, которой соответствуют знания студента.

2. Вовлечение студентов в процесс получения своей оценки: самостоятельно выбирая предполагаемую оценку, студент начинает самостоятельно нести ответственность за свой выбор.

Для проведения формирующего этапа эксперимента было отобрано восемь групп, посредством наблюдений учебной мотивации каждого студента была дана оценка по пятибалльной шкале, где:

1 балл – студент не мотивирован ни к получению знаний, ни к получению оценки. 2 балла – студент периодически мотивирован только на получение минимальной удовлетворительной оценки. Студент посещает занятия и выполняет задания нерегулярно. 3 балла – студент мотивирован только на получение минимальной удовлетворительной оценки. Студент посещает занятия, не проявляет познавательной активности и не делает больше необходимого. 4 балла – студент мотивирован на получение хороших оценок, но не заинтересован в получении знаний. Студент прилежно посещает занятия, ведет конспекты и выполняет задания, проявляет периодическую активность на занятиях. Познавательная мотивация ограничена предлагаемым материалом и направлена на получение желаемой оценки. 5 баллов – студент мотивирован на получение знаний. Он прилежно посещает занятия, ведет конспекты, выполняет задания и активно включен в работу на занятии, интересуется изучаемым материалом и сверх него, задает дополнительные вопросы.

Определив численное значение мотивации для каждого студента, мы рассчитали среднее значение мотивации для каждой

из восьми групп, после чего они были разбиты на экспериментальные и контрольные.

После проведения формирующего этапа эксперимента учебная мотивация студентов была повторно оценена. Расчет статистической разницы между распределениями студентов по уровням развития учебной мотивации проводился с помощью критерия «хи-квадрат». В начале эксперимента контрольная и экспериментальная группы статистически значимо не различались. Расчет критерия «хи-квадрат» показал, что статистически значимой разницы в распределении студентов в контрольных группах до и после дидактического эксперимента нет. Однако статистически значимые различия с 95 % вероятностью были обнаружены между экспериментальной и контрольной группами после эксперимента, а также между распределениями студентов экспериментальной группы до и после эксперимента. На основании этого можно сделать вывод о повышении учебной мотивации студентов и о положительном влиянии дифференцированного контроля знаний на учебную мотивацию студентов при изучении физики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Антонов А.А., Ланкина М.П. Дифференцированный контроль знаний по физике в условиях дистанционного обучения студентов <https://omsu.ru/science/materialy-konferentsiy/2020/Методика-дисциплин-.pdf> 08.06.2021
- [2] Подласый И.П. Педагогика: 100 вопросов - 100 ответов: учеб. пособие для вузов // М.: ВЛАДОС-пресс, 2004. – 365 с.
- [3] Унт И. Э. Индивидуализация и дифференциация обучения // М.: Педагогика, 1990. – 190 с.

Антонов Александр Александрович,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
2 курс магистратуры, физический факультет,
644077, г. Омск-77, пр. Мира, 55-А, (3812)647787,
a0775a@yandex.ru

Деятельностный подход как основа достижения метапредметных результатов обучения математике в школе

Л.В. Ломакина

Научный руководитель: д.п.н., доц. М.П. Ланкина

Аннотация. В статье обсуждается путь разрешения проблемы достижения метапредметных результатов обучения математике в школе через освоение учащимися математической деятельности. Описывается поэтапная реализация деятельностного подхода к разработке уроков открытия нового знания в личной педагогической практике автора. Приводятся результаты констатирующего эксперимента – диагностики внимания, памяти, интеллекта, логических приемов мышления учащихся математического и гуманитарного классов.

Ключевые слова: деятельностный подход, метапредметные результаты обучения математике, открытие нового знания.

Не вызывает сомнения значимость изучения математики для любого человека. Математика рассматривается и как часть человеческой культуры, и как содержательно-процессуальная среда для освоения инструментов познания мира (логических, эвристических, творческих), а также для развития различных способностей и личностных качеств человека.

Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования (ФГОС ООО) [3] заявляет в качестве обязательных результатов освоения школьной образовательной программы метапредметные результаты образования – межпредметные понятия и универсальные учебные действия (познавательные, регулятивные, коммуникативные). Изучение математики дает богатые возможности достижения метапредметных результатов. Однако анализ практики обучения математике в школе позволяет выявить противоречия: между объёмом предметных образовательных задач и требованиями развивающего характера к подготовке выпускников школы; между необходимостью повышения уровня образования для адаптации выпускников в современном мире и низким уровнем познавательной активности у большинства современных выпускников; между

доминированием процесса преподавания над процессом учения и необходимостью развития у учащихся познавательных, коммуникативных, организационных, управленческих способностей. Стремление разрешить отмеченные противоречия обусловило для нас проблему, как научить школьников самостоятельно и творчески учиться, т.е. включить их в специально организованную деятельность, сделать «хозяевами» этой деятельности.

Мы видим путь разрешения указанной проблемы в проектировании методики обучения математике с позиции деятельностного подхода. Требуемые ФГОС метапредметные результаты образования составляют основное содержание математической деятельности [1,2]. Уроки математики деятельностной направленности по целеполаганию можно разделить на 4 группы: уроки открытия нового знания; уроки рефлексии; уроки общеметодологической направленности; уроки развивающего контроля.

Покажем поэтапную реализацию деятельностного подхода в педагогической практике автора – на уроках введения нового знания в 5-х-6-х классах. Урок содержит девять этапов.

Первый этап: мотивация к учебной деятельности (самоопределение). На этом этапе актуализируются требования к ученику со стороны учебной деятельности («надо»); устанавливаются тематические рамки («могу»); создаются условия для возникновения у ученика внутренней потребности включения в учебную деятельность («хочу»).

Второй этап: актуализация знаний и фиксация индивидуального затруднения в пробном действии. На данном этапе проводится фронтальное повторение материала, различные виды опросов, а в конце этапа учитель задает проблемный вопрос или дает задание, требующее открытия/усвоения новых знаний о способе или условиях выполнения. Фиксируются индивидуальные затруднения учащихся.

Третий этап: выявление места и причины затруднения, постановка проблемы в ходе диалога с учителем.

Четвертый этап: построение проекта выхода из затруднения (открытие нового знания). На данном этапе учащиеся под руководством учителя в коммуникативной форме

обдумывают проект будущих учебных действий: ставят цель (целью является устранение возникшего затруднения), согласовывают тему урока, выбирают способ, строят план достижения цели и определяют средства - алгоритмы, модели, учебник и т.д.

Пятый этап: реализация построенного проекта. Ученики действуют по плану, а учитель при необходимости направляет их с помощью наводящих вопросов, фиксируя для себя возрастание их самостоятельности от урока к уроку.

Шестой этап: первичное закрепление с проговариванием во внешней речи. На данном этапе происходит оформление в мышлении (усвоение) построенного способа действий в процессе решения типовых задач.

Седьмой этап: самостоятельная работа (выполнение заданий нового типа) с самопроверкой по эталону. В завершение проводится рефлексия усвоения нового способа.

Восьмой этап: включение нового знания в систему знаний и повторение. На данном этапе выясняется, в каких известных типах заданий может быть использовано новое знание. Учащимся предлагаются задания, в которые новый способ действий включен как промежуточный шаг.

Девятый этап: рефлексия учебной деятельности на уроке (итог урока). На данном этапе фиксируется новое содержание, изученное на уроке, проводится оценка учениками собственной учебной деятельности: соотносятся ее цель и результаты, фиксируется степень их соответствия и намечаются дальнейшие цели деятельности.

Таким образом, на уроках, построенных с позиции деятельностного подхода, у учеников формируются познавательные, регулятивные и коммуникативные универсальные учебные действия, требуемые ФГОС.

Необходимыми условиями формирования познавательных учебных действий являются развитость у учащихся внимания, памяти, интеллекта, сформированность умения выполнять логические действия (устанавливать отношения и осуществлять операции с понятиями, выполнять умозаключения различных видов). Поэтому для организации математической деятельности учащихся в классах разных профилей автором была проведена

диагностика уровня сформированности перечисленных качеств в 6-х математическом и гуманитарном классах гимназии № 123 им. О.И. Охрименко.

Результаты показали, что ученики математического класса решают задачи быстрее учеников гуманитарного класса, но делают ошибки в легких заданиях. У учащихся математического класса выше уровень развития внимания и интеллектуального потенциала. Уровень развитости памяти оказался примерно одинаковым. С учетом полученных результатов проектируется методика обучения математике в математическом и гуманитарном классах с позиции деятельностного подхода.

ЛИТЕРАТУРА

[1] *Епишева О.Б.* Технология обучения математике на основе деятельностного подхода: Кн. для учителя // М.: Просвещение, 2003. 223 с.

[2] *Петерсон Л.Г.* Формирование и диагностика метапредметных результатов ФГОС в системе непрерывного образования ДО - НОО – ООО / Л.Г. Петерсон, М.А. Кубышева, М.В. Рогатова, Л.Э. Абдуллина, О.Б. Епишева // Муниципальное образование: инновации и эксперимент. 2016. № 1. С. 6–11.

[3] Приказ Минобрнауки РФ от 17.12.2010 г. № 1897.Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования(в ред. Приказа Минобрнауки России от 29.12.2014 № 1644) <https://fgos.ru/>

Ломакина Лариса Викторовна,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
2 курс магистратуры, физический факультет,
644077, г. Омск-77, пр. Мира, 55-А, (3812)647787,
lomakina_lv68@mail.ru

Развитие памяти студентов младших курсов в процессе обучения физике

О. Б. Петрова

Научный руководитель: д. п. н., доцент М.П. Ланкина

Аннотация. Научная статья посвящена исследованию памяти студентов младших курсов и возможностям её развития в учебном процессе. Проведено изучение развития разных видов памяти на материале общего характера у студентов первого курса ФФ до и после внедрения разработанных материалов в процесс обучения физике, предназначенных для развития памяти учащихся.

Ключевые слова: память, учащиеся, студенты, физика.

В учебной работе память играет особую роль, так как в процессе обучения учащиеся должны усваивать и прочно запоминать большое количество разнообразного материала. Поэтому педагогически важно развивать у учащихся хорошую память для успешного усвоения полученной информации.

Педагогическая практика показывает, что многие студенты не имеют достаточного уровня развития разных видов памяти для успешного усвоения учебного материала по физике. Тогда возникает идея: выяснить, как можно повлиять на развитие памяти студентов, не выходя за рамки учебного процесса.

Базой для проведения эмпирического исследования являлся ФГБОУ ВО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского».

Цель исследования: выявить средства и приёмы развития памяти для успешного усвоения учебного материала в процессе обучения.

Гипотеза: с внедрением в учебный процесс материалов для развития памяти в процессе обучения физике на предметном материале показатели развития разных видов памяти у студентов первого курса улучшатся.

Проведя контент-анализ психолого-педагогической и методической литературы, мы остановили свой выбор на следующих методиках диагностики развития разных видов памяти, построенных на материале общего характера:

1. Тест «Цезарь» - для диагностики объема оперативной памяти [3,4].
2. Методика «10 слов» - для изучения слуховой и зрительной памяти [1].
3. Методика «Пары слов» - для определения, какой из видов памяти развит лучше – логическая или механическая [5].
4. Методика для определения объема смысловой памяти [2].

Изучив учебный материал по общему курсу физики для университета, мы разработали методические приемы и средства обучения физике, ориентированные на развитие памяти студентов:

1. Задания по лекционному материалу «Закон Джоуля. Уравнение Майера» и «Процессы в идеальных газах», «Первое начало термодинамики» (небольшое тестирование в конце лекции по прослушанному материалу).
2. Интеллект-карты «Первое начало термодинамики», «Второе начало термодинамики», «Вероятность», «Распределения» (в качестве подготовки к коллоквиумам совместно со студентами составляли интеллект-карты на практических занятиях).
3. Типы задач и алгоритмы решения по темам «Уравнение состояния идеального газа» и «Второе начало термодинамики», «Основы МКТ» и «Статистические распределения» (в качестве подготовки к контрольным работам со студентами анализировали алгоритмы решения задач определённых типов).

Обработав и проанализировав начальные показатели развития разных видов памяти во всех группах, определили контрольную группу (КГ) и экспериментальную (ЭГ).

После внедрения разработанного материала мы получили результаты контрольных работ, коллоквиумов и предварительные оценки за семестр по физике, поставленные ведущим преподавателем (М.П. Ланкиной) для обеих групп.

Проведя анализ результатов контрольных работ, можем сказать, что оценки КГ и ЭГ статистически значимо не отличаются. Студенты ЭГ сдали коллоквиумы преимущественно на «хорошо» и «отлично» и у них отсутствуют

неудовлетворительные отметки, в отличие от КГ. В ЭГ с помощью оценки сдвига методом G-критерия знаков обнаружен статистически достоверный положительный сдвиг, в КГ сдвиг нельзя считать достоверным.

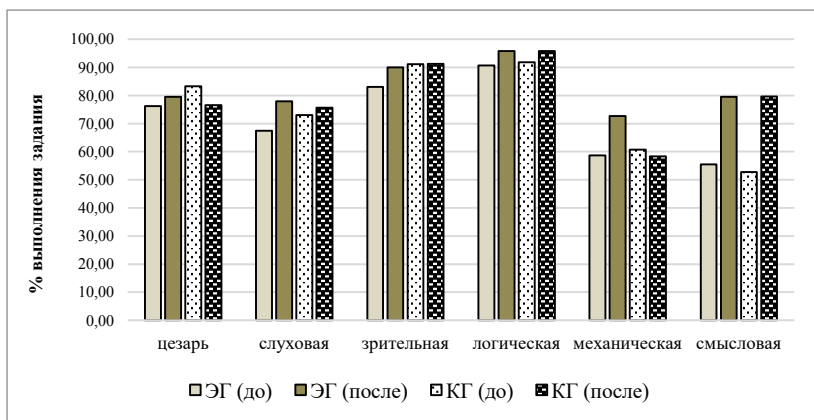


Рисунок 1 – Результаты тестирования разных видов памяти студентов первого курса ФФ в экспериментальной (ЭГ) и контрольных (КГ) группах до и после внедрения материалов, направленных на развитие памяти в процессе обучения физике

На рис. 1 мы можем наблюдать динамику результатов тестирования развития разных видов памяти в обеих группах: положительную в ЭГ и её отсутствие в КГ.

Таким образом, учитывая, что ЭГ в начале семестра была слабее КГ как по итоговым отметкам за предыдущий семестр, так и по результатам исследования развития памяти, а в конце семестра показатели или сравнялась с КГ, или превосходят её показатели, можем сделать вывод об эффективности разработанных методик, направленных на развитие памяти в учебном процессе.

Студенты ЭГ также отметили положительное влияние разработанных материалов для систематизации знаний в период подготовки к контролю знаний в университете.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лурия А.Р. Заучивание 10 слов // Альманах психологических тестов. М., 1995. С. 92–94.
- [2] Методика определения кратковременной памяти // Альманах психологических тестов. 1995. 88 с.
- [3] Форма А тест «Цезарь» [Электронный ресурс] / А. Я. Психология (azps.ru): [web-сайт]. 05.06.2021. – Режим доступа: http://azps.ru/tests/kit/caesar_a.html.
- [4] Форма Б тест «Цезарь» [Электронный ресурс] / А. Я. Психология (azps.ru) : [web-сайт]. 05.06.2021. – Режим доступа: http://azps.ru/tests/kit/caesar_b.html.
- [5] Форма А тест «Продуктивность запоминания» [Электронный ресурс] / DOCPLAYER (docplayer.ru): [web-сайт]. 08.06.2021. Режим доступа: <https://docplayer.ru/35245345-Test-dolgovremennaya-pamyat.html>

Петрова Ольга Борисовна,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
2 курс магистратуры, физический факультет,
644077, г. Омск-77, пр. Мира 55-А, (3812)647787,
petrovaolga6396@gmail.com

Формирование мотивации учебной деятельности студентов СПО средствами контекстного обучения физике

Е. Ю. Ткаченко

Научный руководитель: д.п.н., доц. М. П. Ланкина

Аннотация. В статье описывается опыт применения технологии контекстного обучения физике учащихся СПО с целью формирования мотивации учебной деятельности. Приводятся результаты констатирующего и поискового этапов дидактического эксперимента, в ходе которого произошло повышение значимости для студентов профессиональных, учебно-познавательных мотивов и мотивов творческой самореализации, а также произошло качественное изменение внешней мотивации на внутреннюю.

Ключевые слова: учебная мотивация, внутренняя мотивация, внешняя мотивация, контекстное обучение физике.

Анализ теории и практики обучения физике показывает, что мотивация учебной деятельности студентов в большинстве случаев недостаточна для освоения программ среднего профессионального образования (СПО). Поэтому проблема развития мотивации познавательной деятельности студентов остается актуальной.

Под мотивацией понимается совокупность факторов и процессов, которые побуждают и направляют личность к изучению будущей профессиональной деятельности [4]. В педагогической психологии учебную мотивацию принято считать частным видом мотивации, включенным в процесс обучения. Учебная мотивация определяется как совокупность различных побудителей к учебной деятельности, среди которых есть и относительно более простые (рефлексы, установки, нужды), и более сложные – потребности, мотивы, цели и т.п. Учебная мотивация – важнейший компонент структуры учебной деятельности, наряду с учебной задачей, учебными действиями, а также контролем и оценкой [1].

Одной из возможных педагогических технологий реализации компетентностного подхода в образовании выступает контекстное обучение (А.А. Вербицкий).

Технология контекстного обучения (ТКО) состоит из трех базовых форм деятельности: учебная деятельность с ведущей ролью лекций и семинаров; квазипрофессиональная, воплощающаяся в играх, спецкурсах, спецсеминарах; учебно-профессиональная (НИРС, производственная практика, реальное дипломное и курсовое проектирование) [3].

Нами была проведена экспериментальная работа по исследованию влияния использования контекстного обучения физике на развитие мотивации студентов СПО. Эксперимент состоял из двух этапов: констатирующего и поискового. Выборку исследования составили: 40 студентов СПО в двух группах - экспериментальной и контрольной (по 20 человек в каждой).

На констатирующем этапе проводилась диагностика начального уровня учебной мотивации студентов, использовались две методики: методика для диагностики учебной мотивации студентов А.А. Реана и В.А. Якунина, модификация Н.Ц. Бадмаевой [5] и методика диагностики направленности учебной мотивации Т.Д. Дубовицкой [4].

Результаты диагностики учебной мотивации студентов (А.А. Реан и В.А. Якунин, модификация Н.Ц. Бадмаева) в обеих группах практически совпадают. При этом преобладающими мотивами в обучении физике у студентов СПО являются коммуникативные и социальные. Следующими по значимости у студентов СПО идут мотивы избегания неудачи плохих оценок и профессиональные мотивы. Учебно-познавательные мотивы, мотивы творческой самореализации и престижа являются для студентов СПО наименее значимыми в процессе изучения физики.

Результаты диагностики направленности учебной мотивации по методике Т.Д. Дубовицкой подтверждают результаты, полученные по первой методике, что выражается в низком уровне сформированности внутренней мотивации в обеих группах.

Для целей поискового этапа эксперимента были использованы материалы программы «Контекстное обучение на уроках физики» Ваниной Н.В. [2]. В процессе реализации контекстного обучения на уроках физики в рамках поискового этапа эксперимента были использованы различные приемы и

методы обучения: сюжетно-ролевые игры; решение задач с техническим содержанием; изучение и закрепление материала по физике, связанное с устройством автомобиля; внеурочные занятия по элективному курсу «Физика и автомобиль».

На поисковом этапе эксперимента диагностика учебной мотивации студентов по методике А.А. Реана и В.А. Якунина, модификация Н.Ц. Бадмаевой показала следующее. Уровень значимости каждой из критериальных шкал вырос в экспериментальной группе в сравнении с контрольной группой. Причем у учащихся экспериментальной группы изменились преобладающие мотивы учебной деятельности. У учащихся контрольной группы видимые изменения явились незначительными.

У учащихся экспериментальной группы в результате реализации мероприятий Программы контекстного обучения в процессе изучения физики на первый план вышли профессиональные и учебно-познавательные мотивы. Также в число преобладающих попали мотивы творческой самореализации. Важными для учащихся остались коммуникативные мотивы, мотивы престижа и социальные мотивы. Мотивы избегания стали для учащихся наименее значимыми в организации собственной учебной деятельности.

В контрольной группе на поисковом этапе исследований значительных изменений в мотивации учебной деятельности не произошло. Наиболее значимыми остались социальные мотивы и мотивы избегания. Также важными мотивирующими факторами для студентов контрольной группы остались внешние стимулы в виде коммуникативных контактов и мотивы престижа, а также профессиональные мотивы. Наименее значимыми для студентов контрольной группы остались учебно-познавательные мотивы и мотивы творческой самореализации.

Результаты диагностики по методике Т.Д. Дубовицкой на поисковом этапе показывают, что уровень внутренней мотивации у студентов экспериментальной группы значительно вырос. В контрольной группе статистически значимого повышения уровня внутренней мотивации не произошло. Обработка результатов диагностики проводилась с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты экспериментальной работы показали, что контекстное обучение является эффективным для формирования и развития учебной мотивации студентов СПО в процессе изучения физики. Так, учебная мотивация в экспериментальной группе получила не только уровневый «скачок», но и изменила свои качественные характеристики, что выразилось в изменении ее направленности с внешних стимулов на внутренние детерминанты.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Бахтина И.А.* Мотивация учебной деятельности студентов ССУЗ Текст. / И.А. Бахтина // Дис. канд. психол. наук. Казань, 1997. - 180 с.
- [2] *Ванина Н.В.* Программа Контекстного обучения физике / Н.В. Ванина. ОГБПОУ «Кораблинский агротехнологический техникум» [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://intolimp.org/publication/kontiektstnoie-obuchieniie-na-urokakh-fiziki.html>
- [3] *Вербицкий А.А.* Активное обучение в высшей школе: контекстный подход // М. :Владос, 1991. – 328 с.
- [4] *Дубовицкая Т.Д.* Методика диагностики направленности учебной мотивации / Т.Д. Дубовицкая // Психологическая наука и образование. - 2002. - Том 7. - № 2. - С. 42–45.
- [5] Реан А.А. и Якунин В.А. Методика для диагностики учебной мотивации студентов (модификация Н.Ц. Бадмаевой) / Бадмаева Н.Ц. // Влияние мотивационного фактора на развитие умственных способностей: Монография. – Улан-Удэ, 2004. - С.151–154.

Ткаченко Екатерина Юрьевна,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
2 курс магистратуры, физический факультет,
644077, г. Омск-77, пр. Мира, 55-А, (3812)647787,
katarina1234-14@mail.ru