

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КЕМЕРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (КемГУ)

**Фундаментальные и прикладные исследования
в физике, химии, математике и информатике**

Материалы симпозиума XX (LII) Международной научной
конференции студентов, аспирантов и молодых ученых
«Образование, наука, инновации: вклад молодых
исследователей», посвященной 80-й годовщине
Победы в Великой Отечественной войне
(24 апреля 2025)

Выпуск 26

Издатель:
Кемеровский государственный университет

© Авторы научных статей, 2025
© Кемеровский государственный
университет, 2025
ISBN 978-5-8353-3382-0

Об издании: [1](#), [2](#), [3](#)

Кемерово 2025

ББК 22+24+73(2Рос-4Кем)73я431

УДК 51+53+54+51+004

Ф 94

*Издается по решению Научно-технического совета
Кемеровского государственного университета*

Редакционная коллегия:

Смоленцев Н.К. – профессор кафедры фундаментальной математики;

Каленский А.В. – зав. кафедрой химии твердого тела и химического
материаловедения;

Лузгарев С.В. – зав. кафедрой фундаментальной и прикладной химии;

Севостьянов О.Г. – доцент кафедры общей и экспериментальной физики

Ф 94 Фундаментальные и прикладные исследования в физике, химии, математике и информатике: материалы симпозиума XX (LII) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей», посвященной 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне / под общей редакцией А. А. Звекова; Кемеровский государственный университет. – Электрон. дан. (объем 4,3 Мб). – Кемерово, 2025. – Вып. 26. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel Pentium (или аналогичный процессор других производителей), 1,2 ГГц; 512 Мб оперативной памяти; видеокарта SVGA, 1280x1024 High Color (32 bit); 5 Мб свободного дискового пространства; операц. система Windows XP и выше; Adobe Reader. – Загл. с титульного экрана. – Текст: электронный. ISBN 978-5-8353-3382-0

В сборнике представлены труды студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ.

Работы посвящены актуальным вопросам в области физико-математических и химических наук.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов, студентов вузов, а также учащихся средних учебных заведений.

*Все права защищены. Никакая часть
данной книги не может быть
воспроизведена в какой бы то ни было
форме без письменного разрешения
владельцев авторских прав.*

УДК 51+53+54+51+004 ББК
22+24+73(2Рос-4Кем)73я431

ISBN 978-5-8353-3382-0

© Авторы научных статей, 2025

© Кемеровский государственный
университет, 2025

Об издании: [2](#), [3](#).

[Содержание](#)

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования:

Компьютер: Intel Pentium (или аналогичный процессор других производителей), 1,2 ГГц; ОЗУ 512 Мб; 5 Мб на жестком диске; видеокарта SVGA, 1280x1024 High Color (32 bit); привод CDRом.

Операционная система: Windows XP и выше.

Программное обеспечение: Adobe Reader.

© Авторы научных статей, 2025
© Кемеровский государственный университет, 2025

Об издании: [1](#), [3](#).

[Содержание](#)

Содержание

ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ТЕОРИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ

<u>Гвоздикова Е.В.</u> Кристаллическая структура гидратов нитратов стронция и бария под давлением	7
<u>Кондеров Д.Д.</u> Численное моделирование двумерного волнового уравнения и уравнения теплопроводности методом конечных разностей на языке JULIA	11
<u>Бабкин М.В.</u> Моделирование разрушения графена при ударе сферическим снарядом	15
<u>Молев Д.А.</u> Проблема популяризации физики	19
<u>Зайцева П.В.</u> Мультимедийные технологии в физике	22
<u>Готовцева Е.О.</u> Виртуальные лабораторные работы по физике	25
<u>Кирилов А.А.</u> Проектная деятельность по физике с учащимися основной школы	28
<u>Сабитова Т.А.</u> Ментальные карты на учебных занятиях по физике как средство систематизации и усвоения материала учащимися	31
<u>Горбунова Е.С.</u> Организация исследовательской деятельности учащихся по теме «Взаимодействие света с веществом»	33
<u>Балокина Е.А.</u> Методика организации учебной работы школьников при проведении лабораторных экспериментов по механике	37
<u>Воробьева К.В.</u> Оптические инструменты направленной структурной организации материи живой и неживой природы. Основные физические принципы	39
<u>Гвоздикова Е.В.</u> Интеллектуальный анализ и адаптация учебного контента по теме: «когерентность. Интерференция света» с использованием ИИ: GIGA CHAT, DEEPSEEK и CHAT GPT	41
<u>Юнашевский Д.В.</u> Использование искусственного интеллекта при разработке олимпиадных заданий по физике	44

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ

<u>Никитина А.А.</u> Инкапсуляция цинка (II) и пиридин-2-карбоновой кислоты в сульфированном сополимере стирола с дивинилбензолом	47
<u>Шехольцева Д.А., Вершинина А.И., Гордая О.Р.</u> Вольтамперометрическое определение свинца и кадмия с использованием сенсоров из сеток углеродных нанотрубок	51
<u>Громышева Я.С., Лузгарев А.С., Шевелева Ю.А.</u> Исследование продуктов фотохимического окисления допированного высокомолекулярного каучука СКТ методом ИК-спектроскопии	55
<u>Свалова А.А., Вершинина А.И., Рыбаков М.С.</u> Вольтамперометрическое определение фенола с использованием волоконных сенсоров из углеродных нанотрубок	58
<u>Вяткин А.В.</u> Разработка журнала для лабораторных работ по дисциплине "Общая химия"	61
<u>Любимова С.П., Борисова Н.Н., Костюнин А.Е.</u> Получение электроспиннинговых матриц на основе поливинилового спирта, стабилизированных термообработкой и сшивкой глутаровым альдегидом	64
<u>Шлома Е.А.</u> Исследование наноразмерных систем меди и хрома в процессе термического воздействия при 523 К	67

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<u>Захарова К.Е. Энергетический критерий откола при гидратации шарообразного твердого тела</u>	71
<u>Брызгалов А.В., Манагаров Д.В., Гарифуллин Г.В. Анализ осциллограмм свечения угля марки Б при импульсном лазерном воздействии</u>	74
<u>Ломако Д.Ю., Родина М.А. Получение системы «металлическое ядро-оболочка» Co-Pd</u>	77
<u>Кигитович А.Ю. Синтез и оптические свойства наносфер золота</u>	79
<u>Кречетова М.А. Исследование влияния компонентного состава ненасыщенной полиэфирной смолы на ее технологические свойства</u>	81
<u>Кудрявцев Н.Я. Кинетические закономерности восстановления резазурина в резорурфин</u>	85
<u>Латыпов К.С., Латыпова Ю.Д. О методике управления реакционной способностью энергонасыщенных материалов</u>	89
<u>Садыкова Л.Р., Ротанова А.С. Изучение процесса кристаллизации кубоктаэдрического нанокластера Fe-Pt фазой L1₀ экваторного состава, размера 2,3 нм</u>	93
<u>Качурин В.А., Иванов А.В., Акинина В.А. Получение и исследование феррита цинка</u>	95
<u>Качурин В. А., Акинина В.С., Иванов А. В. Применение феррита цинка в качестве катализатора озонлиза</u>	97
<u>Корниенко Ю. М. Механизм реакции между гидроксиламмонием и нитритом</u>	100
<u>Бокунцова Э. А. Окисление адреналина в присутствии галловой кислоты</u>	103
<u>Новиков М.С. Получение электродных нанокомпозитов состава пористая углеродная матрица – оксид металла методом терморазложения соединений переходных металлов</u>	106

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА. МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

<u>Соколова А.Ю. Однородные пространства некоторых неразрешимых несимплектических групп Ли</u>	108
<u>Александровский И.Д., Хетеева Э.Э. Взаимозависимость скоростных и гемодинамических характеристик кровотока в патологически извитых внутренних сонных артериях.</u>	113
<u>Алексеева Л.А. Оптимизация процесса подготовки к олимпиадам по математике учащихся 7-8 классов через адаптацию методики Хазанкина</u>	117
<u>Альтман Л.В., Потапенко М.В. Активизация учебной деятельности на занятиях онлайн курса и в использовании электронного учебника в курсе алгебры.</u>	120
<u>Антропов Д.Р. Современные интернет-инструменты для дистанционного обучения в ВУЗе</u>	122
<u>Антропова М.А. Организация дистанционного обучения на уроках математики в средней школе</u>	125
<u>Волкова А.А. Исследование вероятностными методами процесса гидротермального сжижения биомасс при получении биотоплива</u>	128
<u>Гортэ Д.Д., Стафорова А.А. ИКТ-компетенция как инструмент</u>	132

<u>достижения метапредметных результатов на уроках математики</u>	
<u>Григорьева А.Е. Построение дискретной модели дифференцирующего звена методом Смита</u>	136
<u>Крестьяне М.В. Составление дифференцированных заданий по разделам стереометрии «Многогранники. Тела вращения».</u>	139
<u>Куницын М.Е. Разработка учебно-методического пособия «Элементы высшей математики в прикладных задачах» для студентов 1 курса математических направлений КемГУ</u>	143
<u>Матинина Ю.В. Построение и корректировка геометрической формы моделей сосудов на основании данных компьютерной ангиографии</u>	146
<u>Сергеев В.С. Обеспечение безопасности информационной системы оперативного мониторинга хода приёмной кампании КемГУ.</u>	149
<u>Цедрик С.В. Реализация алгоритма Хаффмана на языке PYTHON</u>	154
<u>Плохих Е.С. Курс по выбору «правильный пятиугольник в геометрии, декоре и архитектуре» для учащихся 8 классов</u>	157
<u>Поздеева А.А., Назарова А.Д. Формирование познавательных действий учащихся при подготовке к олимпиадам и урокам геометрии</u>	160
<u>Чернова К.В. Симплектические однородные пространства шестимерных нильпотентных несимплектических групп Ли</u>	163

ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА, ТЕОРИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ

УДК 538.911; 159.938.362.62

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ГИДРАТОВ НИТРАТОВ СТРОНЦИЯ И БАРИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Гвоздикова Е.В.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Ekaterinagvozdikova3@yandex.ru

Аннотация: Методом компьютерного моделирования с помощью программного пакета CRYTAL с использованием линейной комбинации атомных орбиталей и обменно-корреляционных функционалов в формах PBE0, PBE-D3 и PBEsol0 были изучены свойства кристаллической решетки гидратов нитратов стронция, бария $A_2(NO_3)(OH)_3$ ($A=Sr, Ba$) под давлением. Функционал PBE0 является гибридной версией функционала PBE с 25% обменом по Хартри-Фоку. PBEsol0 – это оптимизированный и адаптированный функционал для твердых тел на основе градиентного PBEsol. PBE-D3 имеет дисперсионную поправку, которая оказывает значительный результат на кристаллическую структуру. В работе исследуются кристаллы гидратов нитратов стронция, бария $A_2(NO_3)(OH)_3$ ($A=Sr, Ba$), относящиеся к классу $R\bar{6}2m$ пространственной группой симметрии. Для оценки давления используется уравнение состояния Берча-Мурнагана третьего порядка. Параметрами которого являются: E_0 – полная энергия, V_0 – равновесный объем, $B_0 = -V(\partial P/\partial V)_T$ – изотермический модуль объемного сжатия и $B_1 = (\partial B/\partial P)_T$ – первая производная по давлению. В результате получены значения для $Sr_2NO_3(OH)_3$: $E_0 = -568.51798$, $V_0 = 135.76$, $B_0 = 62.83$, $B_1 = 4.59$, для $Ba_2NO_3(OH)_3$: $E_0 = -558.19903$, $V_0 = 158.78$, $B_0 = 54.23$, $B_1 = 4.23$. Показаны зависимости как параметры кристаллической решетки a и c изменяются неравномерно, что указывает на анизотропию вещества. Получены межатомные расстояния и их зависимости от давления. Расстояния N-O слабо изменяются, H-O практически остаются неизменными, а Sr-O и Ba-O изменены сильно.

Ключевые слова: расчеты *ab initio*, кристаллическая структура, гексагональные кристаллы, теория функционала плотности, давление.

Введение. Соединения $A_2(NO_3)(OH)_3$ ($A=Sr, Ba$) являются перспективными фотоматериалами с откликом нелинейно-оптических свойств (NLO), обладают широким ИК-диапазоном прозрачности и большими нелинейно-оптическими коэффициентами. В работе [1] исследована структура кристаллических объектов и коэффициента пропорциональности интенсивности изучения второй гармоники (SHG). Для NLO материалов важно их поведение во внешних условиях, в том числе под давлением. Таких исследований для соединений гидратов нитратов нет. Целью настоящей работы является проведение теоретического расчета параметров кристаллической решетки под давлением.

Метод. Расчет был произведен с помощью метода теории функционала плотности (DFT), с использованием прикладного пакета CRYSTAL [2]. В работе использовался базис [3] и [4]. В качестве приближения теории функционала плотности (DFT) были использованы функционалы PBE0, PBE-D3 и PBEsol0. Точность самосогласования по энергии была установлена не менее 10^{-9} а.е. в расчете использовалась сетка $6 \times 6 \text{ k}$ - точек из неприводимой части зоны Бриллюэна. Для исследования кристаллической решетки применялось уравнение состояния Берча-Мурнагана третьего порядка:

$$E(V) = E_0 + \frac{9V_0B_0}{16} ((x^{-2} - 1)^3B_1 + (x^{-2} - 1)^2(6 - 4x^{-2})), \quad x = (V/V_0)^{1/3}$$

Результаты. Путем оптимизации геометрии кристаллической решетки были исследованы параметры постоянные a , c и объем элементарной ячейки V , расстояния между атомами A-O₁, A-O₂, N-O, H-O₂. Для $Ba_2NO_3(OH)_3$ результаты: $a = 6.906$, $c = 3.803$, $V = 158.769$, Ba-O₁ = 2.9740 Å, Ba-O₂ = 2.7862 Å, N-O₁ = 1.2753 Å, H-O₂ = 0.9852 Å.

Полученные данные хорошо согласуются с экспериментальными данными в работе [1]. Для $\text{Sr}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$: $a = 6.615$, $c = 3.583$, $V = 135.770$, $\text{Sr-O}_1 = 2.790$ Å, $\text{Sr-O}_2 = 2.634$ Å, $\text{N-O}_1 = 1.273$ Å, $\text{N-O}_2 = 0.980$ Å, это экспериментально соответствует данным в работе [5], что говорит от точности метода.

В изучении вопроса кристаллической решетки под давление приближениями PBE0 и PBEsol0 для кристалла $\text{Sr}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$ полученные значения близки. Это указывает на высокую точность и хорошее согласование между функционалами. Для $\text{Ba}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$ метод PBEsol0 занижил результаты в значениях и объема, однако параметры модуля изотермического сжатия и первой производной от объемного модуля по давлению больше, чем в других методах. Полученные значения параметров уравнения состояния в форме Берча-Мурнагана третьего порядка показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры уравнения состояния в форме Берча-Мурнагана третьего порядка (EOS) $A_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ ($A=\text{Sr}, \text{Ba}$), (E_0 – полная энергия (а.е.), V_0 – объем элементарной ячейки (Å³), B_0 – объемный модуль упругости (GPa), B_1 – первая производная от объемного модуля по давлению

Crystal	E_0	V_0	B_0	B_1
PBE0				
$\text{Sr}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$	-568.43748	135.95	62.13	4.71
$\text{Ba}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$	-558.08443	160.01	53.27	4.36
PBE-D3				
$\text{Sr}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$	-568.51798	135.76	62.83	4.59
$\text{Ba}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$	-558.19903	158.78	54.23	4.23
PBEsol0				
$\text{Sr}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$	-568.47773	135.85	62.48	4.64
$\text{Ba}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$	-556.85401	154.08	58.36	4.43

Рассмотрены зависимости энергии от объема для $A_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ ($A=\text{Sr}, \text{Ba}$). На рисунке 1 приведены зависимости иллюстрирующие влияние параметров энергии на объем для $A_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ ($A=\text{Sr}, \text{Ba}$). Графики показывают, как энергия системы изменяется в зависимости от объема для структур. В зависимостях присутствует точка, где энергия достигает минимального значения. Для $\text{Sr}_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ это значение соответствует -568.51 а.е., для $\text{Ba}_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ равно -558.19 а.е. полученные результаты близки, что соответствует стабильной кристаллической структуре каждого соединения.

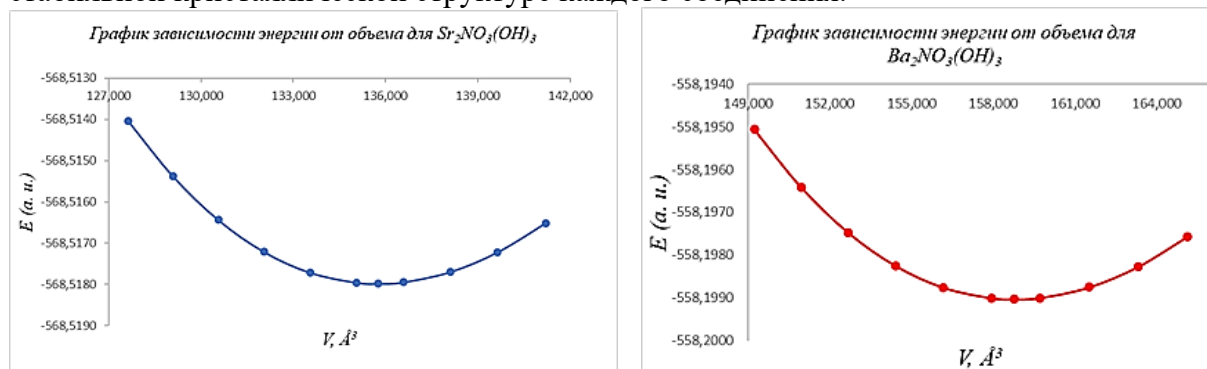


Рисунок 1. График зависимости энергии от объема для $A_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ ($A=\text{Sr}, \text{Ba}$)

Исследуя зависимости давления от объема можно сказать, что происходит уменьшение давления при увеличении объема. Объем увеличивается с 132.72 Å³ до 160 Å³, что составляет 17.05% для $\text{Ba}_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ и для $\text{Sr}_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ объем увеличивается с 115 Å³ до 136 Å³, что соответствует 15.15%. Для гидрата нитрата стронция давление уменьшается быстрее, чем для гидрата нитрата бария. Это обосновывается химической особенностью строения веществ. Графики давления от объема показаны на рисунке 2.

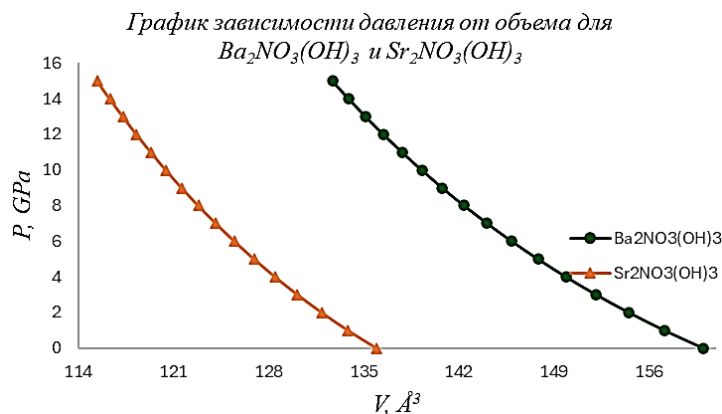


Рисунок 2. Графики зависимостей давления от объема для $A_2(NO_3)(OH)_3$ ($A=\text{Sr}, \text{Ba}$)

Полученная зависимость параметров межатомных расстояний $\text{Ba}-\text{O}_1$ и $\text{Sr}-\text{O}_1$ функционалами PBE0 и PBE-D3, показывает, что кристалл $\text{Sr}_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ быстрее сжимается при увеличении давления, чем $\text{Ba}_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$. Разница в выборе функционалов незначительна. Зависимость проиллюстрирована на рисунке 3.

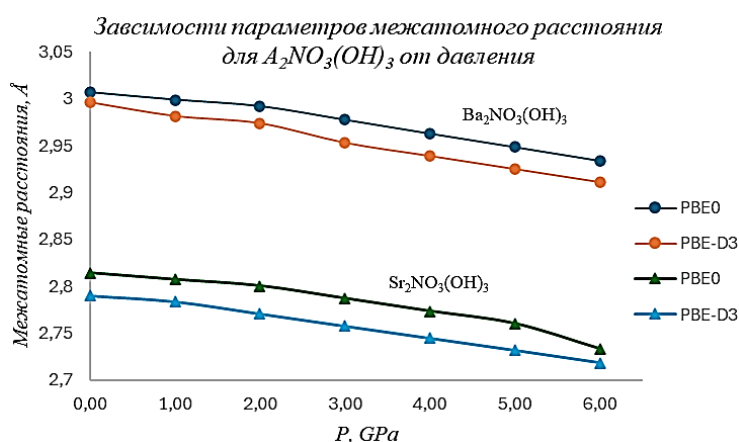


Рисунок 3. Графики зависимостей межатомного расстояния $\text{Ba}-\text{O}_1$ и $\text{Sr}-\text{O}_1$ от давления для $A_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ ($A=\text{Sr}, \text{Ba}$) методами PBE0 и PBE-D3

Заключение. В результате исследования структурных параметров кристаллов $A_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ ($A=\text{Sr}, \text{Ba}$) установлено, что теоретические значения хорошо согласуются с экспериментальными данными, что свидетельствует о точности вычисления. Анализ зависимостей энергии от объема подтверждает стабильность гидратов нитратов стронция, бария. Увеличение объема на 15-17% соответствует уменьшению давления, причем для $\text{Sr}_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ этот процесс протекает быстрее и он более чувствителен к сжатию. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования свойств при термодинамической стабильности.

Литература и источники

1. Dong X., Huang L., Liu Q., Zeng H., Lin Z., Xu D., & Zou G. Perfect balance harmony in $\text{Ba}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$: a beryllium-free nitrate as a UV nonlinear optical material // Chemical Communications, 54(45), 5792–5795, 2018.
2. Dovesi R., Saunders V. R., Roetti C., Orlando R., Zicovich-Wilson C. M., Pascale F., Civalleri B., Doll K., Harrison N. M., Bush I. J., D'Arco P., Llunell M., Causà M., Noël Y., Maschio L., Erba A., Rerat M., Casassa S. CRYSTAL17 User's Manual. University of Torino: Torino, 2017.
3. Laun J., Bredow T. BSSE-corrected consistent Gaussian basis sets of triple-zeta valence with polarization quality of the sixth period for solid-state calculation s// Journal of Computational Chemistry, 42(15), 1064–1072, 2021.
4. Laun J., Bredow T., Comput. J. BSSE-corrected consistent Gaussian basis sets of triple-zeta valence with polarization quality of the fifth period for solid-state calculation// Chem., 2022.

5. Ling H., Guohong Z., Huaqiang C., Shichao W., Chensheng L. and Ning Ye.. $\text{Sr}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$: the First Nitrate as a Deep UV Nonlinear Optical Material with Large SHG Responses// Electronic Supplementary Material (ESI) for Journal of Materials Chemistry//The Royal Society of Chemistry, 2015.

Научный руководитель – Журавлев Ю.Н., д.ф-м.н, профессор (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ И УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ НА ЯЗЫКЕ JULIA

Кондеров Д.Д.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

konderov.denis@yandex.ru

Аннотация: В данной работе рассматриваются численный метод решения волнового уравнения и уравнения теплопроводности с использованием языка программирования Julia. Julia — это современный высокопроизводительный язык, специально разработанный для научных вычислений, численного моделирования и анализа данных. Он сочетает удобство написания кода с высокой скоростью выполнения, сопоставимой с языками C или Fortran. Волновое уравнение, представляющее собой гиперболическое уравнение второго порядка в частных производных, дискретизируется методом конечных разностей. Метод конечных разностей представляет собой способ аппроксимации производных с помощью разностей между значениями функции в узлах сетки, что позволяет переходить от непрерывных задач к дискретным. Для аппроксимации временной производной используется схема второго порядка с тремя временными слоями, а пространственные производные аппроксимируются через двумерный оператор Лапласа. Будущее состояние поля рассчитывается по явной схеме, обеспечивая обновление волнового процесса во времени. Реализация включает генерацию случайных возмущений (имитация падения капель дождя) и визуализацию процессов с помощью библиотеки GLMakie. Также рассматривается уравнение теплопроводности, являющееся параболическим уравнением. Для его численного решения применяется явная разностная схема: временная производная аппроксимируется методом первого порядка, а пространственные — методом второго порядка. Работа реализована в интерактивной среде Pluto.jl — современной платформе для динамической разработки, позволяющей создавать живые документы с немедленным пересчетом всех зависимостей. Работа иллюстрирует базовые принципы численного решения задач математической физики и методы визуализации динамики полей на языке программирования Julia.

Ключевые слова: уравнение теплопроводности, волновое уравнение, метод конечных разностей, Julia, дискретизация.

Волновое уравнение и его численное решение

С математической точки зрения волновое уравнение представляет собой гиперболическое дифференциальное уравнение второго порядка в частных производных[2]:

$$u_{tt} - \alpha^2 \Delta u = 0 \quad (1)$$

где $u(x, y, z)$ — физическая величина, характеризующая распространение волны α — скорость распространения волны, а Δ обозначает оператор Лапласа.

В рамках численного моделирования задача дискретизируется, а область вычислений представляется в виде сетки. Пространственная дискретизация осуществляется в двух измерениях с шагом h , а временная дискретизация предполагает использование трех последовательных временных слоев: текущего, предыдущего и следующего[1]. Обозначим три массива данных, содержащие значения поля в три последовательных момента времени, как

$$u^{(n+1)}, u^{(n)}, u^{(n-1)} \quad (2)$$

Индекс времени $n+1$ обозначает будущее, индекс n — текущее состояние, а индекс $n-1$ — предыдущее состояние поля.

Численное приближение второй производной по времени в узле сетки с координатами (i, j) вычисляется с использованием разностной схемы второго порядка[3][1]:

$$u_{tt_{i,j}}^{(n)} = \frac{u_{i,j}^{(n+1)} - 2u_{i,j}^{(n)} + u_{i,j}^{(n-1)}}{\Delta t^2} \quad (3)$$

Так как значение $u_{i,j}^{(n+1)}$ на следующем временном шаге неизвестно, его вычисление является основной задачей численного метода конечных разностей.

Для аппроксимации пространственных производных используется дискретная версия двумерного оператора Лапласа, определяемая следующим шаблоном[4]:

$$D_{i,j}^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Применение данного оператора к значению поля в узле (i, j) приводит к выражению:

$$\Delta u_{i,j}^{(n)} = \frac{u_{i-1,j}^{(n)} + u_{i+1,j}^{(n)} + u_{i,j-1}^{(n)} + u_{i,j+1}^{(n)} - 4u_{i,j}^{(n)}}{h^2} \quad (5)$$

Объединяя полученные выражения, можно определить будущие значения поля $u_{i,j}^{(n+1)}$ следующим образом:

$$u_{i,j}^{(n+1)} = \left(\frac{t\alpha}{h}\right)^2 \left(u_{i-1,j}^{(n)} + u_{i+1,j}^{(n)} + u_{i,j-1}^{(n)} + u_{i,j+1}^{(n)} - 4u_{i,j}^{(n)}\right) + 2u_{i,j}^{(n)} - u_{i,j}^{(n-1)} \quad (6)$$

Моделирование волнового уравнения на языке Julia

Полный код в формате Pluto.jl файла находится по ссылке: https://gitverse.ru/konderov.denis/the_finite_difference_method/content/master/thefinitedifference_method.jl

На начальном этапе производится подключение пакетов **GLMakie** для визуализации численных данных и **Random** для генерации случайных параметров, используемых в процессе симуляции.

Далее определяются размеры дискретной расчетной области, представляющей двумерную сетку размером 200×200 узлов.

Функция **init_simulation** инициализирует численную модель, формируя расчетную сетку и задавая параметры среды, определяющие скорость распространения волн.

Функция **place_raindrops** вводит случайные возмущения в систему, имитируя падение капель дождя и обеспечивая динамическое изменение волнового процесса.

Функция **update** выполняет численное решение уравнения волнового процесса методом конечных разностей, обновляя состояние системы во времени.

Функция **main** организует процесс моделирования волнового процесса в двумерной среде, управляет визуализацией данных и обеспечивает динамическое обновление анимации в реальном времени.

Визуализация волнового уравнения показана на рис. 1.

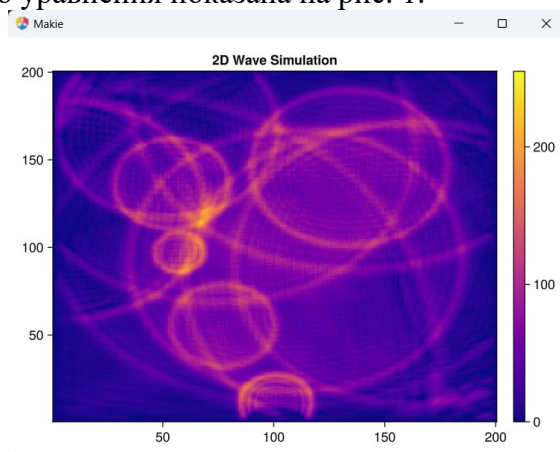


Рисунок 1. Визуализация волнового уравнения

Уравнение теплопроводности и его численное решение

Для моделирования распространения тепла в двумерной области рассмотрим уравнение теплопроводности в следующем виде[5]:

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, y, t) = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x, y, t) + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}(x, y, t) \right) \quad (7)$$

Для численного решения применим явную разностную схему. Производная по времени аппроксимируется первым порядком[5]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_{i,j}^{(n+1)} - u_{i,j}^n}{\Delta t} \quad (8)$$

а вторая производная по пространству — вторым порядком[5]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{u_{i+1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i-1,j}^n}{\Delta x^2}; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{u_{i,j+1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \quad (9)$$

Моделирование уравнения теплопроводности на языке Julia

Полный код в формате Pluto.jl файла находится по ссылке: https://gitverse.ru/konderov.denis/solving_the_heat_equation/content/master/heat_equation.jl

Функция **apply_boundary_conditions!** задаёт граничные условия с постоянной температурой на краях области.

Основной цикл рассчитывает новое распределение температуры по явной схеме и обновляет массив **u**.

Анимация создаётся с помощью **@animate**, визуализируя эволюцию теплового поля во времени.

Визуализация уравнения теплопроводности показана на рис. 2.

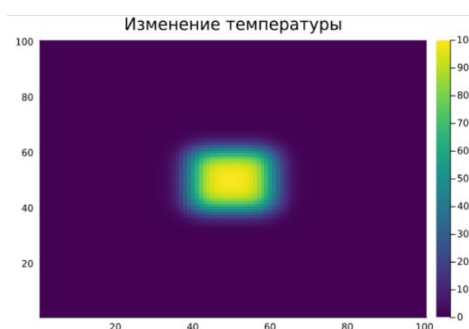


Рисунок 2. Визуализация уравнения теплопроводности

Вывод

Таким образом, использование метода конечных разностей в сочетании с языком программирования Julia позволяет моделировать двумерное волновое уравнение и уравнение теплопроводности.

Литература и источники

1. Solving the 2D wave equation with the finite difference method. — Текст : электронный // beltoforion : [сайт]. — URL: https://beltoforion.de/en/recreational_mathematics/2d-wave-equation.php (дата обращения: 26.03.2025).
2. Волновое уравнение | это... Что такое Волновое уравнение?. — Текст : электронный // dic.academic : [сайт]. — URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/75606/Волновое> (дата обращения: 26.03.2025).
3. Finite Difference Method. — Текст : электронный // johndellarosa.github.io : [сайт]. — URL: <https://johndellarosa.github.io/projects/biophysics-book/finite-difference> (дата обращения: 26.03.2025).
4. Finite Difference Discretization of the 2D Laplace Operator. — Текст : электронный // janmr : [сайт]. — URL: <https://janmr.com/blog/2024/05/finite-difference-discretization-of-2d-laplace/> (дата обращения: 26.03.2025).
5. Абдельфатах Е.Мохамед, Ислам. *Simulation of two-dimensional heat conduction in Julia programming language using CUDA* : бакалаврская работа / Ислам Абдельфатах

Е.Мохамед ; науч. рук. проф. д-р-инж. Лотар Бергер ; Второй руководитель магистр наук Стефан Шульц ; Университет прикладных наук Равенсбург-Вайнгартен. — Германия, 2022. — 54 с.

Научный руководитель – Шаврин В.А., к.т.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ГРАФЕНА ПРИ УДАРЕ СФЕРИЧЕСКИМ
СНАРЯДОМ

Бабкин М.В.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

babkin2712@mail.ru

Аннотация: В настоящем исследовании методом молекулярной динамики с использованием программного пакета LAMMPS (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator) оценивалась устойчивость графенового листа к разрушению. Для этого определялась критическая скорость сферического объекта, при которой наблюдается перфорация однослойного графена. В качестве снарядов были выбраны сферические алмазные частицы диаметрами от 0.8 до 2.5 нм. Снаряды запускались с расстояния 4 нм от листа графена с начальными скоростями от 3 до 8 км/с, углы запуска варьировались от 90° до 30° относительно поверхности листа. Для того, чтобы лист графена не смещался в пространстве, его края были зафиксированы. Для описания атомных взаимодействий C-C в графене выбран потенциал AIREBO, для атомных взаимодействий в алмазном снаряде – потенциал Терсоффа, взаимодействие между снарядом и графеновым листом задавалось с помощью потенциала Морзе. Установлено, что для алмазных частиц величина модуля скорости, необходимой для пробития графеновой мембраны, обратно пропорциональна её диаметру, такая зависимость сохраняется для частиц диаметром до 2.5 нм. Алмазный снаряд, диаметром 2.5 нм пробивает графеновый лист при скорости $V \geq 3$ км/с. Снаряды диаметром до 1.2 нм и массой до 4.03×10^{-21} г, выпущенные под углом 30°, не способны полностью разрушить графеновую мембрану, формируя лишь линейный разрыв. При запуске под различными углами, нормальная к графеновому листу составляющая скорости, необходимой для пробития графенового листа частицами одинакового диаметра, остается практически неизменной.

Ключевые слова: молекулярная динамика, потенциалы взаимодействия, графен, перфорация.

Благодаря своим исключительным механическим характеристикам, графен стал многообещающим материалом для разработки средств защиты от ударных воздействий, он является идеальным материалом для создания бронежилетов и защитной экипировки. Эксперименты показывают, что графеновые слои обладают способностью абсорбировать столкновения микроскопических частиц, движущихся со сверхвысокими скоростями.

В настоящей работе с помощью молекулярно-динамического моделирования проведены исследования по определению скоростей сферических алмазных снарядов, диаметрами от 0.8 до 2.5 нм, необходимых для разрушения монослоя графена размером 20×20 нм. Расчеты выполнены с использованием программного пакета LAMMPS [1] (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator). Для описания атомных взаимодействий C-C в графене выбран потенциал адаптивного межмолекулярного реактивного эмпирического порядка связей (AIREBO), поскольку хорошо отражает энергию связи и упругие свойства углеродных материалов. Для атомных взаимодействий C-C в алмазном снаряде принят потенциал Терсоффа, который хорошо описывает энергию связи в алмазе. Взаимодействие между снарядом и графеновым листом определяется потенциалом Морзе [2].

Изначально сферический снаряд был расположен на расстоянии 4 нм от графенового листа. Для того, чтобы во время удара лист графена не смещался в пространстве, его края были зафиксированы по 1 нм от каждого края. В начале моделирования система в течение 5 пс уравнивалась при температуре 1 К, шаг моделирования выбран 0.5 фс. Температура системы поддерживалась термостатом Нозе-Гувера в NPT ансамбле. После завершения стабилизации системы был произведен запуск алмазных снарядов со скоростями в интервале от 3 до 8 км/с. Для того, чтобы во время удара снаряд не распался, он был задан в виде

твёрдого тела. Запуск производился в NVE ансамбле, температура системы поддерживалась с помощью термостата Берендсена. Для отображения результатов моделирования использовалось программное обеспечение VMD (Visual Molecular Dynamics) [3].

Направление движения алмазных снарядов изначально было выбрано строго перпендикулярно поверхности графенового листа. Минимальные начальные скорости, необходимые для пробития графена алмазными снарядами разного размера приведены в таблице 1. При этих скоростях снаряд успешно преодолевает преграду, продолжая свое движение после разрушения графена.

Таблица 1. Скорости сферических снарядов, необходимые для пробития графенового листа, в зависимости от диаметра. Снаряд движется перпендикулярно листу графена

Диаметр, нм	Количество атомов	Скорость, км/с
0.8	75	8.0
1.2	202	5.0
1.5	392	4.0
2.0	781	3.5
2.5	1568	3.0

График зависимости модуля начальной скорости от диаметра снаряда представлен на рисунке 1, найденные значения соответствуют наблюдаемым в работе [2]. Полученные данные демонстрируют обратно пропорциональную зависимость между величиной скорости и диаметром снаряда.

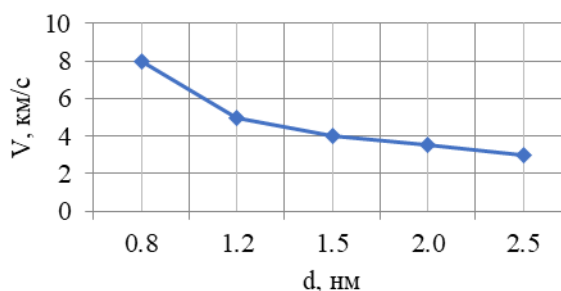


Рисунок 1. Зависимость скорости снаряда V , необходимой для пробития графенового листа, от диаметра d . Снаряд движется перпендикулярно листу графена.

При аналогичных параметрах были выполнены вычисления для определения взаимосвязи между модулем скорости снаряда и его диаметром при движении под углом. Запуск алмазного снаряда осуществлялся под углами α , равными 30° , 45° , 60° от поверхности листа, снаряд размещался таким образом, чтобы его удар произошел в центре графенового листа. Итоговые данные, полученные в ходе моделирования, сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Скорости алмазных снарядов, необходимые для пробития графенового листа, в зависимости от диаметра при движении под углом

d, нм	V , км/с				V_d , км/с				V_T , км/с			
	Величина угла				Величина угла				Величина угла			
	30°	45°	60°	90°	30°	45°	60°	90°	30°	45°	60°	90°
0.8	-	13.0	9.00	8.00	-	9.19	7.79	8.00	-	9.19	4.50	0.00
1.2	-	6.50	6.00	5.00	-	4.60	5.20	5.00	-	4.60	3.00	0.00
1.5	8.50	5.50	4.50	4.00	4.25	3.89	3.90	4.00	7.36	3.89	2.25	0.00
2.0	6.50	4.50	3.50	3.50	3.25	3.18	3.03	3.50	5.63	3.18	1.75	0.00
2.5	5.00	3.50	3.00	3.00	2.50	2.47	2.60	3.00	4.33	2.47	1.50	0.00

Используя результаты, полученные в таблице 2, были построены графики, отображающие зависимость модуля начальной скорости V , а также нормальной V_n и тангенциальной V_t компонент, от диаметра снаряда.

Анализ полученных графиков показывает, что скорость запуска, необходимая для пробития листа непосредственно зависит от диаметра и массы снаряда. Объекты диаметром до 1.2 нм и массой до 4.03×10^{-21} г, выпущенные под углом 30° , не способны полностью разрушить графеновую мембрану, формируя лишь линейный разрыв.

Из графика, приведенного на рис. 2б видно, что при изменении угла запуска, перпендикулярная к листу графена составляющая скорости остается практически неизменной для снарядов одного диаметра. Размер пробоины, возникающей при попадании снаряда под разными углами, варьируется. Максимальная площадь разрушения наблюдается, когда угол столкновения составляет 30° относительно графенового листа.

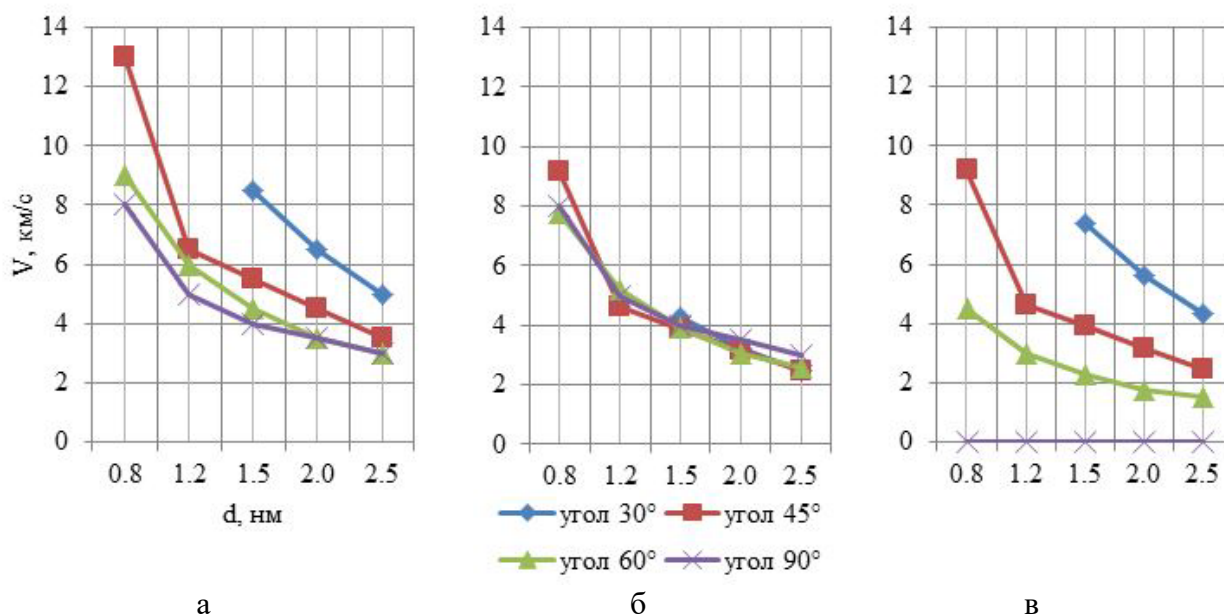


Рисунок 2. Зависимость а) модуля скорости, б) нормальной составляющей; в) тангенциальной составляющей скорости снаряда V , необходимой для пробития графенового листа, от диаметра d . Запуск производится под углом α к листу графена.

Литература и источники

1. LAMMPS Molecular Dynamics Simulator. — URL: <https://www.lammps.org> (online; accessed on Mar. 10, 2025).
2. K. Xia, H. Zhan, D. Hu, Y. Gu. Failure mechanism of monolayer graphene under hypervelocity impact of spherical projectile. // Scientific Reports. – 2016. – V. 6, Is. 33139.
3. W. Humphrey, A. Dalke, K. Schulten, «VMD — Visual Molecular Dynamics», J. Molec. Graphics, 1996, V. 14, P. 33–38.
4. Y. Zhang, Y. Qiu, F. Niu, A.S. Ademiloye. Molecular dynamics simulation of perforation of graphene under impact by fullerene projectiles // Materials Today Communications. – 2022. – V. 31, Is. 103642.
5. D. L. Azevedo, R. A. Bizardo, D. S. Galvao. Molecular Dynamics Simulations of Ballistic Penetration of Pentagraphene Sheets // 2018. – V. 3, P. 433–437.
6. Y. Qiu, Y. Zhanga, A.S. Ademiloye, Z. Wu. Molecular dynamics simulations of single-layer and rotated double-layer graphene sheets under a high velocity impact by fullerene // Computational Materials Science. – 2020. – V. 182, Is. 109798.
7. R. A. Bizardo, L. D. Machado, J. M. de Sousa, N. M. Pugno, D. S. Galvao. Scale Effects on the Ballistic Penetration of Graphene Sheets. // Scientific Reports. – 2018. – V. 8, Is. 6750.
8. K. Mylvaganam, L. Zhang. Ballistic resistance capacity of carbon nanotubes // Nanotechnology. – 2007. – V. 18, Is. 47.

9. J.-H. Lee, P. Loya, J. Lou, E. Thomas. Dynamic mechanical behavior of multilayer graphene via supersonic projectile penetration // Science. – 2014 – V. 346, Is. 6213. – P. 1092–1096.

Научный руководитель – Кравченко Н.Г., к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ФИЗИКИ СРЕДИ УЧАЩИХСЯ
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ***Молев Д.А.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

molevdan@yandex.ru

Аннотация: В связи с пониженным интересом школьников к физике, проблема популяризации физики становится актуальной проблемой. Физика как фундаментальная наука лежит в основе современных технологий, инженерных разработок и научно-технического прогресса, однако её изучение зачастую воспринимается учащимися как сложное и оторванное от реальной жизни. Низкая мотивация к изучению физики связана не только с высокой нагрузкой, но и с недостатком наглядных, интерактивных и практико-ориентированных методов преподавания. В условиях стремительного развития цифровых технологий и изменения образовательных запросов традиционные подходы к обучению перестают быть эффективными. Поэтому в данной работе исследуются современные подходы к популяризации физики среди школьников и анализируются наиболее эффективные методы повышения интереса к этой науке. Рассмотрены актуальные методики преподавания, включая интерактивные форматы, проблемное обучение, демонстрации экспериментов и использование мультимедийных технологий. Особое внимание уделено практическим примерам успешных образовательных проектов, направленных на формирование научного мышления и мотивации учащихся. В ходе исследования были разработаны лекции по популяризации физики, а также проанализированы креативные подходы к подаче материала, такие как игровые элементы, STEM-активности (STEM – Science Technology Engineering Mathematics) и интеграция цифровых инструментов в учебный процесс. Подчёркивается важность наглядности и вовлечённости учеников через опыты, видеоуроки и междисциплинарные связи. Результаты работы демонстрируют, что сочетание традиционных и инновационных методов обучения способствует росту интереса школьников к физике, развивает их познавательную активность и помогает преодолеть стереотип о «сложности» науки. В докладе предлагается практическое решение проблемы, рекомендации для педагогов по внедрению эффективных стратегий популяризации физики в образовательных учреждениях, а также конкретные методики повышения мотивации учащихся.

Ключевые слова: популяризация наук, мотивация, эффективные методы, научное мышление, учащийся, физика,

Введение. Современная система образования сталкивается с противоречивой ситуацией: в эпоху стремительного технологического прогресса, основанного на фундаментальных физических открытиях, интерес школьников к изучению физики неуклонно снижается. Эта тенденция вызывает серьёзную озабоченность у педагогов и научного сообщества, поскольку физика как фундаментальная наука формирует основу для понимания окружающего мира и является двигателем инновационного развития общества. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью преодоления сложившегося стереотипа о физике как о сложной и абстрактной дисциплине.

Целью работы является изучить современные подходы к популяризации физики в школе и разработать методические рекомендации для повышения интереса учащихся к этому предмету, а также создать телеграмм канал по привлечению школьников на тему связанную с физикой

Исследуя современные методы популяризации физики, я наткнулся на огромное разнообразие методов, каждый преподаватель предлагает свою методику и говорит о её пользе, а где-то проводится полноценный анализ вовлечённости и запоминания материала, который соотносится с деятельностью учащихся и приходит к определённому выводу. Например использование активных и интерактивных методов, повышает мотивацию, развивает критическое мышление и командные навыки, а также делает обучение физике

более наглядным и запоминающимся. Автор призывает педагогов внедрять эти подходы для создания динамичной и эффективной образовательной среды [1].

В статье Исаевой И. О. «Проблемно-ориентированное обучение (PBL) на уроках физики» актуализирована проблема применения метода проблемно-ориентированного обучения - организации учебного процесса на уроках физики, направленного на самостоятельное активное решение проблемной ситуации, заданной преподавателем, в результате чего происходит творческое овладение профессиональными знаниями, навыками и умениями, а также развитие интеллектуально-творческих и мыслительных способностей учащихся. В статье раскрывается понятие проблемно-ориентированного обучения в рамках STEAM-преподавания физики и в целом естественнонаучных дисциплин, анализируются основные этапы PBL [2].

В работе Воробьева М. О. «Методы эффективного преподавания физики» автор описывает успешный опыт проведения игры-квеста по физике, приуроченного ко Дню Победы. В течение месяца школьники 7–11 классов участвовали в командных соревнованиях, проходя станции с заданиями, связанными с физикой, историей и языками. На станции «Законы победы» команды знакомились с вкладом учёных-физиков в победу в Великой Отечественной войне (например, «Катюша», размагничивание кораблей, бронестекло, «партизанский котелок»). Затем выполняли практические задания [3].

Работа Голубевой О. В. «Физика и популяризация науки в школе: факторы влияния на формирование личности» посвящена проблеме популяризации науки (особенно физики) среди школьников. Автор подчёркивает, что наука — это не просто набор фактов, а процесс познания через решение противоречий, который развивает критическое мышление, любознательность и другие ключевые качества личности [4].

В статье Человечкова А. В. «Популяризация физики как основы инженерного образования» рассматриваются проблемы подготовки инженерных кадров, возможные пути решения проблем повышения качества инженерного образования, и необходимость разработки проектов, позволяющих заинтересовать поступающих на технические специальности [5].

Таблица. Критерии сравнения и методы мотивации учащихся при изучении физики

Критерии Методы	Глубина усвоения	Мотивация учащихся	Практическая применимость	Междисципли- нарность	Доступность ресурсов	Гибкость применения
Проблемно-ориентированное обучение (PBL) + STEAM-подход	+	-	+	+	-	-
Гибридные интерактивные технологии	-	-	+	+	-	+
Игровые квесты с историческим контекстом	-	+	+	+	-	+
Профориентационные практикумы	-	+	-	+	-	-
Научно-популярные форматы	-	+	-	+	+	-

Обобщение вышеизложенных работ и методов мотивационной активности, описанных в них, позволило выделить критерии сравнения методик. А именно глубина усвоения, мотивация учащихся, практическая применимость, междисциплинарность, доступность ресурсов, гибкость применения и на основе этих критерии составить сравнительную таблицу методов популяризации физики среди учащихся.

Литература и источники

1. Чужданова, Е. Н. Практическое применение интерактивных технологий и активных методов обучения на уроках физики / Е. Н. Чужданова // Актуальные проблемы воспитания в образовательной среде : материалы Международной междисциплинарной научно-практической конференции, Новочеркасск, 29 марта 2018 года / Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донской ГАУ. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2018. – С. 36-41. – EDN YMNOFF.

2. Исаева, И. О. Проблемно-ориентированное обучение (PBL) на уроках физики / И. О. Исаева, Н. М. Стукаленко // Современные тенденции в физике: интеграция науки и образования : Материалы международной научной конференции, Астана, 23 февраля 2024 года. – Астана: Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 2024. – С. 254-261. – EDN LROFDF. Исаева, И. О. Проблемно-ориентированное обучение (PBL) на уроках физики / И. О. Исаева, Н. М. Стукаленко // Современные тенденции в физике: интеграция науки и образования : Материалы международной научной конференции, Астана, 23 февраля 2024 года. – Астана: Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 2024. – С. 254-261. – EDN LROFDF.

3. Воробьев, М. О. Методы эффективного преподавания физики / М. О. Воробьев // Сборник тезисов, материалы Двадцать пятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-25, Крым) : Материалы конференции, тезисы докладов, Екатеринбург – Ростов-на-Дону-Крым, 19–26 апреля 2019 года. Том 1. – Екатеринбург – Ростов-на-Дону-Крым: Издательство АСФ России, 2019. – С. 474-475. – EDN TALMOG.

4. Голубева, О. В. Физика и популяризация науки в школе: факторы влияния на формирование личности / О. В. Голубева, М. В. Патаев // Проблемы естественных, математических и технических наук в контексте современного образования : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Липецк, 25–26 ноября 2021 года. – Липецк: Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2021. – С. 107-112. – EDN PIUKTL.

5. Человечкова, А. В. Популяризация физики как основы инженерного образования / А. В. Человечкова, Е. Н. Полякова // Актуальные проблемы развития профессионального образования: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Лесниково, 31 октября 2017 года. – Лесниково: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2017. – С. 160-163. – EDN ZSFDKN.

Научный руководитель – Дягилев Д.В., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

Аннотация: Настоящая работа посвящена разработке интерактивного образовательного приложения на языке JavaScript и его использованию в обучении, для расширения возможностей образовательного процесса. В связи с активным развитием технологий происходит совершенствование процесса обучения, внедряются новые формы подачи информации и проведения занятий. Разработка электронных образовательных ресурсов является актуальной задачей, направленной на организацию более эффективного процесса обучения. Мультимедийные обучающие приложения, содержащие интерактивные модели реальных лабораторных работ, создают условия для применения в полной мере личностно-ориентированного подхода, так как есть возможность давать материал в соответствии с индивидуальными способностями каждого обучающегося и подключать самостоятельное изучение ресурса для углубления понимания новой информации. Методами объектно-ориентированного программирования было создано приложение для выполнения лабораторной работы «Изучение стоячих волн в струне». Программа была написана на языке программирования JavaScript, модель даёт возможность пронаблюдать возникновение стоячих волн на струне, при разной силе натяжения и частоте колебаний струны. Интерактивные обучающие приложения с лабораторными работами не могут служить полной заменой реальной экспериментальной установки, но могут стать хорошей основой для более глубокого понимания выполняемой работы и погружения в образовательный процесс. С материалами, размещенными в онлайн пространстве, можно работать индивидуально из дома, готовясь к самостоятельному выполнению лабораторной работы на реальной установке, или использовать в качестве закрепления полученных на практике знаний. Так же интерактивные обучающие приложения могут использоваться в качестве материала для дистанционного обучения, в случае, когда невозможно выполнить лабораторную работу очно.

Ключевые слова: интерактивные приложения, обучающие приложения, виртуальные обучающие ресурсы, язык программирования JavaScript, механика, стоячие волны.

В связи с активным развитием технологий, происходит совершенствование процесса обучения, внедряются различные новые формы подачи информации и проведения занятий. Разработка интерактивных, обучающих приложений является актуальной задачей, направленной на расширение возможностей обучения. Виртуальные обучающие ресурсы создают условия для применения в полной мере личностно-ориентированного подхода, так как есть возможность подбирать материал в соответствии с индивидуальными способностями каждого обучающегося и подключать самостоятельное изучение ресурса для углубления понимания новой информации. С другой стороны, подобные образовательные материалы не могут служить абсолютной заменой полноценных учебников и лабораторных работ, но могут служить вспомогательным ресурсом для более глубокого погружения в образовательный процесс.

Целью работы является разработка интерактивных обучающих приложений на языке JavaScript для лабораторных работ по механике.

Тема использования интерактивных обучающих материалов актуальна и всесторонне изучена в литературе. Уделяется внимание, как методике создания пособий, так и педагогической составляющей использования виртуальных ресурсов для обучения.

В работе [1] раскрывается тема использования в образовательном процессе мультимедийных технологий, повышающих эффективность усвоения новой информации. Автор освещает «современное состояние педагогической теории и практики» в сфере образования, с использованием новых информационных технологий. В пособии описываются технологии создания и использования в учебных целях мультимедийных средств, для успешной профессиональной деятельности преподавателя.

Целесообразность электронного учебника, как инструмента для обучения на основе личностно-ориентированного подхода рассмотрена в статье [2]. В работе так же представлен обзор требований к виртуальным образовательным ресурсам и проведено их сравнение с традиционной литературой.

В статье [3] проанализированы основные цифровые образовательные технологии, раскрыты их функции и определены преимущества их использования в образовательном процессе. Авторы отмечают, что новые формы образовательных ресурсов «направлены на всестороннее развитие обучающихся, развитие у них практических навыков, повышение мотивации к обучению, а так же упрощению и удобству работы преподавателей».

Электронное учебное пособие представляет собой образовательный ресурс, созданный на основе программного обеспечения, содержащий систематизированный материал по соответствующей научно-практической области знаний. Благодаря использованию информационных технологий такой вид материалов может содержать не только текстовые и графические элементы, но так же данные в формате аудио или видео, или включать в себя интерактивные части, способствующие расширению возможностей работы с таким типом электронных учебных пособий.[4]

Электронные образовательные ресурсы, содержащие в себе интерактивные материалы, могут быть дополнением и расширением возможностей обучения на всех уровнях образования.

В связи с прекращением в 2020 году поддержки Flash-плеера, по причине того, что данная технология имела множество недостатков в системе безопасности и контроле ошибок, возникающих в программном обеспечении, появилась необходимость в переходе на новые, более безопасные системы. Одной из таких технологий стал HTML5, включающий в себя HTML, CSS и JavaScript.

Методами объектно-ориентированного программирования было создано приложение для выполнения лабораторной работы «Изучение стоячих волн в струне». Программа была написана на языке программирования JavaScript, на рисунке 1 представлен внешний вид приложения. Модель даёт возможность пронаблюдать возникновение стоячих волн на струне, при разной силе натяжения и частоте колебаний струны.

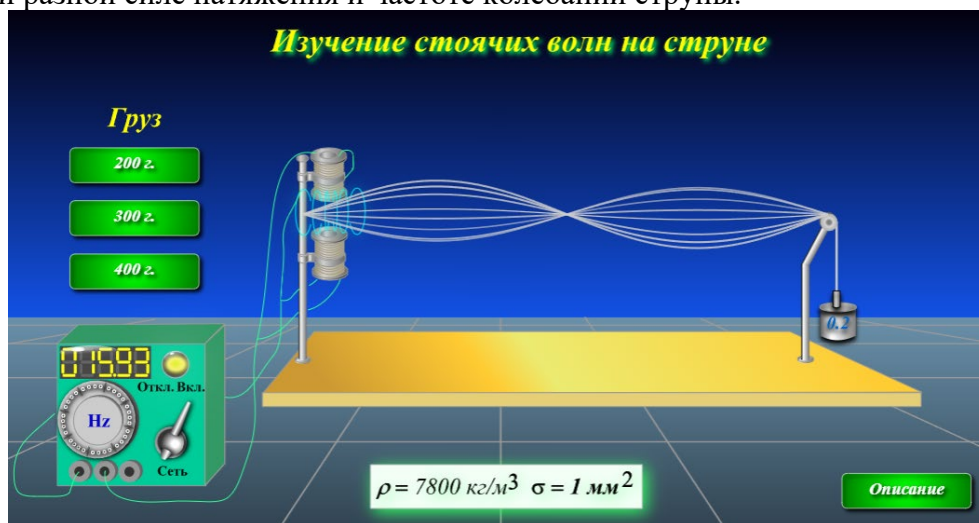


Рисунок 1. Внешний вид приложения

Приложение состоит из:

1. Порядка выполнения лабораторной работы, окно которого выводится на экран при нажатии кнопки «Описание»;
2. Кнопок для задания массы груза, с помощью различных грузов контролируется сила натяжения струны;
3. Экспериментальной установки. Экспериментальная установка собрана из звукового генератора, на котором размещены: ручка для регулирования частоты колебаний; дисплей, на который выводится значение частоты и тумблер питания. Звуковой генератор соединяется с электромагнитным вибратором, состоящим из двух катушек переменного тока. С

генератора на катушки подаётся ток, возбуждение колебаний струны происходит под действием магнитного поля.

Структура кода программы содержит в себе несколько классов, каждый класс определяет общие свойства и методы для всех объектов, которые будут созданы на их основе.

Отдельный класс создаётся для дисплея, на него выводится значение частоты, которое передаётся из класса, описывающего работу звукового генератора. В классе для генератора задаются параметры включения установки, а так же на основе вращения ручки регулирования рассчитывается частота колебаний. Для моделирования колебаний струны создаётся третий класс, он содержит в себе функции включающие работу электромагнитного вибратора, и функции для рисования линий моделирующих возникновение стоячих волн на струне. В классе создается восемь линий, каждая из которых будет демонстрировать колебания, подчиняющиеся гармоническому закону, для получения визуализации стоячих волн, каждая линия будет совершать движение с запаздыванием по времени. В коде программы так же присутствует фрагмент кода не содержащий ключевого слова «class», основная программа main необходима для объединения всех классов. В этой части кода создаются два новых события, использующихся для динамической перерисовки колебания струны при изменении частоты, а так же передачи приложению информации, какие функции должны сработать при включении и выключении звукового генератора.

Эксперимент выполняется обучающимся в приложении, встроенном в страницу браузера. При фиксированной нагрузке на струну необходимо получить стоячие волны соответствующие целому числу половин длин волн ($n = 0, 1, 2, \dots$), укладываемых на струне, на рисунке 1 представлен вид струны в случае, когда это число равно двум. В каждом случае фиксируется частота колебаний, измерения повторяются 3-4 раза. Так же необходимо рассчитать собственные частоты колебания струны и сравнить с данными полученными в эксперименте.

Интерактивные обучающие приложения с лабораторными работами не могут служить полной заменой реальной экспериментальной установки, но могут стать хорошей основой для более глубокого понимания выполняемой работы. С материалами, размещенными в онлайн пространстве, можно работать индивидуально из дома, готовясь к самостоятельному выполнению лабораторной работы на реальной установке, или использовать в качестве закрепления полученных на практике знаний. Так же интерактивные обучающие приложения могут использоваться в качестве материала для дистанционного обучения, в случае, когда невозможно выполнить лабораторную работу очно.

Литература и источники

1. Джаджа В. П. Мультимедийные технологии обучения: учебное пособие. Самара: СФ ГБОУ ВПО МГПУ, 2013.
 2. Минеев Н. С. Электронный учебник – современное средство обучения студентов. // Ярославский педагогический вестник, 2012.
 3. Ваганова О. И., Гладков А. В., Коновалова Е. Ю., Воронина И. Р. Цифровые технологии в образовательном пространстве. // Балтийский гуманитарный журнал, 2020.
 4. Никитина Е. О. Электронные учебники как средство обучения в эпоху информатизации образования. // Журнал «Наука и школа», 2013.
- Научный руководитель – Гордиенко А.Б., д.ф.-м.н., профессор (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)*

ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ

Готовцева Е.О.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

gotovtseva.katya@mail.ru

Аннотация: В данной работе исследуется вопрос об актуальности применения электронных учебных пособий для обучающихся, говорится о важности предоставить студентам возможность выполнять виртуальные лабораторные работы, которые позволят им провести эксперименты в безопасной среде и сформировать первичные практические навыки, которые потом они смогут отработать на реальных установках. Представлена виртуальная лабораторная работа, с установкой “Маятник Обербека”, разработанная в Adobe Animate с использованием языка программирования JavaScript, который помогает анимировать детали установки.

Ключевые слова: Электронные учебные пособия, виртуальные лабораторные работы.

Целью работы является исследование актуальности применения электронных учебных пособий и реализация части электронного пособия на примере лабораторной работы “Маятник Обербека” с использованием языка программирования Java Script.

Под электронными учебными пособиями (ЭУП) понимаются комплексы, которые содержат в себе теоретический материал, для понимания, описанных явлений и может включать так же тренажеры, лабораторные работы, тесты и контрольные вопросы.

Про то, как важно внедрение ЭУП в учебный процесс отмечено в статье [1]. Авторы пишут о том, что студенты отдают свое предпочтение оцифрованным копиям книг, так как к ним легче получить доступ и можно хранить на любом устройстве. Так же в статье верно отмечено, что благодаря интерактивным технологиям, каждый студент может активно участвовать в процессе, тогда как в реальных условиях, за установкой может стоять группа учащихся, которая разделит обязанности, и не все смогут полноценно за ней работать.

В сети Internet представлено множество виртуальных лабораторных работ по физике, которые будут рассмотрены далее.

Сначала нами был рассмотрен проект PhET Interactive Simulations [2]. На сайте представлен широкий ряд симуляций по различным предметам. В том числе, в ряде работ возможно проведение лабораторных измерений.

После анализа сайта efizika были сделаны выводы о том, что представленные лабораторные работы имеют хорошее оформление, имеется описание по выполнению работ, но к сожалению, не для всех. Ко всему прочему, нет подсказок, какое оборудование представлено на экране. Часть работ все еще не переписаны с Flash, что является проблемой, в связи с его отключением.[3]

Виртуальная лабораторная работа “Маятник Обербека” направлена на закрепление знаний и проверку основных законов о вращательном движении твердого тела и определение таких физических величин, как: угловое перемещение, угловая скорость, угловое ускорение, момент силы, момент инерции тела, момент импульса.

Установка состоит из стойки, на которой закреплена вращающаяся часть, состоящая из крестовины с цилиндрическими грузами и двух шкивов. У шкивов различные радиусы $r_1 = 9,3$ мм и $r_2 = 17,5$ мм, на один из них намотана нить, к которой привязан груз m . Расстояние, на которое из состояния покоя опустится груз определяется по линейке. [4]

Момент силы, вызывающий вращение маятника, создается натяжением нити. Момент инерции установки можно изменить, перемещая цилиндрические грузы m_1 вдоль стержней крестовины или подвешивая к нити грузы различной массы. [5]

Так как технология Flash, становилась все менее популярной, в связи с развитием языка разметки HTML5 и в последствии поддержка плеера была отключена в 2020 году, то нами была проделана работа по созданию виртуальной лабораторной работы с использованием средств HTML5/canvas.

На рис. 1 представлено главное окно приложения “Маятник Обербека”, реализованное в данной работе на языке JavaScript.

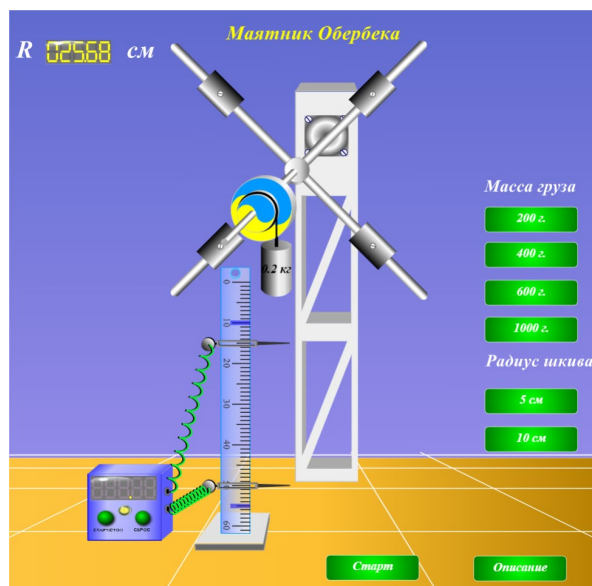


Рис. 1. Главное окно приложения

Установка состоит из: крестовины с грузами и двумя шкивами, удерживающими нить с дополнительным грузом. Радиусом грузов на крестовине можно управлять мышью, и обновленное значение будет показано в левом верхнем углу. Так же масса груза меняется по нажатию мышью на кнопки в правом краю. Внизу находится кнопка описания, при нажатии на которую, всплывает описания того, что необходимо сделать в данной работе.(рис.2)

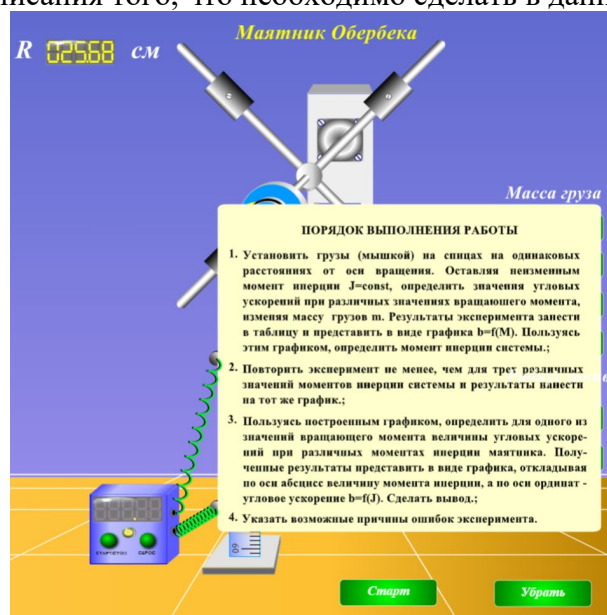


Рис. 2. Описание работы

Все представленные в работе объекты: секундомер, контакты на линейке, грузы с различной массой, кнопки, шкивы и нить реализованы средствами объектно-ориентированного программирования и для них созданы соответствующие классы с программным содержанием.

Средствами языка программирования производится управление движением груза и работы блока с секундомером, подключенного к контактам на линейке. Как только груз проходит положение 1 контакта, секундомер начинает отсчет и заканчивает, при прохождении 2 контакта.(рис.3)



Рис. 1. Визуализация эффектов

Вместе с этим, прописано управление следующими эффектами:

1. Движение крестовины со шкивами по окружности;
2. Изменение значения радиуса грузов на крестовине, управляемое курсором;
3. Управление кнопками;
4. Изменение цвета лампочки, при перемещении контактов.

Представленная работа, помогает обучающимся отработать свои навыки индивидуально, в любое время и в условиях дистанционного обучения, а также позволяет сделать этот процесс не только более легким, но и интересным.

Литература и источники

1. Мальцев Д.В., Генсон Е.М., Репецкий Д.С. Электронные учебные пособия для прикладного бакалавриата // Высшее образование в России. 2019. Т. 28. №4. С. 134-141. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-4-134-141>
2. Kathy Perkins, Carl Wieman PhET: Free online physics, chemistry, biology, earth science and math simulations / Kathy Perkins, Carl Wieman [Электронный ресурс] // PhET : [сайт]. — URL: <https://phet.colorado.edu/> (дата обращения: 16.05.2024).
3. Девяткин Е.М. Виртуальные лабораторные работы по физике / Девяткин Е.М. [Электронный ресурс] // Виртуальные лабораторные работы по физике : [сайт]. — URL: <https://efizika.ru/> (дата обращения: 16.05.2024).
4. Демин В.Б., Левченко В.П., Шумихина К.А., Волков А.Г. Изучение законов вращательного движения на маятнике Обербека. - Уч.-изд. л. 0,8 изд. - Екатеринбург: Издательско-полиграфического центра УрФУ, 2012. - 20 с.
5. Грабовский, Р. И. Курс физики / Р. И. Грабовский. — 14-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 608 с. — ISBN 978-5-507-47391-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/367019> (дата обращения: 26.02.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Научный руководитель – Гордиенко А.Б., профессор, д.ф.-м.н. (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ФИЗИКЕ С УЧАЩИМИСЯ ОСНОВНОЙ ШКОЛЫ**Кирилов А.А.**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

alex17112001@gmail.com

Аннотация: Изучение физики через проектную деятельность позволяет учащимся не только лучше понять теоретические основы, но и развить практические навыки, такие как умение работать в команде, анализировать информацию и решать реальные задачи. Проектная деятельность способствует формированию интереса к предмету, развитию критического мышления и творческих способностей, что делает обучение более осмысленным и приближенным к реальной жизни. Тема проектного обучения и проектной деятельности в современной литературе описана достаточно широко, однако недостаточно полно разработаны методические аспекты интеграции проектного метода в цифровую образовательную среду и адаптация проектного обучения к требованиям современных образовательных стандартов. В большинстве работ акцент сделан либо на теоретическом обосновании проектной деятельности, либо на общем описании методики без детальной проработки вопросов интеграции проектного метода в современные образовательные стандарты и цифровую образовательную среду. В работе проведён анализ теоретических основ и практических аспектов применения проектного метода в обучении физики в основной школе. Опираясь на историческое развитие метода проектов, его адаптацию к современным образовательным стандартам и интеграцию с цифровыми технологиями, можно сделать вывод, что это существенно повышает функциональную грамотность и уровень подготовки учащихся к решению реальных жизненных и профессиональных задач. Анализ показывает, что проектный метод является актуальным и перспективным инструментом для формирования современных образовательных компетенций, что делает его незаменимым элементом в подготовке будущих специалистов.

Ключевые слова: метод проектов, профориентация, интеграция компетенций, учащийся, самообучение, обучение физике.

Введение. Изучение физики через проектную деятельность позволяет учащимся не только лучше понять теоретические основы, но и развить практические навыки, такие как умение работать в команде, анализировать информацию и решать реальные задачи. Проектная деятельность способствует формированию интереса к предмету, развитию критического мышления и творческих способностей, что делает обучение более осмысленным и приближенным к реальной жизни. Таким образом, исследования в области проектной деятельности по физике с учащимися основной школы являются актуальными, так как они отвечают современным требованиям образовательного процесса и способствуют всестороннему развитию личности школьников.

Целью настоящей работы является определение ключевых аспектов развития метода проектной деятельности по физике и применение их на практике.

Анализ метода проектов [1] раскрывает естественнонаучную грамотность как важный компонент развития функциональной грамотности (рис. 1.), подчеркивая её роль в развитии критического мышления и способности учащихся применять полученные знания на практике.

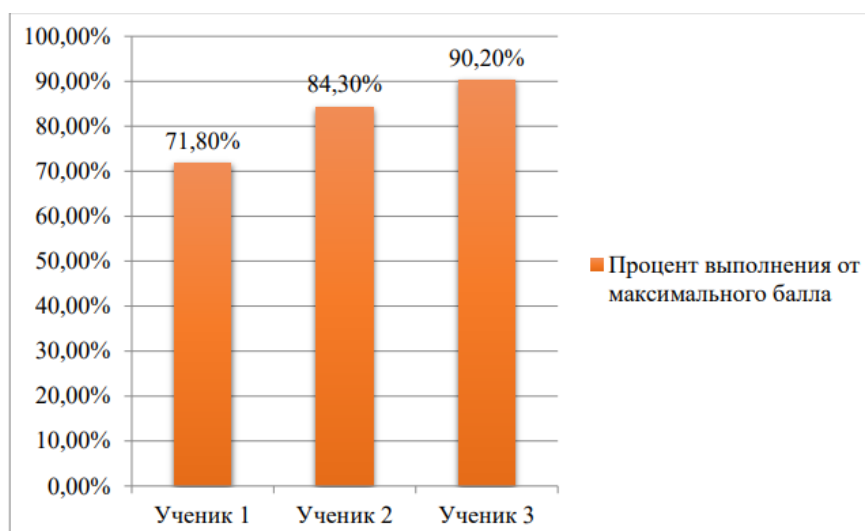


Рисунок 1. Уровень сформированности функциональной грамотности.

Проектная деятельность это не только способ повышения мотивации к обучению, но и важный элемент формирования профессионального самоопределения учащихся [2]. В работе подробно освещены методические подходы к организации проектной деятельности, описаны примеры успешных проектов и анализируются условия, способствующие эффективному вовлечению школьников в проектную деятельность (рис. 2)



Рисунок 2. Круговая модель разработки проектов [2].

Подчеркивается необходимость применения цифровых инструментов управления для повышения эффективности проектной практики и обеспечения публичности процесса [3]. Гузеев рассматривает [4] проектный метод как разновидность проблемного обучения, в котором студентам предоставляется свобода выбора путей решения задачи, а преподаватель выполняет роль наставника.

В результате использования проектного метода было получено увеличение уровня сформированности интеллектуальных умений. Формирование коммуникативных действий происходит более интенсивно, с более высокими показателями и в широком спектре [5].

Метод проектов, начиная с его зарождения, прошел через различные трансформации, что позволяет лучше понять его актуальность и применение в современных учебных заведениях. Тема проектного обучения и проектной деятельности в современной литературе описана достаточно широко, однако недостаточно полно разработаны методические аспекты интеграции проектного метода в цифровую образовательную среду и адаптация проектного обучения к требованиям современных образовательных стандартов. В большинстве работ акцент сделан либо на теоретическом обосновании проектной деятельности, либо на общем

описании методики без детальной проработки вопросов интеграции проектного метода в современные образовательные стандарты и цифровую образовательную среду.

Литература и источники

1. Медицкий Н.А., Дьяченко Н.А. Метод проектов как эффективный способ формирования естественнонаучной грамотности у обучающихся основной школы. ВКР, 2023. 88с.

2. А.Е. Бахмутский, И.В. Гладкая, Е.Н. Глубокова, С.А. Писарева, А.В. Сарже, Н.В. Смирнова, А.П. Тряпицына. Модель системы ранней профориентации обучающихся 5-9 классов / Учебно-методическое пособие: Сургут. гос.ун-т. – Сургут: ИЦ СурГУ, 2019.-89с.

3. Проектная деятельность школьников. Как успешно представить свой проект и победить в конкурсе: Учебно-методическое пособие / С.А. Ганат, А.П. Денисов, И.Ю. Жильцова, Е.В. Масловская. М.: НИЯУ МИФИ, 2023. 100 с.

4. Применение проектного метода обучения в инженерном вузе: Учебное пособие/ Павлова И. В., Шагеева Ф. Т., Хацринова О. Ю., Сангер Ф. А., Сунцова М. С.–В 2 частях, на русском и английском языке. – Казань: РИЦ «Школа», 2019. –223 с.

5. Мандель, Б. Р. Основы проектной деятельности : учебное пособие для обучающихся в системе СПО / Б. Р. Мандель. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2018. – 293 с.

Научный руководитель – Дягилев Д.В., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

**МЕНТАЛЬНЫЕ КАРТЫ НА УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЯХ ПО ФИЗИКЕ КАК
СРЕДСТВО СИСТЕМАТИЗАЦИИ И УСВОЕНИЯ МАТЕРИАЛА УЧАЩИМИСЯ****Сабитова Т. А.**ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
sabitovatatana4@gmail.com

Аннотация: В условиях современного образования, где от учащихся требуется не только запоминание информации, но и умение структурировать знания, особую актуальность приобретают методы визуализации. Данное исследование посвящено изучению эффективности применения ментальных карт как инструмента систематизации и усвоения учебного материала на уроках физики. Ментальные карты, представляющие собой графические схемы с иерархической структурой, способствуют интеграции формул, законов, графиков и логических связей между понятиями, что особенно важно в контексте изучения физических явлений. Цель работы — оценить влияние данной методики на уровень понимания, мотивацию и вовлеченность учащихся. В рамках исследования был проведен педагогический эксперимент с участием двух групп семиклассников: контрольной (обучение по традиционной методике) и экспериментальной (с включением ментальных карт). В эксперименте приняли участие 50 учащихся. В течение четырех недель экспериментальная группа изучала тему «Механическая работа» с использованием разработанной автором ментальной карты, включающей ключевые понятия, формулы, примеры задач и междисциплинарные связи. Для оценки результатов были применены входное и итоговое тестирования, а также анализ динамики учебной активности. Результаты показали значительный прирост уровня усвоения материала в экспериментальной группе: средний балл повысился с 63 до 81 (прирост 28,6%), тогда как в контрольной группе улучшение составило лишь 10,9% (с 64 до 71). Качественный анализ выявил улучшение у учащихся навыков установления причинно-следственных связей, запоминания формул и применения знаний в нестандартных задачах. Кроме того, отмечен рост мотивации и вовлеченности в учебный процесс. Исследование подтверждает, что ментальные карты не только способствуют систематизации знаний, но и активизируют познавательную деятельность учащихся. На основе полученных данных автором разработаны практические рекомендации для учителей, включая этапы внедрения методики, примеры заданий и критерии оценки ментальных карт. Результаты работы могут быть применены в общеобразовательных школах для повышения эффективности преподавания физики и других естественно-научных дисциплин.

Ключевые слова: ментальные карты, физика, визуализация, школьное обучение, систематизация знаний.

Целью настоящего исследования — оценить влияние данной методики на уровень понимания, мотивацию и вовлеченность учащихся.

Ментальная карта — это графическая схема, отображающая иерархическую структуру знаний. На уроках физики они позволяют интегрировать формулы, законы, графики и логические связи между темами. В рамках исследования был проведен эксперимент, включающий опрос, разработку ментальной карты по теме «Механическая работа» (рис. 1), а также проведение контрольного и итогового тестирования среди учащихся 7-х классов.



Рис. 1. Ментальная карта по теме "Механическая работа"

Экспериментальная группа, обучавшаяся с использованием ментальных карт, показала более высокий прирост результатов (таблица).

Таблица. Результаты входного и итогового тестирования учащихся

Группа	Средний балл входного теста	Средний балл итогового теста	Прирост (%)
Контрольная	64	71	10,9
Экспериментальная	63	81	28,6

Использование ментальных карт показало значительное влияние на глубину понимания, мотивацию и вовлеченность учащихся. Методика может быть рекомендована для внедрения в практику преподавания физики в средней школе.

Литература и источники

1. Беспалько В.П. Теория и практика дистанционного обучения. – М.: Вузовский учебник, 2012.
2. Новак Дж.Д., Говин Д.Б. Изучаем, как учиться. – М.: Педагогика, 2010.
3. Вьюшина М.Е. Использование ментальных карт в обучении физике. // Физика в школе, 2021.
4. Mayer R.E. The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. – Cambridge University Press, 2014.

Научный руководитель – Титов Ф.В., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

**ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ ПО
ТЕМЕ «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С ВЕЩЕСТВОМ»**

Горбунова Е. С.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

esgorbunova03@yandex.ru

Аннотация: в статье представлена методика организации исследовательской деятельности учащихся по теме «Взаимодействие света с веществом». Основной целью работы является изучение оптических явлений через создание и использование самодельного спектроскопа, что позволяет наглядно демонстрировать процессы дисперсии и дифракции света. Учащиеся знакомятся с такими ключевыми понятиями, как разложение белого света в спектр, принципы работы дифракционной решетки и методы спектрального анализа, что способствует углубленному пониманию волновой природы света.

Практическая часть исследования включает несколько этапов: теоретическую подготовку, изготовление спектроскопа из доступных материалов (картона, CD-диска, черной бумаги) и проведение экспериментов. Учащиеся анализируют спектры различных источников света, включая лампы накаливания, светодиоды, люминесцентные лампы и солнечный свет, что позволяет им выявить различия между непрерывными, линейчатыми и полосатыми спектрами. В процессе работы школьники развивают навыки экспериментальной деятельности, учатся формулировать гипотезы, анализировать данные и представлять результаты в виде таблиц и графиков.

Методическая ценность исследования заключается в его адаптивности для разных возрастных групп и интеграции в учебный процесс. Работа может быть использована как на уроках физики при изучении оптики, так и во внеурочной деятельности. Кроме того, проект имеет профориентационное значение, знакомя учащихся с современными оптическими технологиями, такими как спектроскопия и лазерные технологии.

В перспективе исследование может быть расширено за счет применения цифровых технологий для фиксации и обработки спектров, что позволит перейти к более точным количественным измерениям. Таким образом, предложенная методика способствует формированию у учащихся не только предметных знаний, но и универсальных исследовательских компетенций, важных для дальнейшего образования и профессионального самоопределения.

Ключевые слова: Взаимодействие света с веществом, исследовательская деятельность со школьниками, дисперсия света, спектроскоп, дифракционная решетка, спектральный анализ, источники света.

Актуальность темы обусловлена необходимостью развития у учащихся навыков экспериментальной работы, критического мышления и умения анализировать данные. Проект также способствует углубленному пониманию оптических явлений, которые имеют широкое применение в науке и технике.

Цель работы: Изучение методики организации исследовательской деятельности по физике, направленной на изучение взаимодействия света с веществом, провести методическое сопровождение исследовательской работы, апробировать её в рамках учебного процесса.

Исследовательская деятельность учащихся – это форма образовательного процесса, направленная на развитие у школьников навыков самостоятельного поиска, анализа и интерпретации информации, проведения экспериментов и решения научных задач. В рамках этой деятельности учащиеся:

- формулируют гипотезы,
- планируют и проводят эксперименты,
- анализируют результаты,
- делают выводы и представляют их в виде докладов, презентаций или проектов.

Физические законы:

Методы организации исследовательской деятельности:

1. Экспериментальный метод

Примеры экспериментов: наблюдение дисперсии света с помощью призмы, создание спектроскопа из CD-диска для анализа спектров ламп, исследование поляризации с использованием поляроидных фильтров.

2. Теоретическое моделирование: использование программного обеспечения (например, PhET Interactive Simulations) для визуализации процессов.

3. Проектная деятельность

Разработка учебных проектов:

- «Сравнение спектров искусственных и естественных источников света».
- «Создание оптических фильтров из подручных материалов».

В данной работе центральным элементом является создание самодельного спектроскопа - прибора, позволяющего наглядно демонстрировать и исследовать процессы взаимодействия светового излучения с различными веществами. Конструкция спектроскопа основана на использовании CD-диска в качестве дифракционной решетки, что дает возможность наблюдать явления дисперсии и дифракции света. Эти фундаментальные оптические явления непосредственно связаны с взаимодействием электромагнитных волн с веществом: дисперсия проявляется в зависимости показателя преломления материала от длины волны проходящего света, а дифракция демонстрирует волновую природу светового излучения.

Практическая часть исследования включает несколько этапов. На подготовительном этапе учащиеся знакомятся с теоретическими основами взаимодействия света с веществом, изучая такие понятия, как дисперсия, поляризация, поглощение и рассеяние света. Затем следует процесс изготовления спектроскопа из доступных материалов: картона, CD-диска, изолянта, черной бумаги. Этот этап развивает у школьников важные практические навыки работы с инструментами и материалами.

Основой конструкции служит картон, собранный в форму параллелепипеда, длиной 15-20 см. Внутреннюю поверхность трубки необходимо обклеить черной матовой бумагой, чтобы минимизировать отражения света. С одного конца трубки делается косой срез под углом примерно 60 градусов - это место для будущего размещения дифракционного элемента. В качестве ключевого оптического элемента используется старый CD или DVD диск. Диск аккуратно разрезается ножницами на небольшие сегменты, из которых выбирается кусочек с неповрежденной отражающей поверхностью. Этот фрагмент будет выполнять роль дифракционной решетки благодаря микроскопическим дорожкам на поверхности диска, расположенным с шагом около 1,6 мкм для CD и 0,74 мкм для DVD. Подготовленный кусочек диска тщательно очищается от возможных загрязнений и обезжиривается спиртом. Для создания входной щели с одной стороны конструкции канцелярским ножом прорезается щель около 1 мм. Полученная щель должна быть максимально ровной и чистой, так как от ее качества зависит разрешающая способность спектроскопа.

Основная исследовательская работа проводится с использованием созданного спектроскопа. Учащиеся анализируют спектры различных источников света: ламп накаливания, люминесцентных и светодиодных ламп, солнечного света. В процессе наблюдений они обнаруживают характерные особенности каждого типа спектров - непрерывный спектр тепловых источников, линейчатый спектр газоразрядных ламп, фраунгоферовы линии в солнечном спектре. Такой сравнительный анализ позволяет на практике изучить различные механизмы взаимодействия света с веществом: тепловое излучение, спонтанное излучение возбужденных атомов, селективное поглощение.

Особое внимание в работе уделяется развитию исследовательских навыков учащихся. В процессе выполнения проекта школьники осваивают методы научного познания: учатся формулировать гипотезы, планировать эксперименты, фиксировать и анализировать результаты, делать обоснованные выводы. Важным аспектом является развитие

критического мышления - учащиеся учатся сопоставлять экспериментальные данные с теоретическими моделями, оценивать погрешности измерений, искать объяснения наблюдаемым явлениям.

Методическая ценность данной работы заключается в ее интеграции в учебный процесс. Предложенные эксперименты и исследования могут быть адаптированы для разных возрастных групп - от простых наблюдений в 8-9 классах до более сложных количественных измерений в 10-11 классах. Также работа может проводиться во внеурочной деятельности. Работа способствует формированию целостного представления об оптических явлениях, устанавливая связи между теоретическими знаниями и их практическими приложениями.

Проведение таких исследований имеет и профориентационное значение, знакомя учащихся с современными оптическими технологиями: спектроскопией, волоконной оптикой, лазерными технологиями. Практические навыки, полученные в ходе работы, могут стать основой для дальнейшего изучения физики в высших учебных заведениях.

В перспективе данная исследовательская работа может быть расширена за счет использования цифровых технологий - применения цифровых фотоаппаратов для фиксации спектров, компьютерной обработки результатов, моделирования оптических явлений. Это позволит перейти к более точным количественным измерениям и углубленному изучению взаимодействия света с веществом.

Таким образом, организация исследовательской деятельности по изучению взаимодействия света с веществом через создание и использование самодельного спектрографа представляет собой эффективный метод формирования у учащихся как предметных знаний в области оптики, так и универсальных исследовательских компетенций, имеющих значение для дальнейшего образования и профессионального самоопределения.

Литература и источники

1. Агибова, И. М. Инновационные технологии преподавания физики: практический курс : учебное пособие / И. М. Агибова, О. В. Федина, Е. А. Васильченко. — Ставрополь : СКФУ, 2022. — 119 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань». — URL: <https://e.lanbook.com/book/386489> (дата обращения: 21.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Комарова, И. В. Технология проектно-исследовательской деятельности школьников : учебное пособие / И. В. Комарова. — Санкт-Петербург : КАРО, 2020. — 128 с. — ISBN 978-5-9925-0986-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань». — URL: <https://e.lanbook.com/book/164178> (дата обращения: 21.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Учебно-исследовательская деятельность в естественно-научном образовании : учебное пособие / Е. А. Игумнова, Д. Ц. Анудариева, М. С. Пушкарёва, О. А. Сычёва ; под ред. Е. А. Игумновой. — Чита : ЗабГУ, 2020. — 175 с. — ISBN 978-5-9293-2727-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань». — URL: <https://e.lanbook.com/book/271907> (дата обращения: 11.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Проблемы естественных, математических и технических наук в контексте современного образования : сборник научных трудов / под ред. С. В. Мицук. — Липецк : Липецкий ГПУ, 2021. — 489 с. — ISBN 978-5-907461-37-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань». — URL: <https://e.lanbook.com/book/230489> (дата обращения: 11.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Стафеев, С. К. Основы оптики : учебное пособие / С. К. Стафеев, К. К. Боярский, Г. Л. Башнина. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 336 с. — ISBN 978-5-8114-1495-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань». — URL:

<https://e.lanbook.com/book/213251> (дата обращения: 21.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Научный руководитель – Швайко И. Л., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

**МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ
ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО МЕХАНИКЕ****Балокина Е.А.**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

balokinakatya@yandex.ru

Аннотация: Настоящая работа посвящена разработке и обоснованию методики организации учебной работы школьников при проведении лабораторных экспериментов по механике. В работе анализируются современные подходы к организации лабораторных экспериментов, выявляются основные трудности, с которыми сталкиваются школьники при изучении механики, а также предлагаются методические рекомендации, направленные на активизацию познавательной деятельности и формирование умений работать с экспериментальным оборудованием. Методика включает структурирование этапов выполнения лабораторных работ, использование интерактивных и проблемных заданий, а также внедрение элементов самостоятельной работы и группового взаимодействия. Особое внимание уделено развитию критического мышления и умений анализа результатов экспериментов, что способствует более глубокому пониманию физических процессов. Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенной методики в образовательном процессе общеобразовательных школ для повышения качества обучения и мотивации учащихся.

Ключевые слова: методика обучения, учебная работа школьников, лабораторные эксперименты, механика, физика в школе, организация учебного процесса.

Цель исследования — повышение эффективности усвоения теоретических знаний и развитие практических навыков учащихся через оптимизацию учебного процесса в рамках лабораторных занятий.

Описание эксперимента: Движение тела по наклонной плоскости**Цели эксперимента:**

1. Исследовать влияние угла наклона поверхности на скорость и ускорение движущегося тела.

2. Определить роль силы тяжести и силы трения в движении по наклонной плоскости.

3. Подтвердить второй закон Ньютона на практике.

Оборудование:

1. Наклонная плоскость (доска, приблизительно 1-2 метра в длину).

2. Тележка или небольшой шарик для катания.

3. Измерительные линейки или метры для измерения расстояния.

4. Секундомер

5. Картонные или пластиковые уголки для изменения угла наклона.

6. Калькулятор для расчетов.

Процедура эксперимента

1. Подготовка наклонной плоскости

2. Измерение расстояния

3. Запуск тележки

4. Измерение массы

5. Изменение угла наклона

Анализ данных:**1. Расчет ускорения:**

Учитывая данные о времени и расстоянии, рассчитайте ускорение a тележки, используя формулу:

$$a = \frac{2s}{t^2}$$

(1)

где s — расстояние, а t — время.

1. Расчет силы:

Используя второй закон Ньютона

$$F = m \cdot a \quad (2)$$

где m — масса тележки, вычислите силу, действующую на тележку.

2. Сравнение данных:

Сравните полученные ускорения для каждого угла наклона. На основании этих данных учащиеся могут обсуждать, как и почему ускорение изменяется с углом наклона.

3. Влияние силы трения:

Обсудите, какое влияние на результаты может оказать сила трения. В эксперимент можно включить дополнительный этап, в котором смазывающий материал наносится на поверхность наклонной плоскости, чтобы проанализировать, как это изменяет движение.

Закключение и выводы:

К концу эксперимента школьники должны проверить свои гипотезы относительно движения по наклонной плоскости, разработать объяснение своих наблюдений и сделать выводы относительно законов механики, которые они подтвердили. Кроме того, обязательно стоит обсудить возможные ошибки и возникающие при этом трудности, а также предложить пути их устранения в будущем.

Таким образом, эксперимент по движению тела по наклонной плоскости не только дает учащимся понимание основ механики, но и развивает навыки работы в команде, критического мышления и практического применения теоретических знаний.

Литература и источники

1. Аксенова Е. Н. Общая физика. Механика (главы курса): учеб. пособие. 2е изд., испр. Санкт-Петербург: Лань, 2018. 128 с.

2. А. А. Повзнер Механика: учебное пособие / Л. Г. Малышев, К. А. Шумихина, А. В. Мелких, А. А. Повзнер. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. 113 с.

3. Каменецкий С. Е. Теория и методика обучения физике в школе: общие вопросы: Учеб.пособие для пед.вузов // С.Е.Каменецкий, Н.С.Пурешева, Н.Е.Важеевская и др.Москва: Академия, 2000. 365 с.

4. Слободянюк, А. И. Физика для любознательных. Механика: пособие для учащихся учреждений общего среднего образования с русским языком обучения / А. И. Слободянюк. Минск: Белорус. ассоц. «Конкурс», 2014. 336 с.

Научный руководитель – Швайко И.Л., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ОПТИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ НАПРАВЛЕННОЙ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ ЖИВОЙ И НЕЖИВОЙ ПРИРОДЫ. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ

Воробьева К.В.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

ksu12v03@gmail.com

Аннотация: Основное содержание исследования составляет анализ ключевых физических принципов и перспектив создания различных типов биогибридных микроструктур с помощью прецизионных оптических инструментов – оптических пинцетов (optical tweezers). Рассмотрены базовые механизмы, лежащие в основе работы градиентных оптических ловушек твизера А.Ашкина, некоторых фотоэлектрических и оптотермических платформ, а также других типов оптических систем, потенциально пригодных для прямого управления ансамблями микро- и наночастиц или их сборки в режиме “*per medium*”. Показано, что постановка обязательных условий сохранения живых форм при активации любых кинетических процессов в микросборках смешанной природы и запуска их динамической морфологической самоорганизации в заранее заданном паттерне, существенно ограничивает выбор инструментария и требует применения дополнительных мер для радикального снижения фототоксичности. Достижение этой цели возможно путем синтеза материалов для активных компонентов конверсионных оптических твизеров, в которых хорошо сочетались бы высокая фоточувствительность и спектральная зависимость фотоотклика с максимумом в инфракрасном диапазоне длин волн электромагнитного излучения. Например, вариант такой новой системы управления микрочастицами может быть создан на основе специально модифицированного в приповерхностном слое монокристалла ниобата лития – LiNbO_3 . Тем самым открывается путь к разработке универсальной динамической фотовольтаической платформы, способной решать многие задачи т.н. “цифровой” оптофлюидики, в числе которых оказываются и комплексные проблемы создания “лабораторий на чипе”. Развитие данного подхода позволяет также полностью избавить управляющий модуль от сложного и дорогого аппаратного окружения или получить дополнительные, очень полезные аппаратные расширения при его сочетании с техникой спектрального анализа.

Ключевые слова: оптический пинцет, микрочастицы, фотовольтаические материалы, оптофлюидика.

Принцип работы оптического пинцета, разработанного в 70-х годах XX-го века нобелевским лауреатом А.Ашкиным, предполагает динамическое управление микрочастицами вещества с помощью градиентных сил, возникающих при размещении частицы в каустике лазерного луча [1]. Сильно сфокусированный лазерный луч с гауссовым распределением напряженности электрического поля в поперечном сечении, имеет высокую интенсивность в центре, вдоль продольной оси. На микрочастицу внутри области каустики начинают действовать два типа сил, в конечном счете приводящих её в движение: градиентная и рассеивающая. Градиентные силы связаны с градиентом интенсивности света. Они направлены в сторону увеличения интенсивности, т. е. - в центр гауссова пучка, и связаны с явлением преломления света частицей. Рассеивающие силы определяются сочетанием направлений падающего и рассеянного света и, следовательно, балансом при передаче импульса фотонов. Чтобы обеспечить оптическую ловушку устойчивостью, градиентная сила должна превышать рассеивающую. Для увеличения функциональных возможностей в пинцетах Ашкина часто пользуются световыми пучками со сложными профилями интенсивности, которые помогают создавать вихревые ловушки, добавляющие пинцету универсальности в части подбора параметров управляемых частиц и окружающей среды и вариации количества степеней свободы у перемещаемых микрообъектов. Для создания сложных биогибридных субстанций пинцет Ашкина пригоден с очень большими ограничениями ввиду конечного количества синхронных ловушек (обычно не более

нескольких десятков), небольшой силы удержания микрочастиц, недостаточной для работы в размерности клеточных агрегатов, а также повышенной интенсивности света в каустике, которая неизбежно приводит к быстрой гибели любой живой биообъекта. Частично эта проблема решается применением источников лазерного излучения ближнего ИК-диапазона, однако при длительном операционном режиме, необходимом для многоэтапных процессов формирования гибридных микромассивов, полностью устранить её принципиально невозможно.

Более совершенными в данном отношении являются фотоэлектрические пинцеты. Их основное преимущество – сниженный риск радиационного повреждения микроскопических объектов биологического происхождения, так как могут быть применены меньшие интенсивности падающего света. Они не используют градиентную силу для удержания микрочастиц, а работают на физических принципах, допускающих совместное, раздельное или последовательное действие на микрочастицу не только света, но и неоднородных электрических полей, возникающих (или изменяемых) в интерфейсной среде при фото- или/и термоактивации специальной управляющей подложки. Материалами таких подложек могут быть некоторые полупроводники, фотовольтаики, различные термо- и пироэлектрики и даже специально легированные диэлектрики, фотопроводимость которых оптимизируется для решения поставленных задач [2]. С помощью подобных платформ можно добиться управления очень большими наборами микрочастиц в широком диапазоне их индивидуальных размеров – от нанометров до миллиметров. При этом дополнительно появляется опция управления микрообъектами с переменной электропроводностью, например таких как живые и мёртвые клетки, поскольку живые клетки наполнены электролитом и могут быть отсортированы из общего массива в автоматическом режиме при правильно рассчитанных экспозиционных параметрах. Однако действующий фактор электрического поля в перечисленных версиях оптоэлектронных и оптотермоэлектрических пинцетов так же может давать дополнительный вклад в суммарную фототоксичность при транспорте биообъектов, и для её подавления необходимо использование материалов активных подложек, обладающих сильным фотооткликом в ИК диапазоне длин волн при минимальной интенсивности лазерной накачки. Разработка и оптимизация параметров таких материалов является целью дальнейшего специального исследования в котором мы покажем уникальные особенности фотовольтаических твизеров спроектированных с использованием кристаллов ниобата лития, специально легированных в приповерхностном слое примесями, обеспечивающими эффективное фотовозбуждение подложек на длинах волн 785-980 нм при интенсивности света не более нескольких Вт/см², что позволяет успешно применять их в процессах сборки биогибридных микросистем.

Литература и источники

1. A. Ashkin, J. M. Dziedzic Optical Trapping and Manipulation of Viruses and Bacteria // Science. 1987. 235. P. 1517-1520.
2. G. Cheng et al. Light-Responsive Materials in Droplet Manipulation for Biochemical Applications // Advanced Materials. 2025. 37. 2313935.

Научный руководитель – Севостьянов О.Г., к.ф.-м.н (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И АДАПТАЦИЯ УЧЕБНОГО КОНТЕНТА ПО
ТЕМЕ: «КОГЕРЕНТНОСТЬ. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИИ: GIGA CHAT, DEEPSEEK И CHAT GPT**

Гвоздикова Е.В.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Ekaterinagvozdikova3@yandex.ru

Аннотация: Актуальность темы обусловлена вытеснением классической парадигмы образования персонализированным подходом. Этот переход прогнозирует повышение качества образования в соответствии с технологиями Индустриальной революции 5.0. Переход к персонализированному обучению приводит к увеличению трудозатрат преподавателем. Работа преподавателя в современных реалиях может быть оптимизирована с использованием нейросетей. Нейросети применяются в цифровой учебной аналитике, генерации учебных тематических лекций, заданий персонализированного обучения.

В работе предложен интеллектуальный анализ и адаптация учебного контента по теме: «Когерентность. Интерференция света» с использованием ИИ. За основу взяты озвученные видео-лекции по курсу Оптика. Для пересказа видео использовался YaGPT. Выявлены преимущества и недостатки выбранных нейросетей. В работе использовались DeepSeek, Chat gpt и GIGA chat. Их использование при подготовке к занятиям в школе/университете позволяет избавиться от рутинной работы и повышает качество учебного материала, используемого обучающимися во время занятий, подготовке к проверочной работе и самоконтролю знаний.

В выбранных нейросетях сгенерированы общие и персонализированные тестовые задания по теме. Автоматизированные тестовые задания разрабатывались на платформе Google Forms. В исследовании проделан групповой и персонализированный анализ ответов обучающихся с выявлением сильных и слабых сторон и на основе этого анализа получены рекомендации по каждому респонденту. Технология учебного бота разрабатывалась в приложении PuzzleBot и мессенджере Telegram. Эта технология играет роль цифрового тьютора и обеспечивает обучающихся нужной и своевременной информацией, что является мобильной и удобной персонализированной связью.

Ключевые слова: цифровые технологии в образовании, учебный контент, AI-технологии, искусственный интеллект, интеллектуальный анализ, когерентность, обучающие.

Введение. В связи с глобальными изменениями в учебном процессе, у обучающихся в XXI веке меняется восприятие учебного/методического материала, и они все чаще и чаще становятся потребителями визуального контента. Сегодня остро стоит вопрос о поиске технологий использования Искусственного Интеллекта в образовательной среде с учетом особенностей восприятия информации обучающимися. Цифровизация образования является важнейшим аспектом формирования личности и профессиональных навыков [1].

Использование нейросетей позволяет проводить интеллектуальный анализ и адаптацию учебного контента в условиях конкретной задачи. Нейросети являются ключевым инструментом для снижения нагрузки на преподавателей, а также для организации образовательного онлайн пространства. AI может выступать в качестве ассистента преподавателя в процессе реализации им персонализированного подхода в обучении.

Целью настоящей работы является создание автоматизированной персонализированной технологии обучения по теме «Интерференция света» с использованием нейросетей.

В данной работе использовался метод генеративно-адаптивного моделирования образовательных материалов (*AI-driven content generation and refinement*) [2], основанный на технологии создания автоматизированной персонализированной системы обучения по теме: «Когерентность. Интерференция света» с использованием нейросетей.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- Автоматизировать обработку учебного контента: сделать пересказ видео-лекции по теме интерференция света с помощью YaGPT;
- Полученный обработанный материал структурировать и дополнить через искусственный интеллект DeepSeek, Chat gpt и GIGA chat;
- Сгенерированный контент сравнить с учебным рекомендованным материалом;
- По полученной информации генерируем дифференцированные тематические тестовые задания разных уровней сложности;
- Анализируем результаты тестирования и генерацию персонализированных заданий с помощью DeepSeek;
- Внедряем организацию обратной связи через Telegram-бот.

Вся технология построена на основе уже имеющихся учебных озвученных видео-лекций в соответствии с рабочей программой учебного курса Оптика. Видео-контент взят за основу в силу необходимости учитывать в образовательном процессе особенности восприятия информации современным поколением. Современное поколение отдает предпочтение визуальному контенту с использованием гаджетов. Учебный видео-контент размещен на сайте <https://sites.google.com/site/optikazhur/> и на хостинге RUTUBE.

Этап подготовки учебного материала. Этап заключался в пересказе видео-лекции с помощью YaGPT (рис.1). Был расширен и дополнен контекст в рамках учебного курса с использованием DeepSeek, Chat gpt и GIGA chat. Полученный учебный материал проверен на достоверность и соответствие с рабочей программой учебного курса.

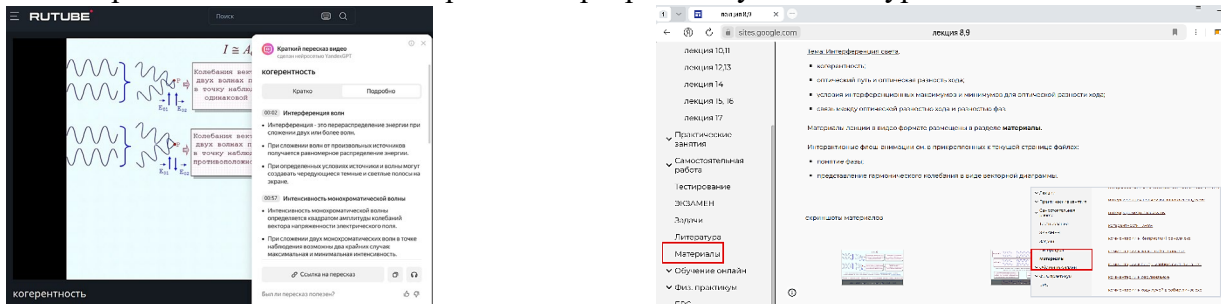


Рисунок 1. Краткий пересказ видео-лекции в YaGPT

Этап подготовки тестовых заданий состоял в генерации разноуровневых вариантов тестирования (три открытых и три закрытых вопроса). Составленные вопросы были проверены на корректность физического смысла. На платформе Google Forms созданы автоматизированные тесты для обучающихся с мгновенной проверкой ответов респондентов. Проведенная **апробация тестов** позволила собрать ответы в Google Excel, оттуда результаты были экспортированы в нейросеть DeepSeek с соответствующим промптом на проведение количественного и качественного **анализа результатов** группы обучающихся, анализ индивидуальных ответов (рис.2). Были запрошены рекомендации по доработке материала для обучающихся.

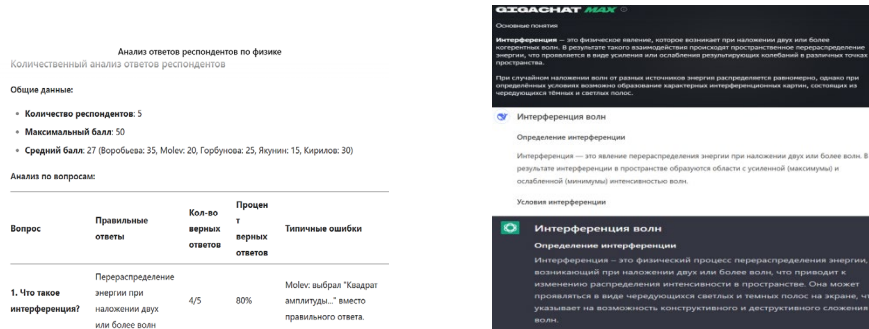


Рисунок 2. Анализ ответов респондентов и генераций нейросетью DeepSeek, Chat gpt и GIGA chat

С учетом выявленных ошибок, был **сгенерирован банк персонализированных текстов**, с использованием соответствующего промта по доработке индивидуальных тестов. Итоговые задания сформированы на платформе Google Forms.

Результатом индивидуальной подборки заданий выступает **персонализированная обратная связь**. Персонализированная обратная связь заключается в создании Telegram-бота с правами администратора в учебной группе для обмена информацией. Образовательный бот интегрирован с платформой PuzzleBot (рис.3). PuzzleBot позволяет организовать быструю и доступную обратную связь, используя функции постинга и сценария в приложении. Эти опции позволяют создавать сообщения и отправлять их через учебного бота в общий чат или лично обучающему. В сообщениях могут размещаться учебные ссылки на иллюстративные анимации, специализированный видео-контент на ссылки в Google Forms. Используя современные интерактивные инструменты в образовательной среде, учебный процесс становится более наглядным и мобильным. Обучающиеся больше вовлекаются в образовательный процесс.

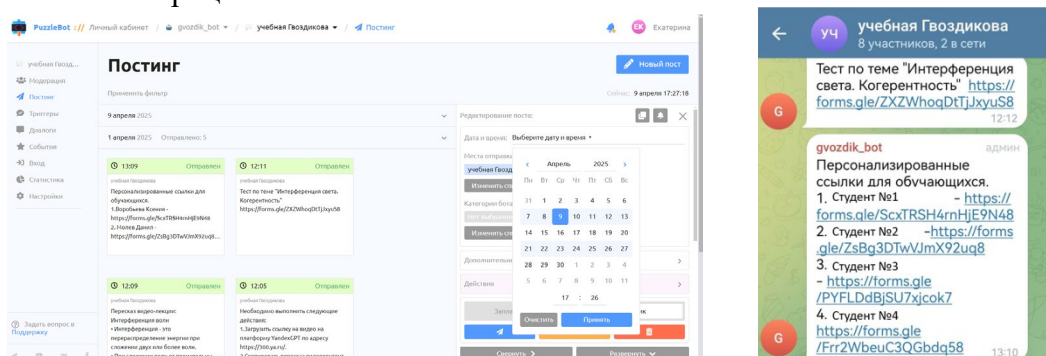


Рисунок 3. Платформа для разработки учебного бота для образовательной группы

Закключение. Нейросети являются ключевым инструментом для снижения нагрузки на преподавателей. Так же использование нейросетей позволяет проводить интеллектуальный анализ и адаптацию учебного контента в условиях конкретной задачи. AI может выступать в качестве ассистента преподавателя в процессе реализации им персонализированного подхода в обучении. Решение всех этих задач в конечном итоге приводит к повышению качества обучения.

Литература и источники

1. Кужевская Е. Б., Смык Е. И. Цифровизация образования: вызов современности или путь развития // Вестник экономической безопасности. 2025. №1.
2. Константинова Л. В., Ворожихин В. В., Петров А. М., Титова Е. С., Штыхно Д. А. Генеративный искусственный интеллект в образовании: дискуссии и прогнозы // Открытое образование. 2023. №2.

Научный руководитель - Журавлева Л.В., к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСККУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ
ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ****Юпашевский Д.В.**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

iupashevskii@mail.ru

Аннотация: Статья посвящена исследованию возможностей применения искусственного интеллекта (ИИ) в разработке олимпиадных заданий по физике. В условиях роста интереса к интеллектуальным соревнованиям и необходимости постоянного обновления задач традиционные методы их создания становятся недостаточно эффективными. Современные ИИ-технологии, включая генеративные языковые модели (например, GPT, BERT) и алгоритмы машинного обучения, позволяют автоматизировать процесс генерации, проверки и оптимизации олимпиадных заданий, обеспечивая их оригинальность, корректность и соответствие уровню сложности. В работе анализируются ключевые этапы создания задач с использованием ИИ: формирование условий, подбор параметров, проверка физической точности и логической целостности, а также адаптация заданий под различные категории участников. Особое внимание уделяется методам оценки сложности задач на основе анализа исторических данных олимпиад и моделирования возможных решений. Рассматриваются преимущества ИИ, такие как ускорение процесса разработки, минимизация человеческих ошибок и возможность генерации вариативных задач. Вместе с тем обсуждаются и ограничения, связанные с необходимостью экспертного контроля, риском шаблонности и трудностями в создании нестандартных творческих задач. Приводятся практические примеры использования ИИ-инструментов при подготовке заданий для школьных и вузовских олимпиад, демонстрирующие их эффективность. Результаты исследования показывают, что ИИ может выступать мощным вспомогательным инструментом для педагогов и методистов, однако его применение требует тщательной настройки и интеграции с традиционными подходами. В заключение обсуждаются перспективы развития технологий ИИ в образовании, включая персонализацию заданий и автоматизированную аналитику результатов олимпиад.

Ключевые слова: Олимпиада, очная форма, заочная форма, задача, задание, тестирование, оценка знаний, искусственный интеллект.

Введение. Олимпиады по физике служат инструментом социального лифта, позволяющем учащимся общеобразовательных школ увереннее пройти путь до высококвалифицированного специалиста в своей области, способного решать сложные задачи и создавать новые инновационные проекты. Развитие олимпиадного движения в России помогает нашим школьникам занимать главенствующие места на мировой арене. Однако создание оригинальных, корректных и методически грамотных задач требует значительных временных и интеллектуальных затрат от преподавателей. Искусственный интеллект (ИИ) способен автоматизировать этот процесс, предлагая новые подходы к генерации, проверке и адаптации задач, что особенно актуально в условиях роста числа олимпиад и образовательных конкурсов.

Цель работы заключается в разработке комплекса олимпиадных заданий по физике, способствующих развитию аналитического мышления, творческого подхода и углубленного понимания физических явлений у учащихся.

В работе Екимовой Н.А «Оценка эффективности школьного образования на основе данных общероссийских олимпиад» раскрывается, как может существующая система образования повлиять на формирование креативных подходов и нестандартных решений у ребенка, и почему в России столь стремительно набирает обороты школьное олимпиадное движение. Предлагается методика оценки эффективности школьного образования на основе данных общероссийских олимпиад [1]. Статья авторов Зборовский Г.Е. Амбаровова П.А., Шабророва Н.В. «Тернистый путь учащейся молодежи к образовательной успешности: «подводные камни» олимпиадного движения» посвящена выяснению влияния включенности учащейся молодежи в олимпиадное движение на ее образовательную успешность [2].

В работе [3] рассмотрены организационные, научно-методические и психолого-педагогические аспекты подготовки студентов к олимпиадам по физике и методике проведения их в ОмГТУ. Показано, что участие студентов в олимпиадах способствуют повышению мотивации изучения физики.

Аспекты составления олимпиадных заданий рассмотрены в работе Кирюхиной Н.В., Неделькиной А.А. «О принципах разработки комплектов заданий для проведения физических олимпиад». Предлагается реализация основных подходов к составлению олимпиадных заданий по физике на примере олимпиады для школьников [4].

Изучая тему внедрения искусственного интеллекта в образование нельзя пройти мимо работ Шобонова Н.А «Искусственный интеллект в образовании» [5] и Кушеккалиева А. Н «Искусственный интеллект как составляющая современной методологии изложения физико-математических дисциплин» [6]. В первой статье рассматривается применение искусственного интеллекта в образовании, а также решении задач персонализации обучения и профориентации. Выявлена и проанализирована необходимость внедрения искусственного интеллекта в процесс обучения, а также технологии, которые уже используются. Во второй сделан вывод, что искусственный интеллект является необходимой составляющей учебной методологии преподавания физико-математических дисциплин, так как позволяет усовершенствовать процесс обучения и повысить его эффективность, способствует повышению уровня знаний студентов, развитию навыков и подготовке их к вызовам современного мира.

Используя приложение DeepSeek, я составил пробный список заданий на олимпиаду очного формата для учащихся 10-11 класса, которая проходит в КемГУ. Этапы разработки задачи с ИИ:

- 1) Формулировка требований (тема, сложность, формат).
- 2) Генерация вариантов условия.
- 3) Валидация задачи (физическая корректность, отсутствие тривиальности).
- 4) Тестирование на решаемость (с привлечением экспертов или автоматических решателей).

Пример задачи с решением по теме механика:

Задача:

Тело массой $m = 2$ кг движется по горизонтальной поверхности под действием силы $F = 10$ Н, направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Коэффициент трения $\mu = 0.2$. Найдите ускорение тела.

Решение:

1. Разложим силу F на горизонтальную и вертикальную составляющие:

$$F_x = F \cos \alpha = 10 \cdot \cos 30^\circ \approx 8.66 \text{ Н},$$

$$F_y = F \sin \alpha = 10 \cdot \sin 30^\circ = 5 \text{ Н}.$$

2. Найдём силу нормальной реакции N :

$$N = mg - F_y = 2 \cdot 9.8 - 5 = 14.6 \text{ Н}.$$

3. Сила трения:

$$F_{\text{тр}} = \mu N = 0.2 \cdot 14.6 = 2.92 \text{ Н}.$$

4. По второму закону Ньютона:

$$F_x - F_{\text{тр}} = ma,$$

$$8.66 - 2.92 = 2a,$$

$$a \approx 2.87 \text{ м/с}^2.$$

Сгенерированная задача соответствует школьной программе, среднего уровня сложности. Если сравнивать с задачами прошлого года, то они имеют сходства, однако эту задачу, используя формулировку условия, нельзя найти в интернете. Использование

искусственного интеллекта в разработке олимпиадных заданий по физике открывает новые перспективы для повышения качества, объективности и доступности таких соревнований. ИИ позволяет автоматизировать процесс генерации задач, обеспечивая их вариативность и соответствие требуемому уровню сложности, а также помогает в проверке решений, снижая субъективность оценивания. Кроме того, технологии машинного обучения и анализа данных способствуют персонализации заданий, учитывая индивидуальные особенности участников, а также сокращает временные затраты организаторов на составление заданий.

Литература и источники

1. Екимова Н.А. Оценка эффективности школьного образования на основе данных общероссийских олимпиад // Экономика образования. 2014. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-shkolnogo-obrazovaniya-na-osnove-dannyh-obshcherossiyskih-olimpiad>
2. Зборовский Г.Е., Амбарова П.А., Шаброва Н.В. Тернистый путь учащейся молодежи к образовательной успешности: «подводные камни» олимпиадного движения // Педагогический журнал Башкортостана. 2021. №3(93). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ternistyy-put-uchascheysya-molodezhi-k-obrazovatelnoy-uspeshnosti-podvodnye-kamni-olimpiadnogo-dvizheniya>
3. Павловская О. Ю., Суриков В.И., Суриков В.И., Туровец А. Г., Прокудина Н. А. Опыт проведения олимпиад по физике в ОмГТУ // Омский научный вестник. 2011. №1(95). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-provedeniya-olimpiad-po-fizike-v-omgtu>
4. Кирюхина Н.В., Неделькина А.А. О принципах разработки комплектов заданий для проведения физических олимпиад // Педагогический вестник. 2019. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-printsipah-razrabotki-komplektov-zadaniy-dlya-provedeniya-fizicheskikh-olimpiad>
5. Шобонов Николай Александрович, Булаева Марина Николаевна, Зиновьева Светлана Анатольевна ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАНИИ // Проблемы современного педагогического образования. 2023. №79-4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-obrazovanii-1>
6. Кушеккалиев Алман Нысанбаевич, Чеченова Элсевар Кудайбердиевна, Уалиева Гулсезем Аманжолкызы Искусственный интеллект как составляющая современной методологии изложения физико-математических дисциплин // Современное педагогическое образование. 2025. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-kak-sostavlyayuschaya-sovremennoy-metodologii-izlozheniya-fiziko-matematicheskikh-distiplin>
Научный руководитель - Дягилев Д.В., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ИНКАПСУЛЯЦИЯ ЦИНКА (II) И ПИРИДИН-2-КАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ В СУЛЬФИРОВАННОМ СОПОЛИМЕРЕ СТИРОЛА С ДИВИНИЛБЕНЗОЛОМ

Никитина А.А.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

nikitina89086@gmail.com

Аннотация: Применение цинксодержащих биологически активных добавок рекомендовано населению с целью повышения противовирусного и общего иммунитета, коррекции гормонального и метаболического статуса. Минеральные соли цинка обладают низкой биодоступностью. Пищевые добавки, содержащие хелат цинка с пиридин-2-карбоновой кислотой (пиколинат цинка) являются эффективным средством введения цинка в организм. Инкапсуляция биологически активных веществ в полимерных матрицах обеспечивает пролонгированное высвобождение активных компонентов и их целенаправленную доставку в отделы желудочно-кишечного тракта. Настоящая работа посвящена исследованию процесса сорбции цинка (II) и пиридин-2-карбоновой кислоты сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом КУ-2-8 из водных растворов смеси пиридин-2-карбоновой кислоты, нитрата цинка и азотной кислоты с целью инкапсуляции катионов цинка и пиридин-2-карбоновой кислоты в сульфированном сополимере стирола с дивинилбензолом. Анализ состава многокомпонентных растворов, полученного в рамках программы HySS 2009 (Hyperquad Simulaton and Speciation), позволил предположить, что сорбция цинка и пиридин-2-карбоновой кислоты сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом может протекать по ионообменному механизму. Динамическим методом изучено равновесное распределение цинка и пиридин-2-карбоновой кислоты между водным раствором и сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом КУ-2-8. Концентрация пиридин-2-карбоновой кислоты в полимере достигала 100 мг/г, концентрация катионов цинка 145-180 мг/г. Показано, что изменение pH раствора позволяет регулировать соотношение цинка и пиколиновой кислоты в полимерной фазе. Полученные результаты позволяют рассматривать КУ-2-8 в качестве контейнера для биологически активных препаратов на основе пиридин-2-карбоновой кислоты и ионов цинка.

Ключевые слова: инкапсуляция, катионы цинка, пиридин-2-карбоновая кислота, сульфированный сополимер стирола с дивинилбензолом.

Цинк является жизненно важным микроэлементом, его роль заключается в участии в ферментативных реакциях, в поддержании функции поджелудочной железы, заживлении ран и свертывании крови, регенерации печени, нормального роста кожи, волос и ногтей. Цинк способствует усвоению и действию витаминов группы В. При дефиците цинка снижается умственная активность и процессы запоминания [1-2]. Минеральные соли цинка обладают низкой биодоступностью, однако она значительно повышается в комплексе с пиколиновой кислотой, что подтверждается широким применением пиколината цинка в составе биологически активных добавок. Показано, что инкапсуляция биологически активных веществ в полимерных матрицах обеспечивает пролонгированное высвобождение активных компонентов и их целенаправленную доставку в отделы желудочно-кишечного тракта [3]. Ранее с целью получения инновационных лекарственных препаратов пролонгированного действия выполнена сорбция пиридинкарбонновых кислот и их комплексов с катионами меди, железа, никеля из водных растворов сульфированными сополимерами стирола с дивинилбензолом [4-8].

Целью работы является показать возможность инкапсуляции катионов цинка и пиридин-2-карбоновой кислоты в сульфированном сополимере стирола с дивинилбензолом.

В водном растворе пиридин-2-карбоновой кислоты и нитрата цинка содержатся молекулы пиридин-2-карбоновой кислоты HL, анионы депротонированной пиридин-2-

карбоновой кислоты L^- , катионы протонированной пиридин-2-карбоновой кислоты $[H_2L]^+$, протоны H^+ , катионы Zn^{2+} , комплекс Zn^{2+} с анионом депротонированной пиридин-2-карбоновой кислоты $[ZnL]^+$ и $[ZnL_2]$, т.к. протекают реакций (1) – (4).



На рисунке 1 приведены концентрации компонентов в водных растворах смеси нитрата цинка, пиридин-2-карбоновой и азотной кислоты, рассчитанные в рамках программы HySS 2009 (Hyperquad Simulaton and Speciation) с использованием известных констант равновесий (1) – (4): $\lg K_1=5,184$, $\lg K_2=0,88$, $\lg K_3=5,177$, $\lg K_4=9,539$ [9].

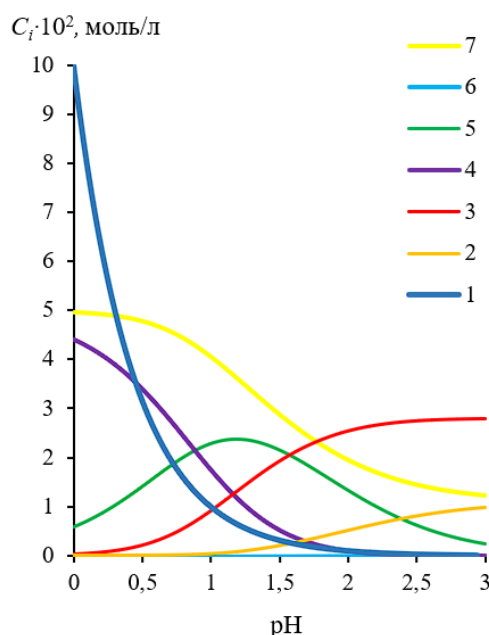


Рисунок 1. Зависимости концентраций компонентов (C_i) от pH водных растворов, содержащих 0,05 моль/л пиридин-2-карбоновой кислоты и 0,05 моль/л $Zn(NO_3)_2$: 1 – $C_{H^+} \cdot 10^{-1}$, 2 – $C_{[ZnL_2]}$, 3 – $C_{[ZnL]^+}$, 4 – $C_{[H_2L]^+}$, 5 – C_{HL} , 6 – C_{L^-} , 7 – $C_{Zn^{2+}}$

Как видно, в растворе содержится значительное количество протонов. С увеличением pH раствора концентрация Zn^{2+} изменяется от 0,05 моль/л до 0,015 моль/л, а концентрации однозарядных катионов, содержащих пиридин-2-карбоновую кислоту, изменяются разнонаправленно: $[H_2L]^+$ от 0,045 моль/л до 0, а $[ZnL]^+$ от 0 до 0,028 моль/л. Полученные данные позволяют предположить, что сорбция цинка и пиридин-2-карбоновой кислоты сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом из водного раствора смеси пиридин-2-карбоновой кислоты и $Zn(NO_3)_2$ будет протекать по ионообменному механизму и может быть описана уравнениями (5) – (7).



Здесь и далее черта означает принадлежность компонента полимерной фазе.

Динамическим методом изучено равновесное распределение цинка и пиридин-2-карбоновой кислоты между водным раствором и сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом КУ-2-8. Экспериментальные данные приведены на рисунке 2.

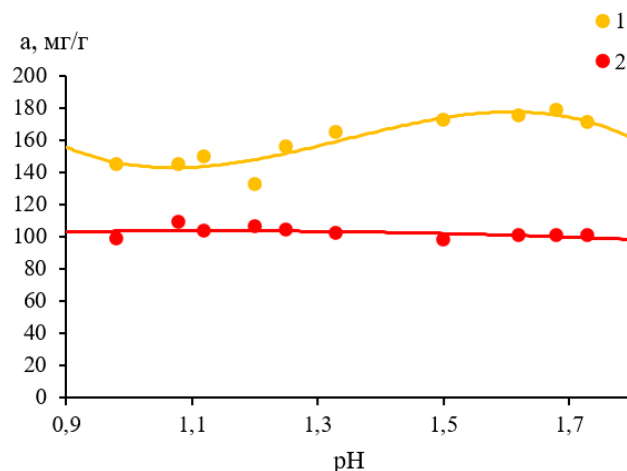


Рисунок 2. Зависимость содержания компонентов (а) в полимере от pH водных растворов, содержащих 0,05 моль/л пиридин-2-карбоновой кислоты и 0,05 моль/л $Zn(NO_3)_2$: 1 — цинк, 2 — пиколиновая кислота

Как видно, степень сорбции пиколиновой кислоты не демонстрирует значимой зависимости от pH раствора, оставаясь на уровне 100 мг/г. В то же время при увеличении pH раствора содержание ионов цинка в полимере увеличивается от 145 мг/г до 180 мг/г. Изменение pH раствора позволяет регулировать соотношение цинка и пиколиновой кислоты в полимерной фазе от 1,25 до 1,77.

Литература и источники

1. Кирилук, А. А. Цинкосодержащие лекарственные препараты: от клинической фармакологии до фармацевтической помощи (часть 1) // Рецепт. — 2021. — №4. — С. 558-574.
2. Sinthupoom, N., Prachayasittikul, V., Prachayasittikul, S., Ruchirawat, S., Prachayasittikul, V. Nicotinic acid and derivatives as multifunctional pharmacophores for medical applications // European Food Research and Technology. — 2014. — №240. — С. 1-17.
3. Ших Е.В., Раменская Г.В., Гребенщикова Л. Ю. Всасывание цинка при приеме в составе различных витаминно-минеральных комплексов // Лечебное дело. — 2010. — №4. — С. 17-22.
4. Altshuler H., Ostapova E., Altshuler O., Shkurenko G., Malysenko N., Lyrschikov S., Parshkov R. Nicotinic acid in nanocontainers. Encapsulation and release from ion exchangers // ADMET and DMPK. — 2019. — №1. — С. 76-87.
5. Остапова Е.В., Лыршиков С.Ю., Альтшулер Г.Н. Константы равновесия сорбции пиридинкарбоновых кислот из водных растворов катионитами DOWEX 50 // Журнал прикладной химии. — 2022. — №8. — С. 1059-1067.
6. Альтшулер Г.Н., Остапова Е.В., Лыршиков С.Ю., Захаров Н.С., Альтшулер О.Г. Сорбция пиколиновой кислоты и железа (III) сульфокатионитом DOWEX 50 // Журнал физической химии. — 2023. — №10. — С. 1488-1493.
7. Альтшулер Г.Н., Остапова Е.В., Альтшулер О.Г. Ионный обмен в системе: сульфокатионит DOWEX 50, водный раствор никотиновой кислоты и $FeCl_3$ // Журнал физической химии. — 2024. — №8. — С. 69-73.
8. Альтшулер Г.Н., Малышенко Н.В., Некрасов В.Н., Альтшулер О.Г. Сорбция пиридин-3-карбоновой кислоты сульфокатионитом DOWEX-50 в Ni(II)- и Cu(II)-форме // Известия Академии наук. Серия химическая. — 2021. — №8. — С. 1421-1428.

9. The IUPAC Stability Constants Database, SC-Database (no longer available commercially) and Mini-SCDatabase // IUPAC Stability Constants Database URL: <http://www.acadsoft.co.uk/scdbase/scdbase.htm> (дата обращения: 29.03.2025).

Научный руководитель – Остатова Е.В., д.х.н., профессор (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВИНЦА И КАДМИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕНСОРОВ ИЗ СЕТОК УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК***Шехольцева Д.А., Вершинина А.И., Гордая О. Р.***

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

dasha.shekholtseva@mail.ru

Аннотация: Инверсионная вольтамперометрия широко используется в аналитической химии в целях нахождения элементов, присутствующих в микроконцентрациях. Данный метод обладает рядом преимуществ, включая высокую точность, воспроизводимость, экономичность и простоту аппаратного оформления. В электрохимических методах анализа сейчас набирает популярность использование электродов из углеродных нанотрубок в силу их безопасности и большей чувствительности. Настоящая работа посвящена изучению возможности использования электродов из сеток однослойных углеродных нанотрубок для инверсионно-вольтамперометрического определения тяжёлых металлов – свинца и кадмия, а также исследование поведения редокс-метки – гексацианоферрата (II) калия для сравнения электрохимических характеристик волоконных электродов. В процессе исследования редокс-метки были подобраны оптимальные условия для регистрации вольтамперограмм. Потенциалы катодного и анодного пиков гексацианоферрата составили 61 мВ и 228 мВ, соответственно. По полученным результатам выявлено, что при низких скоростях развёртки от 20 мВ/с до 150 мВ/с система ведёт себя наиболее обратимо, а соотношение анодного и катодного токов близко к теоретическому и равно единице. При этом разность потенциалов практически не зависит от скорости развёртки и находится в пределах 142 ± 3 мВ. В результате исследования процессов окисления кадмия и свинца с поверхности ОУНТ методом инверсионной вольтамперометрии в электролите 0,1 $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Na}_2\text{SO}_3$ были зарегистрированы пики при потенциалах -870 мВ и -640 мВ, соответственно. Произвели изучение влияния потенциала накопления, установлено, что пики кадмия и свинца не наблюдаются при потенциале накопления, равном -0,8 В, а в области от -1,0 до -1,4 В происходит возрастание сигналов, и далее, до -1,8 В токи пиков уже не зависят от потенциала накопления. В выбранных оптимальных условиях получены линейные калибровочные зависимости в диапазоне концентраций ионов металлов от 15 до 300 мкг/л, подтверждающие возможность использования электродов из ОУНТ в анализе.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, инверсионная вольтамперометрия, углеродные нанотрубки, электроды.

Тяжёлые металлы являются распространёнными антропогенными загрязнителями окружающей среды. Длительное воздействие тяжёлых металлов, таких как кадмий, медь, свинец, никель и цинк на организм может вызывать неблагоприятные последствия для здоровья человека. Поэтому необходимо производить постоянный контроль содержания этих металлов в окружающей среде. Для этой цели часто используют инверсионно-вольтамперометрический метод анализа, который является высокочувствительным и экономичным. Однако он предполагает использование ртутно-плёночных электродов, которые представляют собой угрозу для здоровья оператора и окружающей среды, и создают сложности при определении тяжёлых металлов. Решить эту проблему позволит применение сенсоров из безопасного материала – однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ), которые отлично зарекомендовали себя при использовании в электрохимических методах анализа. В качестве индикаторных электродов использовали сенсоры, созданные из сеток ОУНТ, обладающие механической прочностью и необходимыми функциональными характеристиками.

Целью работы является исследование возможности использования сенсоров из ОУНТ для инверсионно-вольтамперометрического определения тяжёлых металлов: кадмия и свинца.

Электрохимическое исследование проводили в режиме циклической и инверсионной вольтамперометрии на потенциостате «VersaSTAT 3» с использованием программы «VersaStudio». Трёхэлектродная ячейка состояла из вспомогательного электрода –

стеклоуглеродного, электрода сравнения – хлоридсеребряного в 0,1 М КСl, и индикаторного электрода из сеток однослойных углеродных нанотрубок, полученных методом осаждения из газовой фазы при использовании монооксида углерода и ферроцена в качестве прекурсоров [1].

Изготовление волоконных электродов-сенсоров проводилось методом «мокрого вытягивания» из сеток ОУНТ, далее волокно прикрепляли к медному контакту, который изолировали полимером [1,2].

На первом этапе проводили исследования электрохимических характеристик волоконных электродов в присутствии редокс-метки – гексацианоферрата (II) калия, в связи с этим были выбраны оптимальные условия для регистрации вольтамперограмм. Для этого в ячейку, содержащую фоновый электролит 0,1 М хлорид калия, добавляли 0,5 ммоль/л гексацианоферрата (II) калия (ГЦФ) и проводили измерения в диапазоне потенциалов от -0,2 до 0,8 В при скоростях развертки от 20 до 150 мВ/с для серии из трёх ОУНТ электродов разного диаметра (57, 87 и 38 мкм). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры, отражающие электрохимические характеристики ОУНТ сенсоров при скорости развертки 20 мВ/с

Электрод	d, мкм	I_K/I_A	ΔE , мВ
ОУНТ-38	37,5	1,1	130,0
ОУНТ-57	56,8	1,2	146,6
ОУНТ-87	86,9	1,2	196,9

В этих условиях на вольтамперных кривых для всех электродов зарегистрированы воспроизводимые пики окисления и восстановления ГЦФ. Наиболее точные результаты были получены при низкой скорости развёртки, равной 20 мВ/с. Средние потенциалы катодного и анодного пиков для трёх электродов составили 65 ± 1 мВ и 223 ± 1 мВ, соответственно. Установлено, что соотношение анодного и катодного пиков для электрода ОУНТ-38 является наиболее удовлетворительным и равно единице, что соответствует теоретическому, поэтому для этого электрода более подробно рассмотрены параметры, описывающие его электрохимические свойства. При увеличении скорости развёртки не происходит изменения соотношения I_A/I_K , значение ΔE практически не зависит от скорости и находится в пределах 142 ± 3 мВ. Такой результат намного выше в сравнении с теоретическим значением, что указывает на наличие кинетических ограничений и неидеальности поверхности электродов. Для электродов ОУНТ-87 и ОУНТ-57 установлено существенное отклонение от теоретических закономерностей и для отношения токов пиков, и для разницы потенциалов. Корреляции величин пиков и среднего диаметра волокна ОУНТ не обнаружено.

Исследование электрохимического поведения свинца и кадмия на ОУНТ электродах выполняли методом инверсионной вольтамперометрии (ИВ) в фоновом электролите 0,1 М растворе хлорида аммония с добавками сульфита натрия в области концентраций от 25 до 350 мкг/л ионов свинца и кадмия.

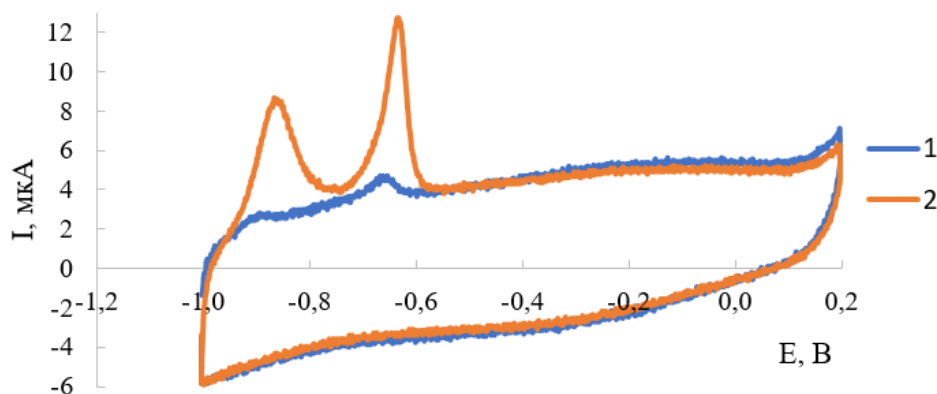


Рисунок 1. Вольтамперные кривые окисления кадмия и свинца, полученные методом ИВ, электрод ОУНТ-57, фоновый электролит – 0,1 М NH_4Cl и нас. Na_2SO_3 , потенциал накопления -1,2 В, время – 90 с; с (Pb^{2+}) и с (Cd^{2+}), мкг/л: 1 – 25; 2 – 150.

Вольтамперная кривая, полученная в присутствии добавок стандартных растворов свинца и кадмия, представлена на рисунке 1. Видно, что в рассматриваемых условиях наблюдаются пики металлов при потенциалах -870 мВ для кадмия и -640 мВ для свинца. Следовательно, индикаторный электрод позволяет эффективно накапливать указанные металлы на поверхности волокна из ОУНТ.

Для оптимизации условий проведения ИВ-анализа провели изучение влияния потенциала накопления для электрода ОУНТ-57. Установлено, что пики кадмия и свинца не регистрируются при потенциале накопления равном -0,8 В, а в области от -1,0 до -1,4 В наблюдается возрастание сигналов, и далее, до -1,8 В токи пиков уже не зависят от потенциала накопления.

При исследовании влияния времени накопления в диапазоне от 30 до 210 с установлено, что линейность зависимости токов пиков от времени соблюдается. Уравнения прямых для пиков кадмия и свинца: $0,0079t - 0,243$ и $0,0382t - 1,3907$.

Получение зависимостей токов пиков от концентрации ионов металлов проводили при потенциалах накопления -1,2 В и -1,6 В и временах накопления 90 и 210 секунд. По полученным калибровочным графикам выявлено, что большее время накопления положительно сказывается на отклике электрода, так как коэффициенты корреляции больше для 210 с, чем для 90 с, и близки к единице. При этом исследования ОУНТ-87 производились в диапазоне концентраций от 15 до 100 мкг/л. В таблице 2 приведены уравнения линейности концентраций от силы тока и коэффициенты корреляции.

Таблица 2.

Параметры калибровочных графиков для ИВ-определения свинца и кадмия, полученные для ОУНТ-электродов в различных условиях

Электрод	Металл	Потенциал накопления, В	$t_{\text{нак}}$, с	Диапазон концентраций, мкг/л	R^2	Уравнение прямой
ОУНТ-57	Pb	-1,2	90	25 – 350	0,9969	$6,70c - 105$
	Cd				0,9921	$4,45c - 103$
ОУНТ-87	Pb	-1,2	210	15 – 100	0,9932	$18,2c - 164$
	Cd				0,9963	$9,72c - 88,9$
ОУНТ-87	Pb	-1,6	210	15 – 300	–	–
	Cd				0,9870	$15,8c - 65,8$

В ходе исследования электрохимического поведения свинца установлено, что сходимость пиков имеет более низкое значение, чем для пиков кадмия. На вольтамперных кривых наблюдались двойные пики окисления свинца. Такое явление можно связать со сложным составом фона, содержащим комплексообразователи.

Таким образом, в результате проделанной работы установлена возможность использования сенсоров из ОУНТ для ИВ-анализа на содержание ионов свинца и кадмия в различных объектах, и изучены некоторые характеристики электродов из ОУНТ.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZSR-2024-0005).

Литература и источники

1. Shandakov, S. Electromechanical properties of fibers produced from randomly oriented SWCNT films by wet pulling technique / S. Shandakov, A. Kosobutsky, A. Vershinina, O. Sevostyanov [et al.] // Materials Science and Engineering: B [Электронный ресурс]. – Электрон. журн. – 2021. – Vol. 269. – P. 115178. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46022699>

2. Ivanova, N. SWCNT fibers decorated with Au nanoparticles as voltammetric sensors for arsenic (III) determination / N. Ivanova, A. Vershinina, M. Lomakin, D. Russakov [et al.] // Microchemical Journal [Электронный ресурс]. – Электрон. журн. – 2024. – Vol. 206. – P. 111482.

Режим

доступа:

https://www.researchgate.net/publication/383315699_SWCNT_fibers_decorated_with_Au_nanoparticles_as_voltammetric_sensors_for_arsenic_III_determination

Научный руководитель – Иванова Н.В., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ФОТОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ДОПИРОВАННОГО ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО КАУЧУКА СКТ МЕТОДОМ ИК- СПЕКТРОСКОПИИ

Громышева Я.С., Лузгарев А.С., Шевелева Ю.А.

Кемеровский государственный университет

polymer@kemsu.ru

Аннотация: Методом инфракрасной спектроскопии пропускания изучены фотохимические превращения полидиметилсилоксанового каучука СКТ, допированного 2-метилантрахиноном в присутствии кислорода воздуха. Исследованиями показано, что при облучении полным светом ультрафиолетовой лампы высокого давления ДРТ-1000 наблюдается его быстрое сшивание, сопровождающееся его отверждением и потерей растворимости. В ИК спектре полимера происходит исчезновение пиков карбонильных групп 2-метилантрахинона и появление новых интенсивных пиков карбонильных и карбоксильных групп и широкой области поглощения гидроксильных групп, что говорит о его окислении. Предполагается, что карбонильные группы принадлежат в основном окисленным межмолекулярным связям – сшивкам, которые при дальнейшем облучении окисляются до карбоксильных и гидроксильных групп. Также найдено, что облучение полимера напрямую затрагивает и его метильные группы, которые окисляются до гидроксильных (силанольных) групп с выделением формальдегида. В ИК-спектре пик поглощения карбонильной группы формальдегида почти совпадает с пиком поглощения окисленных сшивок, образуя общий пик с максимумом поглощения при 1726 см^{-1} . При стоянии облученных образцов полимера на воздухе формальдегид улетучивается из его матрицы, что приводит к изменениям вида данного пика – его сужению и уменьшению его величины. Улетучивание формальдегида ускоряется при выдерживании облученных образцов при пониженном давлении, особенно при повышенной температуре. Исследованиями найдено, что нелетучие продукты фотоокисления силоксановых полимеров довольно химически активны. Например, они разрушаются под действием спиртов, карбоновых кислот, воды (в присутствии кислот и оснований). Предложены возможные механизмы протекающих фотохимических и химических реакций.

Ключевые слова: полидиметилсилоксановый каучук СКТ, 2-метилантрахинон, ультрафиолетовый свет, фотоокисление, инфракрасные спектры.

Силоксановые полимеры и каучуки являются конструкционными материалами, обладающие высокой стойкостью к различного рода физическим и химическим воздействиям. Они широко применяются для получения различных изделий в машиностроении, аэрокосмической, электротехнической, электронной, химической, медицинской и других отраслях промышленности [1, 2].

Поэтому представляет значительный теоретический и практический интерес исследование физико-химических процессов, протекающих в них при различных видах воздействий, и изучение их влияния на эксплуатационные характеристики данных полимеров. В частности, это касается действия ультрафиолетового света, который может быть использован для отверждения и модификации строения и целенаправленного изменения свойств полимеров [3-6]. В этом отношении силоксановые полимеры являются сравнительно малоизученным объектом.

Ранее было показано, что силоксановые полимеры обладают высокой стойкостью к воздействию окислителей - кислорода, озона и т.п. [1, 2]. Однако при облучении ультрафиолетовым светом в присутствии кислорода воздуха наблюдается их заметное окисление [7-12]. Но несмотря проведенные исследования, механизмы фотохимических реакций и природа продуктов окисления до конца еще не выяснены.

Целью работы было исследование продуктов фотохимического окисления силоксанового каучука СКТ в присутствии фотоинициатора – 2-метилантрахинона и изучение механизмов процессов фотоокисления допированной силоксановой полимерной матрицы.

Для исследований превращений полимеров был выбран метод Фурье-спектроскопии пропускания в инфракрасном диапазоне с использованием спектрофотометра ФСМ-1201. В качестве допанта был использован 2-метилантрахинон. Его выбор был обусловлен тем, что он является высокоэффективным фотоинициатором отверждения и модификации различных типов полимеров [3, 4], в том числе и полидиметилсилоксановых каучуков [5, 6]. Исследования были проведены на тонкослойных образцах (0,1-0,15 мм), полученных путем полива толуольного раствора допированного полимера на стекла из бромида калия с последующей сушкой на воздухе. Концентрация 2-метилантрахинона составляла 0,01 моль на 1 кг каучука. Облучение образцов проводили полным светом ультрафиолетовой ртутной лампы высокого давления ДРТ-1000 с расстояния 20 см при комнатной температуре в присутствии кислорода воздуха.

Исследованиями показано, что при облучении каучука СКТ в присутствии 2-метилантрахинона на воздухе, наряду с его отверждением, наблюдается его окисление, сопровождающееся появлением в его ИК спектре интенсивных пиков поглощения при 1726 см^{-1} (карбонильная группа), 1751 см^{-1} (карбоксильная группа), а также широкой области поглощения при $3200\text{--}3400\text{ см}^{-1}$ (гидроксильные группы, связанные водородной связью). Предполагается, что карбонильные группы принадлежат в основном окисленным межмолекулярным связям – сшивкам, которые при дальнейшем облучении окисляются до карбоксильных и гидроксильных групп.

Также найдено, что при облучении полимера разрушаются и метильные группы полимера, которые окисляются до гидроксильных (силанольных) групп с выделением формальдегида, который частично накапливается в полимерной матрице. В ИК-спектре пик поглощения его карбонильной группы почти совпадает с пиком поглощения окисленных сшивок, образуя общий пик с максимумом поглощения при 1726 см^{-1} . При стоянии облученных образцов полимера на воздухе формальдегид улетучивается из его матрицы, что приводит к изменениям вида данного пика – его сужению и уменьшению его величины. Улетучивание формальдегида ускоряется при выдерживании облученных образцов при пониженном давлении и повышенной температуре. Исследованиями найдено, что нелетучие продукты фотоокисления силоксановых полимеров являются термостойкими, но химически активными соединениями. Их пики поглощения в ИК-спектрах полностью исчезают под действием паров изопропилового спирта, воды в присутствии хлористого водорода или аммиака. Под действием паров уксусной кислоты пик карбонильной группы при 1726 см^{-1} также исчезает, но появляется новый интенсивный пик при 1735 см^{-1} , относящийся к сложноэфирной группе.

По результатам проведенных исследований предложены возможные механизмы протекающих фотохимических и химических реакций.

Литература и источники

1. Бажант В., Хваловски В., Ратоуски И. Силиконы. М.: ГХИ, 1960. 710 с.
2. Шетц М. Силиконовый каучук. М.: Химия, 1975. 200 с.
3. Качан А.А., Замотаев П.В. Фотохимическое модифицирование полимеров. Киев: Наук. думка, 1990. 277 с.
4. Zamotaev P., Mityukhin O., Luzgarev S. 9,10-Anthraquinone derivatives as photoinitiators of crosslinking or degradation of polyethylene // *Polymer degradation and stability*. 1992. V. 35 (3), P. 195-210.
5. Лузгарев С.В., Шевелева Ю.А., Денисов В.Я., Лузгарев А.С. Фотохимические превращения антрахинона и его производных в полидиметилсилоксановой матрице // *Вестник КемГУ*. 2013. № 3 (55). Т. 3. С. 91-94.
6. Денисов В.Я., Лузгарев С.В. Многослойные композиционные материалы нового поколения на основе кремнийорганических полимеров и сополимеров для широкой сферы применения // *Современные наукоемкие технологии*. 2009. № 1. С. 11-12.
7. Ренби Б., Рабек Я. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров. М.: Мир, 1978. 675 с.

8. Israeli Y., Lacoste J., Cavezzan J., Lemaire J. Photooxidation of Polymethylsiloxane oils: Part 2 – Effect of dimethylene groups // Polym. Degrad. Stab. 1993. V. 42. P. 267-279.
9. Israeli Y., Lacoste J., Lemaire J., Cavezzan J., Pouchol J.-M. Photostabilite des resins de silicones // Caout. & Plast. 1993. № 724. P. 71-74.
10. Lacoste J., Israeli Y. Photooxidation Mechanisms of Silicones // Polym. prepr. 1993. V. 34. № 2. P. 127-128.
11. Vasilets V.N., Yuranova T.I., Ponomarev A.N. Photooxidation of siloxane polymers under vacuum ultraviolet irradiation // J. Photopolym. Sci. Tech. 1994. V. 7. № 1. P. 165-174.
12. Лузгарев С.В., Лузгарев А.С., Воронежцева А.В., Шевелева Ю.А., Денисов В.Я. Фотохимическое окисление высокомолекулярного полидиметилсилоксанового каучука СКТ // Вестник Кемеровского государственного университета. 2014. № 3 (59). Т. 3. С. 231-234.
Научный руководитель – Лузгарев С.В., к.х.н., с.н.с. (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕНОЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛОКОННЫХ СЕНСОРОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Свалова А.А., Вершинина А.И., Рыбаков М.С.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

svalovaanastasia2@gmail.com

Аннотация: Настоящая работа посвящена разработке и исследованию электрохимических свойств волоконных сенсоров из сеток однослойных углеродных нанотрубок с целью создания методики определения фенола, который является одним из приоритетных загрязнителей окружающей среды. В настоящее время существуют методы, способные определять фенол на уровне предельно допустимых концентраций, но их недостатком является необходимость использования сложных операций для концентрирования пробы и дорогостоящего оборудования. Электрохимические методы анализа являются высокочувствительными и экспрессными, поэтому разработка сенсоров для определения фенолов является актуальной проблемой. Сенсоры, изготовленные из одностенных углеродных нанотрубок, обладают высокой электропроводностью и хорошей сорбционной активностью по отношению к органическим веществам. В работе представлены результаты, полученные для волоконных электродов-сенсоров. Для создания электродов синтезировали сетки однослойных углеродных нанотрубок методом осаждением из газовой фазы, используя ферроцен и этанол в качестве прекурсоров. Волокно получили методом «мокрого вытягивания». На этапе сборки волокно проходило тщательную очистку. Для выбора оптимальных условий вольтамперометрического анализа изучено влияние на аналитический сигнал фенола таких факторов как: перемешивание в процессе развертки, скорость развертки, величина потенциального окна, время накопления. На основании полученных данных выбраны оптимальные условия анализа: диапазон потенциалов от 0,3 до 0,7 В, время накопления 90 сек, скорость развертки потенциала 50 мВ/с. Построены калибровочные графики в диапазоне концентраций фенола от 0,34 до 1,34 мг/л. Уравнения линейности: I (мкА) = 0,25с+0,11 при времени накопления 90 с.; и I (мкА) = 0,20с+0,13 при времени, равном 30 с.

Ключевые слова: Вольтамперометрия, одностенные углеродные нанотрубки, фенол.

Загрязнение окружающей среды является важной экологической проблемой современности. К ряду приоритетных загрязнителей природных вод, почв и воздуха относится фенол и его производные. На данный момент существуют методы определения фенола, однако они требуют сложных операций предварительного концентрирования пробы, а также предполагают использование дорогостоящего оборудования. В связи с этим актуальной задачей является разработка новых методик анализа, значительное внимание в этом направлении уделяется электрохимическим методам. Указанные методы и, в особенности, вольтамперометрия характеризуются высокой чувствительностью, экономичностью и экспрессностью. Ведется разработка электрохимических сенсоров способных к обнаружению сверхнизких концентраций фенола, так как ПДК фенола в водах составляет 1 мкг/л. Перспективным электродным материалом для сенсоров являются различные виды углеродных нанотрубок (УНТ), из-за их высокой электропроводности и сорбционной активности. Обычно УНТ наносятся на какую-либо подложку в виде суспензии, этот способ имеет ряд недостатков, в частности невысокую воспроизводимость сигнала.

Целью работы является исследование возможности использования сенсоров на основе волокон из сеток однослойных нанотрубок для вольтамперометрического определения фенола.

Для изготовления сенсоров в рамках настоящей работы использовали сетки из однослойных УНТ, полученные осаждением из газовой фазы, в качестве прекурсоров применяли этанол и ферроцен [1,2], электроды изготавливались в лаборатории углеродных наноматериалов НИУ КемГУ. Сетки подвергали предварительным операциям очистки и

далее изготавливали волоконные сенсоры методом «мокрого вытягивания» волокна из этанола. Далее волокно прикрепляли к медному контакту, который изолировали полимером [2]. Сенсор использовался в качестве индикаторного электрода в трехэлектродной ячейке, вспомогательным электродом являлся стеклоуглеродный электрод, электродом сравнения – хлоридсеребряный электрод в 0,1 М KCl. Исследование проводили на потенциостате/гальваностате «VersaStat 3» методом циклической вольтамперометрии (ЦВА). Фоновый электролит - 0,05 М K_2HPO_4 с добавлением 0,1М KCl.

Регистрацию вольтамперных кривых проводили в диапазоне потенциалов от -0,3 до 1,0 В, скорость развертки 50 мВ/с, время накопления 90 с.

В этих условиях при введении стандартного раствора фенола в концентрации 4,6 мг/л зарегистрировано последовательное появление парных пиков на ЦВА-кривых при потенциалах ($E_{ан}/E_{кат}$), мВ: -140/-138, 464/469, 133/129.

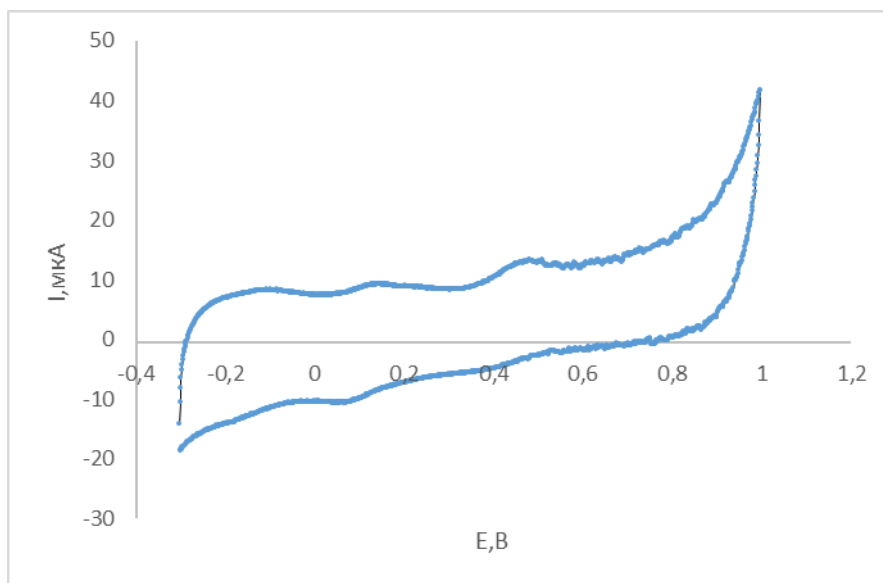


Рисунок 3. Циклическая вольтамперная кривая, зарегистрированная в электролите 0,05М K_2HPO_4 с добавлением KCl, концентрация фенола 4,6 мг/л, время накопления 90 сек, индикаторный электрод – сенсор из ОУНТ

В качестве основного аналитического сигнала выбран наиболее электроположительный пик в области потенциалов 450-500 мВ, который, согласно литературным данным [3], соответствует окислению фенола до гидрохинона и пирокатехина. Остальные пики являются результатом превращений продуктов окисления фенола [3]. Для выбора оптимальных условий вольтамперометрического анализа изучено влияние на аналитический сигнал следующих факторов: перемешивания в процессе развертки, скорости развертки, величины потенциального окна.

Установлено, что увеличение времени накопления в расширенном диапазоне потенциалов (от -0,3 до 1,0 В), вопреки ожиданиям, приводит к снижению аналитического сигнала (табл.1). В более узком диапазоне потенциалов (от 0,3 до 0,7 В) ток пика при наличии стадии накопления увеличивается, следовательно, стадия накопления необходима, но этот процесс происходит достаточно быстро.

Таблица 1

Зависимость аналитического сигнала фенола от времени накопления в диапазоне от -0,3 до 1,0 В, потенциал накопления -0,3В, концентрация фенола 4,6 г/л

Время накопления, с.	$I_{ср}$, мкА (до накопления с перемешиванием)	$I_{ср}$, мкА (после накопления без перемешивания)
90	0,88	0,77
60	0,82	0,77
30	0,80	0,82

В результате варьирования параметров выбран более узкий рабочий диапазон потенциалов от 0,3 до 0,7 В, время накопления 90 секунд, скорость развертки 50 мВ. В выбранных оптимальных условиях получили данные для построения калибровочного графика. Установлено, что зависимости тока пика окисления фенола от концентрации для различных времен накопления линейны в интервале концентраций фенола от 0,34 до 1,34 мг/л. Уравнения линейности: $I \text{ (мкА)} = 0,25c + 0,11$ при времени накопления 90 сек; и $I \text{ (мкА)} = 0,20c + 0,13$ для 30 сек. В области более высоких концентраций происходит снижение наклонов линейных зависимостей и коэффициенты чувствительности составляют, мкА·л/мг: 0,11 и 0,15.

Наличие линейной зависимости доказывает возможность использования электрода-сensors из ОУНТ для вольтамперометрического определения фенола.

Изучено электрохимическое поведение волоконного электрода, модифицированного золотыми наночастицами на этапе изготовления. Эксперимент проводился в условиях, указанных выше. Установлено, что анодный пик фенола возникает при потенциале 500 мВ, начиная с концентрации 0,61 мг/л, чувствительность и воспроизводимость отклика сенсора значительно уступает параметрам, полученным для исходного сенсора из немодифицированных ОУНТ.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZSR-2024-0005).

Литература и источники

1. Shandakov, S. D. Electromechanical properties of fibers produced from randomly oriented SWCNT films by wet pulling technique / S. D. Shandakov, A. V. Kosobutsky, A. I. Vershinina, O. Sevostyanov et al. // Materials Science and Engineering: B, - 2021 – Vol. 269. – P. 115178.
2. Ivanova, N. V. SWCNT fibers decorated with Au nanoparticles as voltammetric sensors for arsenic (III) determination / V. N. Ivanova, A. Vershinina, M. Lomakin, D. Russakov et al. // Microchemical Journal, - 2024 -Vol. 206. - P. 111482
3. Santos, A. Route of the catalytic oxidation of phenol in aqueous phase / A. Santos, P. Yustos, A. Quntenilla, S. Rodruquez, F. Garcia-Ochoa // Applied Catalysis Enviromental. -2002. - № 2 (v. 39). С. 97-113.

Научный руководитель – Иванова Н.В., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

Аннотация: В современном образовательном процессе особую актуальность приобретает проблема организации практической деятельности студентов при выполнении лабораторных работ по химии. Ранее студенты были вынуждены вести записи в обычных тетрадях, руководствуясь только печатными методическими указаниями, что существенно затрудняло систематизацию материала и формирование исследовательских навыков. Разработанный журнал для лабораторных работ по дисциплине «Общая химия» направлен на решение этой методической проблемы. Его структура построена таким образом, чтобы студенты могли самостоятельно устанавливать причинно-следственные связи между условиями проведения эксперимента и получаемыми результатами, формировать выводы на основе полученных данных. Особое внимание в журнале уделяется оформлению наблюдений, проведению расчётов. Это позволяет обучающимся не только фиксировать результаты опытов, но и развивать навыки критического мышления, учиться выявлять закономерности химических процессов. Журнал состоит из нескольких логически связанных разделов, каждый из которых выполняет свою образовательную функцию. В первой части представлены теоретические основы, необходимые для понимания сути проводимых экспериментов. Здесь же содержатся краткие методические указания по технике безопасности и правилам работы в химической лаборатории. Практическая часть журнала включает специально разработанные таблицы для записи наблюдений, схем для построения графиков зависимости, а также шаблоны для оформления выводов. Такой подход позволяет студентам структурировать получаемую информацию, легче выявлять причинно-следственные связи между различными параметрами эксперимента. Особое внимание в журнале уделяется развитию метапредметных навыков. Студенты осваивают методы обработки экспериментальных данных, учатся работать с различными измерительными приборами, приобретают навыки статистической обработки результатов.

Ключевые слова: лабораторно-практическая работа, студент, защита лабораторной работы, отчет.

Лабораторно-практическая работа — это метод обучения, при котором студенты под руководством преподавателя выполняют практические задания и осваивают новый материал через непосредственное участие в экспериментах.

Проведение таких работ включает несколько ключевых этапов: постановку темы и определение задач, планирование работы, выполнение заданий под контролем преподавателя, подведение итогов и формулирование выводов.

В процессе лабораторной работы студент: изучает практический ход процессов, сопоставляет результаты с теоретическими концепциями, интерпретирует полученные данные.

Защита лабораторной работы может проводиться как в индивидуальном порядке с преподавателем, так и перед аудиторией. По итогам работы студент формирует отчет, который направляется на проверку [1].

Успешное выполнение лабораторных работ является важным критерием при выставлении оценок на экзаменах, так как позволяет оценить практическое применение знаний, полученных на лекциях [1].

Цель работы - разработать журнал для лабораторных работ по "Общей химии", обеспечивающий оптимизацию времени на выполнение заданий и позволяющий студентам правильно оформлять работы и делать выводы, а преподавателям — удобно проверять и оценивать знания обучающихся.

Задачами данной работы являются:

1. Переработка и дополнение методических материалов для лабораторных работ по курсу “Общая химия”.
2. Создание комплекса заданий для проверки знаний студентов, включая вопросы для допуска и защиты лабораторных работ.
3. Формирование системы оценивания практических навыков обучающихся.
4. Разработка методических рекомендаций по оформлению лабораторных работ.

В ходе исследования были проанализированы существующие подходы к организации лабораторного практикума по химии и сделаны следующие выводы:

1. Эффективность усвоения материала напрямую зависит от практической деятельности студентов и их способности применять теоретические знания в лабораторных условиях.
2. Современные требования к лабораторным работам предполагают не только выполнение эксперимента, но и развитие навыков исследовательской деятельности.
3. Важным компонентом является формирование умений работать с химической посудой, приборами и реактивами.

На основе анализа были разработаны методические материалы для следующих лабораторных работ: “Техника лабораторных работ”, “Методы очистки веществ”, “Определение молярной массы газа”, “Тепловые эффекты химических реакций”, “Приготовление растворов заданной концентрации”.

Для каждой лабораторной работы были разработаны:

- Теоретическая часть с описанием необходимых химических процессов
- Порядок выполнения эксперимента
- Требования к оформлению результатов
- Контрольные вопросы для проверки готовности студентов к выполнению работы
- Вопросы для защиты лабораторной работы
- Задачи для закрепления материала

Таким образом, представленная методическая разработка обеспечивает комплексное освоение студентами практических навыков и теоретических знаний по курсу общей химии.

Пример организации лабораторной работы “Определение молярной массы газа”

Для иллюстрации практической реализации методики рассмотрим организацию лабораторной работы по определению молярной массы диоксида углерода. Эта работа демонстрирует применение теоретических знаний на практике и позволяет студентам освоить важные экспериментальные навыки.

Экспериментальная часть

Цель: определить молярную массу диоксида углерода

Оборудование: аппарат Киппа, колба на 250 мл.

Подготовка материалов: подготовьте колбу объёмом 250 мл с плоским дном, убедитесь, что колба сухая, возьмите подходящую резиновую пробку, плотно закройте колбу пробкой и отметьте на колбе линию, где заканчивается пробка.

1. Начальное взвешивание: поместите пробку в колбу, взвесьте колбу с пробкой с точностью до сотых долей грамма.
2. Заполнение газом: подключите трубку от аппарата Киппа, опустите трубку до дна колбы, заполните колбу углекислым газом, осторожно достаньте трубку, сразу закройте колбу пробкой, взвесьте колбу с газом.
3. Проверка результата: повторите процедуру заполнения и взвешивания несколько раз, дождитесь, пока вес перестанет меняться не более чем на 0,01 г., измерьте объём колбы, налив в неё воду до отмеченной линии, запишите температуру воздуха, отметьте показания давления.
4. Вычислить молярную массу диоксида углерода и рассчитать относительную ошибку (в процентах) [2].

$$\Pi = \frac{M_{\text{теор}} - M_{\text{практ}}}{M_{\text{теор}}} \times 100\%$$

Обозначения	m_1	m_2				$m_3 = \frac{V_k \times M_B}{V_m}$	$m_4 = \overline{m_1} - m_3$	$m_5 = \overline{m_2} - m_4$	
№ опыта	$m_{\text{колбы + пробка + воздух}}, \text{Г.}$	$m_{\text{колбы + пробка + CO}_2}, \text{Г.}$	$V_{\text{колбы}}, \text{мл}$ воздух	Т, К.	Р мм.рт.ст.	$m_{\text{возд}}, \text{Г}$	$m_{\text{колбы + пробка}}, \text{Г.}$	$m(\text{CO}_2)_{\text{в колбе}}, \text{Г.}$	$M(\text{CO}_2) = \frac{V_m \times m_{\text{CO}_2}}{V_k}$
1									
2									
3									
$\overline{m_i}$									

Рис 1. Пример оформления отчёта

Записать

расчёты:

Вывод:

Пример вопросов к защите:

- Что такое молярная масса?
- Для чего нужно измерять объём колбы, налив в неё воду до отмеченной линии?
- При анализе неизвестного газообразного соединения установили, что оно содержит 85,7% углерода и 14,3% водорода. При температуре 30°C и давлении 740 мм рт. ст. 0,5 л этого газа имеют массу 1,5 г. Определите: молекулярную формулу соединения, его относительную плотность по воздуху, массу 1 л этого газа при нормальных условиях.

Литература и источники

1. Маковкина, Л. Н. Значимость лабораторно-практических работ в учебном процессе / Л. Н. Маковкина, Е. И. Сорокина, Д. В. Сыроежкина. // Педагогика сегодня: проблемы и решения: материалы III Междунар. науч. конф. — Казань: Молодой ученый, 2018. — С. 46-47. — URL: <https://moluch.ru/conf/ped/archive/276/13819/> (дата обращения: 01.04.2025). – Режим доступа свободный
2. Бугерко, Л. Н. Практикум по химии. Часть 1: учеб. пособие / Л. Н. Бугерко, Н. В. Борисова, С. П. Говорина, Э. П. Суровой; ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет». - Кемерово, 2009. 33-39 с. ISBN 978-5-8353-0925-2

Научный руководитель – Шурыгина Л. И., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

**ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСПИННИНГОВЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ
ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ТЕРМООБРАБОТКОЙ И
СШИВКОЙ ГЛУТАРОВЫМ АЛЬДЕГИДОМ**

Любимова С.П.¹, Борисова Н.Н.², Костюнин А.Е.²

¹ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,

²Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых
заболеваний, г. Кемерово

0sofia0lubimova0@gmail.com

Аннотация: Поливиниловый спирт является биосовместимым, нетоксичным и гидрофильным полимером, широко применяемым в биомедицинских разработках. Он активно исследуется как материал для изготовления сосудистых имплантатов благодаря высокой степени совместимости с живыми тканями. Однако низкая механическая прочность и высокая растворимость в водных средах существенно ограничивают возможности его использования, например, в качестве материала створок искусственного сердечного клапана. В данной работе рассматривается подход к улучшению характеристик поливинилового спирта путём формирования волокнистых структур методом электроспиннинга. Этот метод позволяет получать нановолокна с контролируемыми параметрами, направленной структурой, что способствует улучшению механических свойств материала. Волокна получали из 8% раствора поливинилового спирта в смеси уксусной кислоты и воды (60:40) при напряжении 14 кВ и скорости подачи 0,9 мл/ч. С целью повышения устойчивости к растворению полученные матрицы подвергались термической обработке при 120 °С в течение 2–8 часов. Минимальное время экспозиции (2 часа) оказалось достаточным для стабилизации структуры: потеря массы в воде отсутствовала, структура волокон сохранялась, а изменений прочностных характеристик с увеличением временем экспозиции не наблюдали. Для дополнительного упрочнения использовали химическое сшивание с применением 5% раствора глутарового альдегида. Обработку волокон поливинилового спирта проводили при комнатной температуре. В качестве растворителей использовали ацетон или этанол. Несмотря на сходную морфологию волокон, прочностные свойства образцов после сшивания в этаноле оказались выше, что позволило выбрать его в качестве предпочтительного растворителя.

Ключевые слова: поливиниловый спирт, глутаровый альдегид, электроспиннинг, нановолокна, армирующий слой.

Поливиниловый спирт (ПВС) — биосовместимый, нетоксичный и гидрофильный полимер, широко применяемый в биомедицине. Благодаря совокупности этих свойств он рассматривается как перспективный материал для создания имплантатов, включая изделия для сердечно-сосудистой хирургии. Однако его высокая растворимость в водных средах и недостаточная прочность ограничивают применение ПВС в конструктивно нагруженных биоматериалах, таких как сердечные клапаны [1]. Одним из подходов к улучшению механических характеристик ПВС является формирование волокнистых структур методом электроспиннинга, что позволяет повысить прочностные характеристики за счет того, что происходит образование не хаотично расположенных, а имеющих определенную ориентацию полимерных волокон.

Электроспиннинг — это высокоэффективный метод получения полимерных нановолокон, обеспечивающий контроль морфологии, масштабируемость и технологическую простоту по сравнению с альтернативными способами, такими как вытягивание, фазовое разделение, синтез по шаблону и самосборка. Метод основан на электрогидродинамическом вытягивании полимерного раствора под воздействием электрического поля и позволяет формировать волокна диаметром от 10 до 1000 нм. Принцип действия установки, которая включает шприц с раствором, насос, источник высокого напряжения и заземлённый коллектор, показан на рисунке 1. Теоретические основы метода были заложены сэром Джеффри Тейлором в 1964 г. [2].

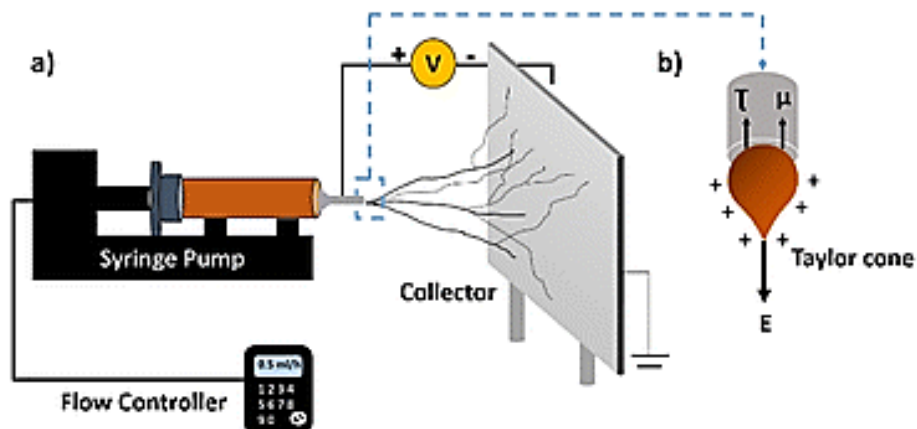


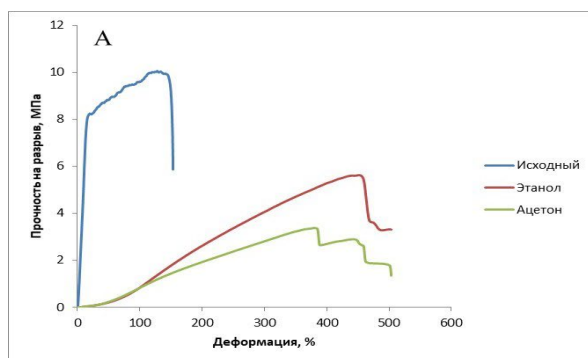
Рисунок 1. (а) Базовая установка и (б) принцип работы электроспиннинга, где μ — вязкоупругая сила, τ — поверхностное натяжение, а E — электростатическая сила

Цель исследования — создание методом электроспиннинга армирующего волокнистого слоя из ПВС, устойчивого в водной среде, для использования в сердечно-сосудистых имплантатах.

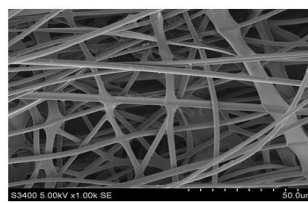
Для проведения исследований использовали ПВС с $M_w = 146000$ - 186000 Да (Sigma-Aldrich, США). Волокна были получены методом электроспиннинга из 8% раствора поливинилового спирта в смеси уксусной кислоты и воды в соотношении 60:40 [3], с применением установки Nanop-01A (MECC, Japan) при напряжении 14 кВ и скорости подачи раствора 0,9 мл/ч при комнатной температуре.

Для стабилизации полученных волокон использовали термическую обработку. Ее проводили в термокамере (Mettmert BE300) при 120°C в течение 2-8 часов [4]. При всех временах выдержки после экспозиции в воде (24 часа) наблюдали сохранение массы и структуры волокон. Прочностные характеристики образцов после 2 часов обработки статистически не отличались от образцов с большей экспозицией.

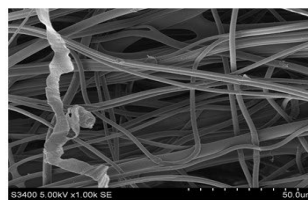
Дополнительное усиление структуры волокон достигалось химическим сшиванием в 5% растворе глутарового альдегида (Sigma-Aldrich, США) [5]. В качестве растворителей использовали ацетон или этанол. Морфологические различия после сшивания в этаноле и ацетоне методом СЭМ не выявлены (рис. 2 а), однако прочностные свойства отличались: после сшивания в этаноле прочность на разрыв оказалась выше, чем в ацетоне (рис. 2 б). Поэтому этанол был выбран в качестве предпочтительного растворителя для проведения дальнейших исследований.



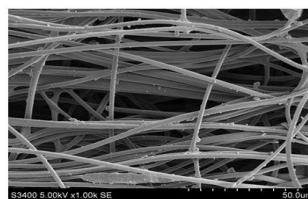
Б



Исходный матрикс



Этанол



Ацетон

Рисунок 2. Влияние растворителей на прочностные свойства электроспиннинговых матриц ПВС – (А); изображения СЭМ структуры матриц ПВС, полученных сшиванием глутаровым альдегидами в различных растворителях – (Б)

Полученные данные подтверждают возможность создания водостойких, механически прочных армирующих матриц из поливинилового спирта для применения в составе сердечно-сосудистых имплантатов.

Литературные источники

1. Shiekh P. A., Andrabi S. M., Singh A., Majumder S., Kumar A. Designing cryogels through cryostructuring of polymeric matrices for biomedical applications // *European Polymer Journal*. 2021. №93. P. 590 – 601.
2. Mrunalini K. Electrospun nanofibres in drug delivery: advances in controlled release strategies // *RSC Advances*. 2023. P. 7312 – 7328.
3. Vu T.H.N., Morozkina S.N., Sitnikova V.E. *et al.* The influence of acetic acid and ethanol on the fabrication and properties of poly(vinyl alcohol) nanofibers produced by electrospinning // *Polymer Bulletin*. 2024. №81, P. 9669–9697.
4. Bütün M., Saylan S., Asgari Sabet R., Tokel O. High-Efficiency Multilevel Volume Diffraction Gratings inside Silicon // *ACS Materials Au*. 2023. №6. P. 727-733.
5. Ying He, Tian Zhong, Yiguo Liu, Menghui Wan, Lei Sun, Yanbao Zhao, Zhihua Wang Development of a multifunctional active food packaging membrane based on electrospun polyvinyl alcohol/chitosan for preservation of fruits // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. №277. P. 1-13.

Научный руководитель – Ткаченко Т.Б., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ МЕДИ И ХРОМА В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ 523 К

Шлома Е.А.

ФГБОУ ВО "Кемеровский Государственный Университет"

lenkapopp@mail.ru

Аннотация: в последние годы системы, основанные на наноразмерных и сверхтонких металлических плёнках, получили широкое применение в промышленности и науке. Интерес исследователей в этой области связан с исключительными свойствами, как индивидуальных плёнок, так и их систем. Медь играет ключевую роль в современной промышленности, являясь важнейшим металлом. Отличительным свойством меди является ее высокая способность проводить электрический ток, является материалом токоведущих контактов в различных электронных устройствах, в том числе с применением нанотехнологий. Так же она обладает высокой пластичностью и диамагнитными свойствами. Не менее важным металлом является хром. Хром и его соединения активно используются в металлургии, химической и огнеупорной промышленности. Хромовые оксиды являются превосходными легирующими добавками и обеспечивают исключительную защиту от разрушения рабочих материалов под воздействием коррозии, в том числе при высоких температурах.

Данная работа является частью цикла исследований по установлению способности наноразмерного слоя хрома защищать от окисления наноразмерный слой меди в системах Cu-Cr при температуре воздействия 523 К.

Ключевые слова: оптическая плотность; наноразмерные слои меди, хрома, систем, защита от коррозии.

В работе методом оптической спектроскопии были изучены оптические свойства наноразмерных слоев меди (толщиной 12 нм), хрома (толщиной 7 нм) и систем CuO-Cr, Cu-Cr до и после термического воздействия при $T=523$ К.

Приготовление образцов для работы производилось методом испарения в вакууме ($2 \cdot 10^{-3}$ Па, прибор ВУП-5М) [1-3] с нанесением тонких слоев хрома и меди на чистые стекла, в случае образцов с индивидуальными слоями меди и хрома. Для получения системы CuO-Cr на один из трех образцов меди воздействовали температурой 673 К 45 минут, тем самым получили новое вещество CuO, исходя из оценки величины ширины запрещенной зоны (ШЗЗ) по краю собственного поглощения CuO. После этого на плёнку CuO был нанесен слой хрома. Одновременно с системой CuO-Cr была получена и система Cu-Cr, а также индивидуальная пленка хрома на стекле. Далее образцы исследовали на спектрофотометре «Shimadzu UV-1700.

На рисунке 1 представлены спектры поглощения наноразмерных индивидуальных слоев Cu($d=12$ нм) (2), Cr($d=7$ нм) (4), CuO (5), Cu₂O (6), и систем CuO-Cr (3), Cu-Cr (1) до термического воздействия на них. Можно наблюдать схожесть вида спектра системы Cu-Cr и чистой меди. Оба спектра имеют характерный минимум при длине волны 560 нм. Значения оптической плотности системы CuO-Cr примерно аддитивны по отношению к значениям оптической плотности индивидуальных слоев CuO и Cr во всем измеряемом диапазоне длин волн. Поглощение слоя оксида меди (I) в интервале $\lambda = 300 \dots 470$ нм значительно больше поглощения слоя оксида меди (II), сформированного при более длительном тепловом воздействии (45 мин), но при этом в интервале $\lambda = 470 \dots 900$ нм поглощение Cu₂O меньше.

На рисунке 2 представлены спектры поглощения индивидуального слоя Cu (3) и системы Cu-Cr ($d=12$ нм, $d=7$ нм) до теплового воздействия (2), и после воздействия в течении 1 минуты (4), 6 минут (5), 11 минут (6), 63 минут (7), 228 минут (8), 468 минут (9).

На спектрах поглощения системы Cu-Cr в процессе нагрева наблюдается минимум поглощения, характерный для слоя меди вплоть до 6 минут прогрева.

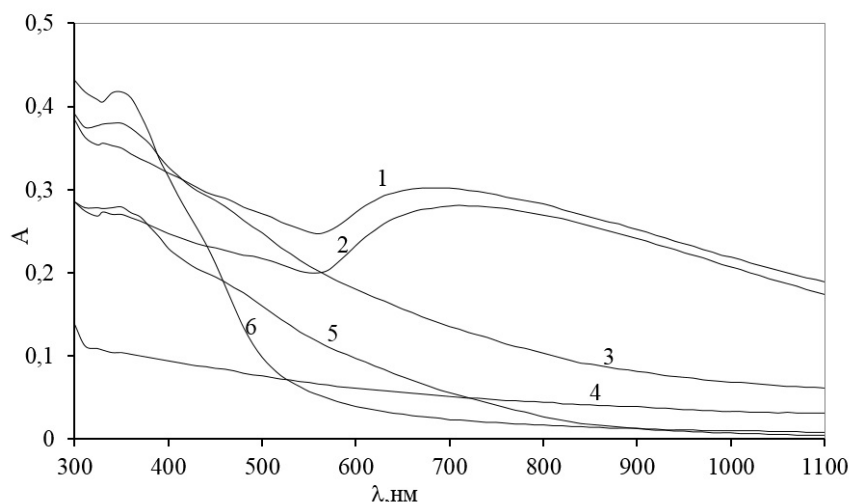


Рисунок 1. Спектры поглощения 1 - Cu-Cr, 2 - Cu, 3 - CuO-Cr, 4 - Cr, 5 - CuO, 6 - Cu₂O до термического воздействия

Также при нагревании системы на протяжении 11 минут, в коротковолновой области при длинах волн от 300 нм до 410 нм наблюдается увеличение оптической плотности, а от 410 нм до 1100 нм её уменьшение. В целом, в результате воздействия тепла оптическая плотность уменьшается, вид спектров постепенно меняется, образуется суммарный спектр поглощения новых веществ, предположительно оксида хрома (III) и оксида меди (I).

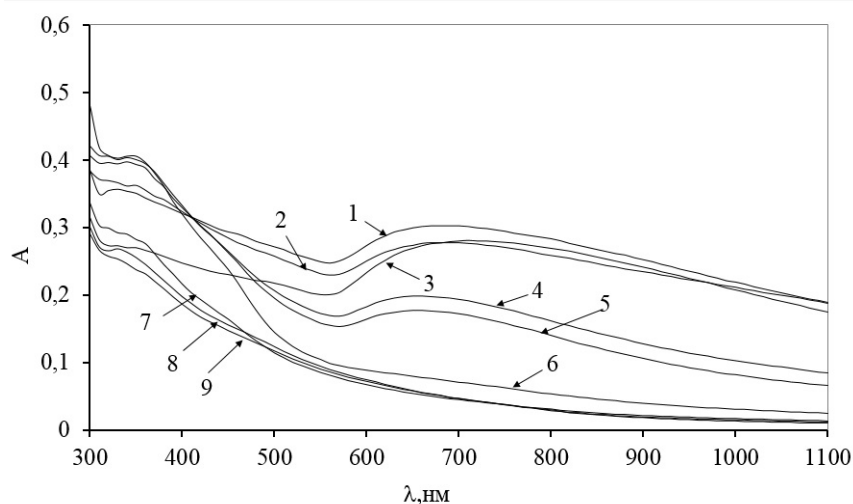


Рисунок 2. Спектры поглощения индивидуального слоя Cu и системы Cu-Cr до и после термического воздействия при T=523 K

На рисунке 3 представлены спектры поглощения исследуемых образцов при T=523K после 6 минут воздействия. Наблюдается изменение вида спектра меди. Характерный минимум поглощения перестаёт наблюдаться, так как образуется новое вещество – Cu₂O. В то время спектр поглощения Cu-Cr не видоизменился. Это свидетельствует о том, что хром оказывает защитное воздействие на плёнку меди и не дает ей полностью окислиться в течение 6 минут воздействия.

На рисунке 4 представлены спектры поглощения исследуемых образцов на протяжении почти восьми часов воздействия, значения оптической плотности которых больше не изменялись. Видно, что поглощение индивидуального слоя меди и системы CuO-Cr в измеряемом диапазоне практически совпадает.

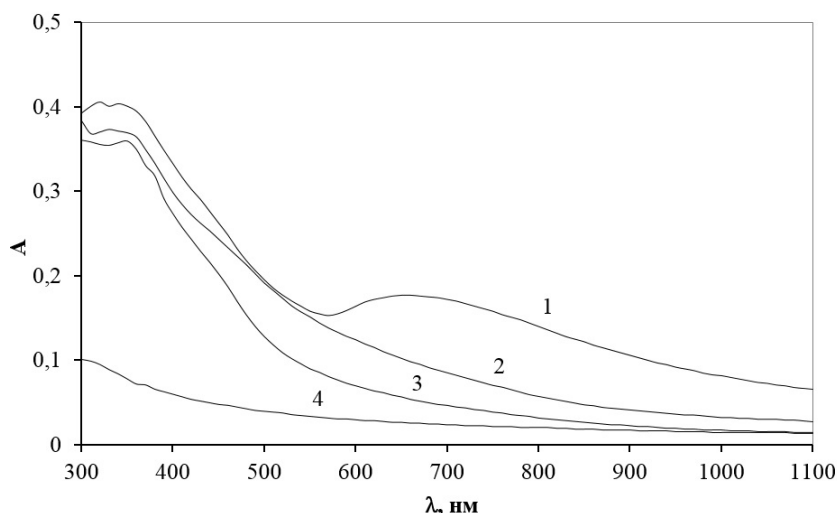


Рисунок 3. Спектры поглощения исследуемых образцов 1 - Cu-Cr, 2 - CuO-Cr, 3 - Cu, 4 - Cr при термическом воздействии при $T=523$ К на протяжении 6 минут

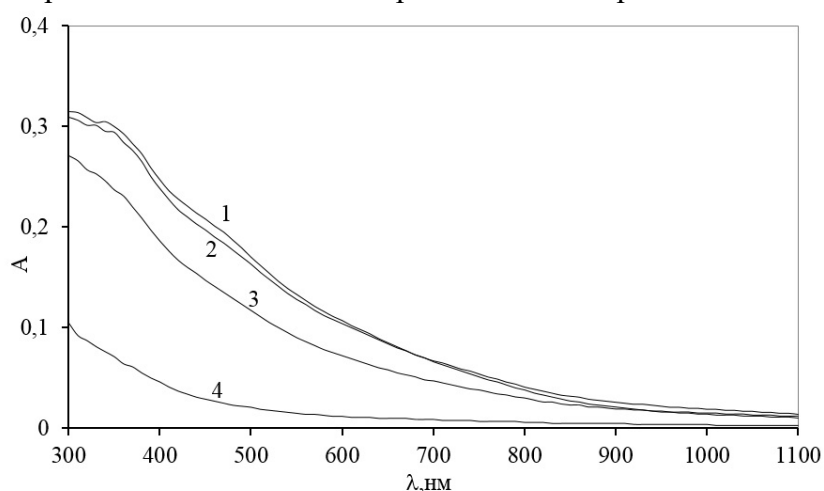


Рисунок 4. Спектры поглощения исследуемых образцов: Cu ($d=12$ нм) (1), Cr ($d=7$ нм) (4), CuO-Cr (2), Cu-Cr (3) при $T=523$ К на протяжении 468 минут

Оптическая плотность образующегося слоя оксида хрома (III) в системе практически не вносит вклад в суммарное поглощение системы CuO-Cr, так как поглощение слоя оксида хрома (III) полученного из индивидуального слоя хрома намного меньше поглощения системы CuO-Cr. Стоит отметить, что оптическая плотность системы Cu-Cr в интервале $\lambda = 300 \dots 900$ меньше оптических плотностей индивидуального слоя меди и системы CuO-Cr. Соответственно, можно предположить, что в результате теплового воздействия при $T=523$ К на систему Cu-Cr подслоя меди окисляется до промежуточного продукта оксида меди (I), а не до оксида меди (II).

Таким образом, в данной работе была показана возможность способности слоя хрома ($d=7$ нм) защищать от окисления слоя меди ($d=12$ нм) не менее 6 минут при $T=523$ К и не допускать его перехода в течение почти восьми часов воздействия в конечный продукт CuO.

Литература и источники

1. Борисова, Н. В. Методы исследования неорганических материалов: учебное пособие// Н. В. Борисова, Л. Н. Бугерко, С. М. Сирик, Э. П. Суровой, И. В. Титов: ГОУ ВПО «КемГУ». – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2008. - 182 с.
2. Surovoi, E.P. Bugerko L.N., Surovaya V.E., Bin S.V. Kinetic Laws of Thermal Transformations in Nickel Nanofilms // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2014, V. 88, № 12, P. 2172-2178.
3. Суровой Э.П., Бин С.В., Суровая В.Э., Бугерко Л.Н. Закономерности формирования наноразмерных пленок нитрида меди // Неорганические материалы, 2016. - Т. 52. - №. 12. - С. 1300–1305.

Научный руководитель – Бин С.В., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ОТКОЛА ПРИ ГИДРАТАЦИИ ШАРООБРАЗНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Захарова К.Е.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Звеков Александр Андреевич, д.ф.-м.н.

zvekova@gmail.com

Аннотация: Химические реакции в твердом теле позволяют получать большую гамму продуктов, включая наноразмерные, пористые и метаматериалы. Из-за возможности накопления в образце упругих напряжения при твердофазных реакциях вид продукта часто управляется откольными явлениями. По данным причинам разработка даже простейших моделей взаимодействия химических и откольных процессов актуально с точки зрения химии твердого тела. В настоящей работе рассмотрено аналитическое решение задачи о накоплении напряжений в шаре при сферической симметрии источников по аналогии с близкой задачей теории упругости шара с радиальным распределением температуры. Предполагалось, что напряжения формируются химической реакцией, протекающей с увеличением объема на примере гидратации. Также считали, что процесс гидратации является обратимой реакцией, а вода может существовать в несвязанном виде в порах или кристаллографических пустотах вещества. Проведено рассмотрение тензора напряжений в шаре и системе «шар + шаровой слой». Шаровой слой моделировал потенциально отколотые слои шара. Сформулирован критерий, основанный на понижении энергии системы при отколе за счет происходящей релаксации механических напряжений, но с затратой энергии образования новой поверхности. Проведены расчеты положения максимального значения напряжений и новой границы, диктуемой наибольшим энергетическим выигрышем при отколе. Показано, что данные положения совпадают только, если учитывать энергию упругих напряжений в откалываемом сферическом слое. В противном случае, откол должен происходить вблизи центра шара, где напряжения отсутствуют, что противоречит физическому смыслу задачи. Таким образом, показано, что необходим учет напряжений в отколотой оболочке шара.

Ключевые слова: механохимия, механические напряжения, гидратация, откол.

Цель работы: уточнение энергетического критерия откола в случае модельного процесса гидратации сферического образца.

Задача о распределении деформации в шарообразном образце в случае сферической симметрии была рассмотрена в учебнике Ландау и Лифшица на примере неоднородно нагретого шара. Замена температуры на функцию источников $S(r)$, вычисляемую из суммы произведений концентраций на относительные изменения объемов, позволяет воспользоваться готовым решением. Для радиальной составляющей деформации шара (в сферической симметрии остальные равны нулю) общее решение имеет вид:

$$u_r = \frac{1+\sigma}{3(1-\sigma)} \cdot \left(\frac{1}{r^2} \int_0^r S(\rho) \rho^2 d\rho + Cr \right) \quad (1)$$

где σ - коэффициент Пуассона, C – постоянная, определяемая из граничных условий. В качестве последних возьмем условия свободной поверхности, на которой должны обратиться в нуль компоненты тензора напряжений. Для отличных от нуля компонент тензора деформации имеем:

$$u_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r} = \frac{1+\sigma}{3(1-\sigma)} \cdot \left(-\frac{2}{r^2} \int_0^r S(\rho) \rho^2 d\rho + S(r) + C \right) \quad (2)$$

$$u_{\theta\theta} = u_{\varphi\varphi} = \frac{u_r}{r} = \frac{1+\sigma}{3(1-\sigma)} \cdot \left(\frac{1}{r^2} \int_0^r S(\rho) \rho^2 d\rho + C \right) \quad (3)$$

$$\sigma_{rr} = \frac{E}{1+\sigma} \cdot \left[u_{rr} + \frac{\sigma}{1-2\sigma} (u_{rr} + u_{\theta\theta} + u_{\varphi\varphi}) \right] = \frac{E}{2(1+\sigma)(1-2\sigma)} \cdot \left[(1-\sigma) \frac{\partial u_r}{\partial r} + 2\sigma \frac{u_r}{r} \right] \quad (4)$$

где E – модуль Юнга. Подставляя значения деформации и ее производной по радиус-вектору, получим:

$$\sigma_{rr} = \frac{E}{6(1-2\sigma)} \cdot \left[-(1-2\sigma) \frac{2}{r^3} \int_0^r S(\rho) \rho^2 d\rho + (1-\sigma) S(r) + (1+\sigma) C \right] \quad (4)$$

Отсчитывая функцию источников от значения на границе шара, из условия $\sigma_{rr}|_{r=R} = 0$ имеем:

$$C = 2 \frac{1-2\sigma}{1+\sigma} \cdot R^{-3} \cdot \int_0^R S(\rho) \rho^2 d\rho \quad (5)$$

Энергия механических напряжений определяется через квадраты компонент тензора деформации:

$$F = \frac{E}{2(1+\sigma)} \left(u_{ik}^2 + \frac{\sigma}{1-2\sigma} u_{ll}^2 \right) = E \frac{1-\sigma}{2(1+\sigma)(1-2\sigma)} \left[\left(\frac{\partial u_r}{\partial r} \right)^2 + 2 \left(\frac{u_r}{r} \right)^2 \right] \quad (6)$$

Общая энергия напряжений получается интегрированием выражения (6) по объему тела.

Для получения условий откола необходимо также рассмотреть напряжения, остающиеся в отколоте оболочке. Если пренебречь ими, откол может произойти только у центра шара, чтобы минимизировать площадь образующейся поверхности. Описанный вариант противоречит физическому смыслу, поскольку в данной области могут вообще отсутствовать механические напряжения. Кроме того, если в сферической оболочке источники напряжений сконцентрированы у внешней границы и близки к нулю около центра, то при малом внутреннем диаметре отколота оболочка должна иметь практически ту же энергию напряжений, что и исходный шар. Распределение радиальной составляющей деформации в оболочке имеет вид:

$$u_r = \frac{1+\sigma}{3(1-\sigma)} \cdot \left(\frac{1}{r^2} \int_{R_1}^r S(\rho) \rho^2 d\rho + Ar + \frac{B}{r^2} \right) \quad (7)$$

где постоянные A и B определяются исчезновением напряжений на внутренней и внешней границах. Повторяя предыдущие рассуждения, для них получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} (1-\sigma)S(R_1) + (1+\sigma)A - 2(1-2\sigma)\frac{B}{R_1^3} = 0 \\ -\frac{2(1-2\sigma)}{R_2^3} \int_{R_1}^{R_2} S(\rho) \rho^2 d\rho + (1-\sigma)S(R_2) + (1+\sigma)A - 2(1-2\sigma)\frac{B}{R_2^3} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Решение данной системы приводит к значениям постоянных:

$$B = \frac{R_1^3 R_2^3}{R_2^3 - R_1^3} \left[\frac{1}{R_2^3} \int_{R_1}^{R_2} S(\rho) \rho^2 d\rho + \frac{1-\sigma}{2(1-2\sigma)} (S(R_1) - S(R_2)) \right] \quad (9)$$

$$A = \frac{1}{1+\sigma} \left[2(1-2\sigma) \frac{B}{R_1^3} - (1-\sigma)S(R_1) \right] \quad (10)$$

Изменение энергии при отколе на координате r имеет вид:

$$\delta F = -F_{sp}(R) + F_{sp}(r) + F_{sh}(r, R) + 8\pi r^2 \sigma_s \quad (11)$$

где $F_{sp}(R)$ – общая энергия напряжений в шаре до откола, $F_{sp}(r)$ и $F_{sh}(r, R)$ – общие энергии напряжений в отколоте оболочке и полученном после откола шаре радиуса r , $8\pi r^2 \sigma_s$ – энергия образовавшейся поверхности, σ_s – удельная энергия поверхностного натяжения.

Полученные выражения позволяют вычислить значение координаты r , при котором уменьшении энергии будет наибольшим. Модель также может быть дополнена энергией активации откола. На рис. 1. приведен пример, иллюстрирующий зависимость изменения свободной энергии от координаты возможного откола. Функции источников были получены при решении задачи диффузии воды с обратимой реакцией гидратации.

Зависимость на рис. 1 области малых значений r , где нет источников напряжений увеличение энергии при отколе связано только с появлением новой поверхности, так как суммарная энергия напряжений в шаре и отколовшейся оболочке совпадают. Максимум формируется в области, где источники сформировали градиент напряжений. Затем возникает область спада и отрицательных значений.

В этом случае откол приведет к образованию оболочки достаточно тонкой, чтобы ее напряжения практически полностью релаксировали до нуля, как и в образовавшемся шаре меньшего радиуса. Соответствующее распределение величины полностью радиальной компоненты тензора напряжений приведено на рис. 2. Стрелками на рис. 1 показана область минимума δF , а на рис. 2 – максимума σ_{rr} . Хорошо видно, что откол, ведущий к наибольшему выигрышу в энергии, происходит в области, где присутствуют растягивающие напряжения, что согласуется с физическим смыслом процесса.

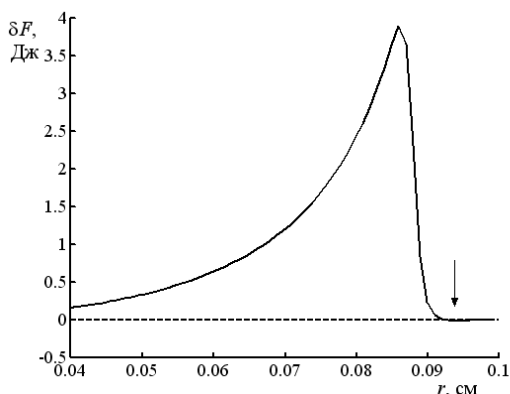


Рис. 1. Пример рассчитанной зависимости изменения энергии при отколе от положения границы откола

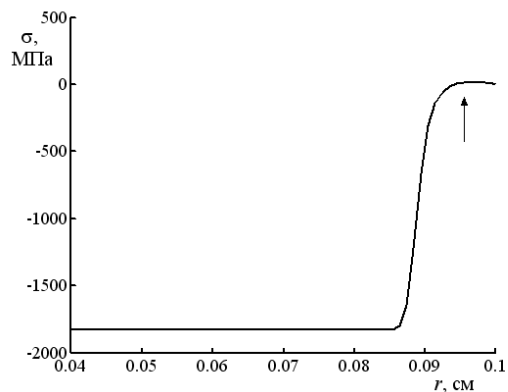


Рис. 2. Соответствующее рис. 1 распределение напряжений в образце (σ_{rr})

Таким образом, проведено уточнение условия откола в модельном случае шарового образца и показана его согласованность с наличием растягивающих напряжений. В дальнейших работах критерий будет использован для моделирования процесса гидратации и оценки влияния откола на ускорение данного процесса.

Литература и источники

1. Захарова К.Е. Влияние откола на скорость гидратации твердого тела // В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ФИЗИКЕ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКЕ И ИНФОРМАТИКЕ: Материалы XIX (LI) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей» [Электронный ресурс]; Кемеровский государственный университет. – Кемерово: КемГУ, 2024. – Вып. 25. С. 70-72.

2. Ландау Л.Д. , Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Теория упругости // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003 - Т. VII. - 264 с.

Научный руководитель – Звеков А.А., д.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

АНАЛИЗ ОСЦИЛЛОГРАММ СВЕЧЕНИЯ УГЛЯ МАРКИ Б ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

*Брызгалов А.В., Манагаров Д.В., *Гарифуллин Г.В.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

alex.eto.ya@yandex.ru

Аннотация: цель настоящего исследования - анализ динамики процессов свечения бурого угля при лазерном инициировании. Отдельное внимание уделяется исследованию временных зависимостей интенсивности лазерного излучения, сопровождающего начальные стадии теплового разложения и возможного воспламенения угольных частиц. В эксперименте использовались образцы бурого угля с влажностью порядка 40%, истинной плотностью 1,3-1,5 г/см³ и насыпной плотностью 0,7-0,9 г/см³. В качестве источника инициирующего воздействия выступал импульсный лазер YAG:Nd³⁺, режим свободной генерации (длина волны 1064 нм, длительность импульса 120 мкс). Для проведения эксперимента использовались лазерные импульсы с различными плотностями лазерного излучения, сигналы свечения регистрировались при помощи фотоэлектронного умножителя и анализировались во временном интервале от 0 до 150 мкс. Полученные осциллограммы позволили выделить временную структуру процессов, происходящих в данной марке угля: при превышении критической плотности энергии следуют ярко выраженные всплески свечения до 160 мВ и временной задержкой около 2 мс, что говорит о развитии устойчивого зажигания после термической индукции; в более низкой области энергии фиксируются неустойчивые и слабые всплески, растянутые во времени и не формирующие полноценного пикового свечения, которое характерно для горения. Сопоставления временной структуры свечения с осциллограммой лазерного импульса показало наличие задержки начала свечения исследуемой марки угля, что подтверждает термохимическую природу процессов. Полученные результаты позволяют уточнить критические плотности энергии зажигания и предложить использовать осциллографический анализ, в части определения временной структуры процесса зажигания, как средство диагностики и оптимизации лазерного инициирования горения угля.

Ключевые слова: импульсный лазер, уголь марки Б, лазерное зажигание, осциллограмма свечения, критическая плотность энергии.

В эксперименте использовался уголь марки Б Кузнецкого угольного бассейна. Очистку образца угля проводили путем последовательной обработки соляной и плавиковой кислот, объем и концентрация которых составляли 500 мл и 10% (масса навески угля 50 г) соответственно с последующей 10-часовой выдержкой и декантацией кислот. Параметры очищенного (деминерализованного) угля составляли до и после 10,1 и 0,5 % по массе [1].

В эксперименте применялась установка, схема которой показана на рисунке 1.

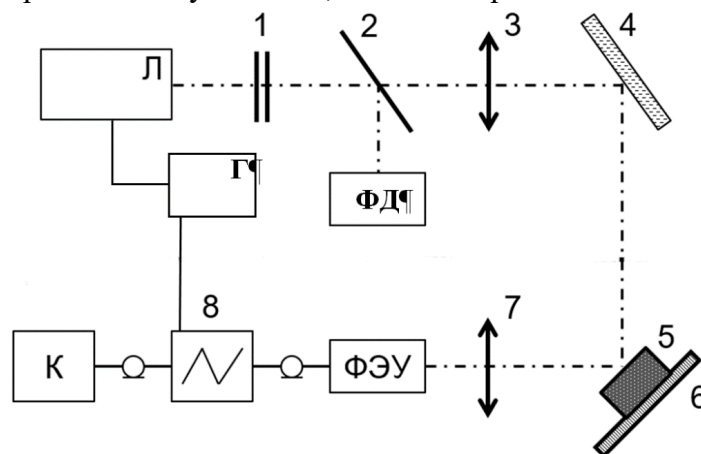


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – нейтральные светофильтры, 2 – светоделительная пластина, 3, 7 – линза, 4 – поворотное зеркало, 5 – образец угля, 6 –

массивное основание, 8 – осциллограф, Л – YAG:Nd³⁺-лазер, ФД – калиброванный фотодиод, ФЭУ – фотоэлектронный умножитель, К – компьютер, Г – импульсный генератор

В ходе эксперимента использовался импульсный лазер YAG:Nd³⁺ в режиме свободной генерации с длиной волны (λ) = 1064 нм и длительностью импульса (τ) = 120 мкс [2]. Для фиксации свечения угля использовался фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) Н10721-01.

На рисунке 2 представлены зарегистрированные осциллограммы свечения образца угля марки Б при помощи ФЭУ (рис. 1, поз. «ФЭУ») и осциллографа (рис. 1, поз. 8).

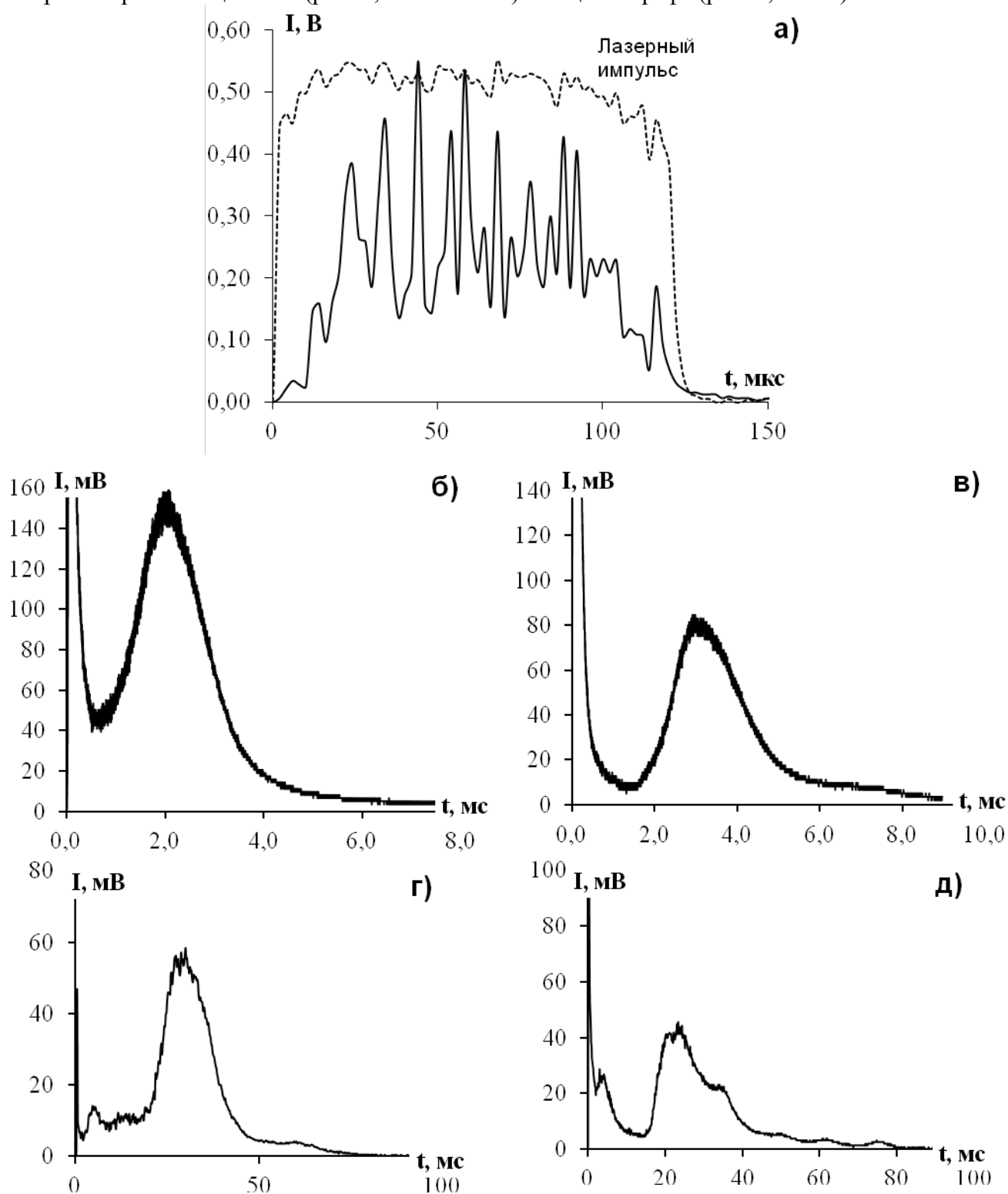


Рисунок 2. Осциллограммы свечения пламени частиц бурого угля, измеренные при различных плотностях лазерного излучения: б – исходный образец (соответствует второму критическому уровню плотности энергии H_{cr}^2 (50% вероятности регистрации зависимости интенсивности излучения пламени от времени)); в – деминерализованный (соответствует

H_{cr}^2); г – исходный образец (соответствует третьему критическому уровню H_{cr}^3); д – деминерализованный (соответствует H_{cr}^3)

Отметим, H_{cr} – критическая плотность энергии, соответствующая 50% вероятности регистрации зависимости интенсивности излучения пламени от времени и, соответственно, H_{cr}^2 и H_{cr}^3 – критические энергии лазерного зажигания второго и третьего критических уровней.

На осциллограммах (б) и (в) соответствующие второму критическому уровню, наблюдается хорошо выраженный максимум интенсивности свечения, достигающий 160 и 90 мВ соответственно. Максимум для исходного образца фиксируются через ~ 2 мс после начала воздействия лазерного импульса, указывая на характерный термический инкубационный период, который необходим для накопления энергии и нагрева самих частиц для последующего их зажигания. Для деминерализованного образца идет снижение интенсивности свечения и сглаживание пика, что предположительно может быть связано с отсутствием в образце каталитических и минеральных активных веществ, которые могут участвовать локальной концентрации инициации реакции при лазерном воздействии.

На осциллограммах (г) и (д) соответствующие уже третьему критическому уровню, интенсивность свечения значительно ниже и не превышает 60-70 мВ. Временная структура в обоих случаях растянута до 100 мс, форма сигналов же характеризуется выраженными флуктуациями, что предполагает о неустойчивом локальном термическом разложении частиц угля без перехода к полноценному горению. Разница в форме и амплитуде свечения между исходным и деминерализованным образцом говорит о влиянии минеральной фазы на тепловую реакцию материала угля. Снижение интенсивности свечения у деминерализованного образца может свидетельствовать о более равномерном распределении энергии и отсутствием очагов локального перегрева

Особый интерес представляет осциллограмма (а), у которой длительность горения частиц угля совпадает с длительностью импульса лазера. Структура импульса лазера повторяет пучковую структуру импульса лазера, работающего в режиме свободной генерации. Длительность излучения составляет 150 мс и характеризуется структурой. Свечение начинается с задержкой, подтверждая, что свечение не связано с люминесценцией, а обусловлено термохимическими процессами в углеродном составе угля, происходящими после накопления энергии.

На основе вышесказанного можно сделать некоторые выводы:

- переход от H_{cr}^2 к H_{cr}^3 сопровождается увеличением интенсивности и устойчивости свечения угля марки Б;
- наличие минеральных примесей способствует формированию более яркого свечения;
- деминерализация приводит к снижению пиковой интенсивности и сглаживанию временного профиля свечения, указывая на изменение теплового поведения и условий зажигания частиц угля.

Литература и источники

1. Адуев Б.П., Нурмухаметов Д.Р. Зажигание каменных углей лазерными импульсами в режиме модуляции добротности // Химия твердого топлива. – 2021. - № 3.

2. Адуев Б.П., Нурмухаметов Д.Р., Крафт Я.В. Воздействие импульсов неодимового лазера наносекундной длительности на бурый уголь // Журнал прикладной спектроскопии. – 2021. – №. 4. – С. 582-586.

Научные руководители – Газенаур Е.Г. к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

Аннотация: Нанотехнологии, как передовой раздел науки и техники, переживают бурный рост в последние годы. Они охватывают разработку и применение материалов, приборов и технологических комплексов, чья работа обусловлена наноструктурой. Ключевым компонентом нанотехнологий являются наноматериалы. Биметаллические системы демонстрируют улучшенные характеристики в сравнении с однометаллическими. Они используются в катализе, сенсорах, хранении энергии, биомедицине и других областях. Часто биметаллические системы применяются для снижения стоимости материалов, где используется более дешевый металл вместе с благородным, при этом сохраняя свойства. Способ изготовления играет ключевую роль в формировании итоговой структуры биметаллических наночастиц. В литературных источниках описано множество способов получения биметаллической системы «ядро-оболочка». Далее представлены некоторые из них: Термолиз металлосодержащих соединений. Среди изученных методик синтеза металлических наночастиц, термическое разложение выделяется своей простотой и широкой распространенностью. Инициирование этого разложения может происходить посредством термолиза, фотолиза, радиолитического или сонолиза. В процессе термического разложения управление размером формируемых наночастиц достигается путем регулирования температурного режима. Разложение прекурсоров металлов под действием ультразвука. Ультразвуковое разложение чаще всего применяют для получения наноразмерных частиц из карбониллов или металлоорганических соединений. Для предотвращения агломерации используют растворы стабилизаторов (дифениламин, трифенилфосфин и т. д.). При этом весь процесс длится от нескольких часов до нескольких суток при комнатной температуре. Далее, для удаления растворителя и стабилизатора, полученный продукт продувается инертным газом при температуре ~600 °С. Восстановление металлов из растворов солей. Получение металлических наночастиц часто осуществляется посредством восстановления солей или кислот металлов в растворах, что является достаточно простым и широко распространенным методом. Однако, при создании таких наночастиц возникают определенные ограничения, обусловленные восстановительными свойствами используемых металлов. Чем выше окислительно-восстановительный потенциал металла, тем легче происходит его восстановление из растворов, что следует учитывать при синтезе. Различие в окислительно-восстановительном потенциале между кобальтом и палладием превышает 1.1 В. Следовательно, в процессе одновременного восстановления этих металлов, палладий, как более благородный элемент, будет восстанавливаться предпочтительнее, чем кобальт, обладающий меньшей благородностью.

Ключевые слова: нанотехнология, система, «ядро-оболочка», биметаллическая.

Для постановки эксперимента был выбран метод восстановления металлов из растворов солей.

Синтез Co-Pd:

1. Навеску прекурсоров металлов кобальта ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и солей металла палладия (PdCl_2) и растворяют в термостойком стакане в определенном объеме воды.
2. Раствор нагревают до 90 °С.
3. Затем одновременно добавляют предварительно взвешенное количество гидроксида натрия и рассчитанное количество гидразина. Мгновенно происходит газовыделение, и образуются нанодисперсные частицы кобальт-палладий, а сам раствор обесцвечивается.
4. Реакцию проводят при интенсивном перемешивании, заданное время.
5. Полученный осадок заливают небольшим количеством воды для прекращения реакции.
6. Промывают наночастицы дистиллированной водой до нейтральной среды. После промывают изопропиловым спиртом и высушивают в вакуумном шкафу.
7. Затем помещают наночастицы в стеклянные бюксы с притертой крышкой.

8. После полученные наночастицы отправляют на исследования.

В ходе работы был синтезирован образец наноструктурированной системы Co-Pd с соотношением компонентов 50/50%.

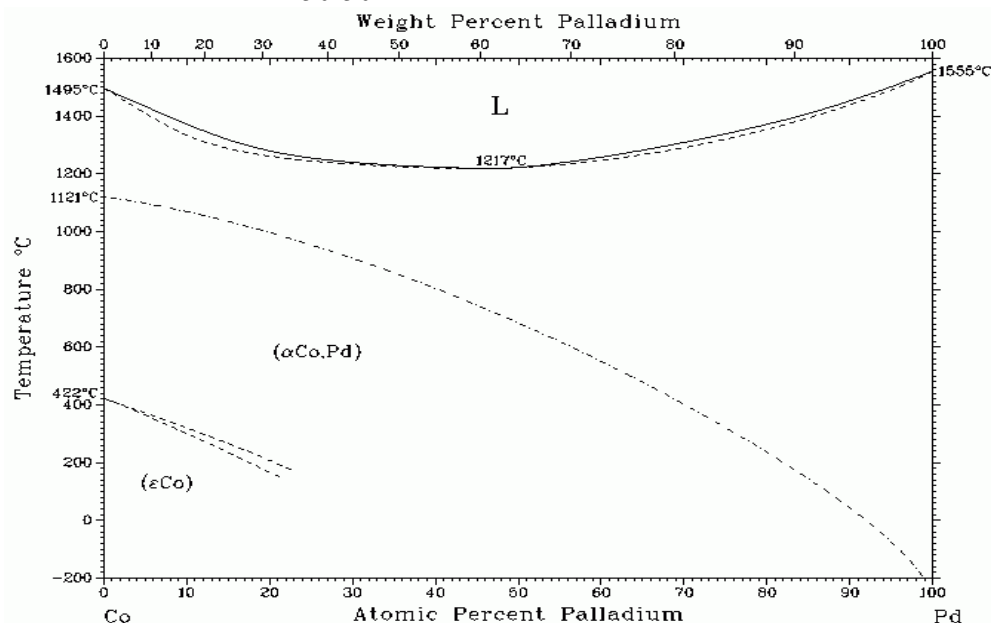


Рис 1. фазовая диаграмма наносистемы Co-Pd

Далее будут изучены практически актуальные свойства биметаллической системы «ядро-оболочка» Co-Pd.

Литература и источники

1. Feng Y.-S., Lin X.-Y., Hao J. et al. // Tetrahedron. 2014. V. 70. P. 5249. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2014.05.083>
2. L. Zhang, Z. Xie and J. Gong, Chem. Soc. Rev., 2016, 45, 3916
3. Eremin, A. V. Iron nanoparticle growth induced by Kr-F excimer laser photolysis of Fe(CO)₅ / A. V. Eremin, E. V. Gurentsov, K. Y. Priemchenko // Journal of nanoparticle research. – 2013. – V. 15. – № 6. – P. 1-15.
4. Губин С. П. Наночастицы палладия / С. П. Губин // Российский химический журнал. – 2006. – Т. 50. – №. 4. – С. 46–55
5. Ghosh Chaudhuri, R. Core/shell nanoparticles: classes, properties, synthesis mechanisms, characterization, and applications / R. Ghosh Chaudhuri, S. Paria // Chemical reviews. – 2011. – V. 112. – № 4. – P. 2373–2433.

Научный руководитель – Корчуганова К.А., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСФЕР ЗОЛОТА

Кигитович А.Ю.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

andreykigitovich@mail.ru

Аннотация. В работе реализован синтез частиц золота восстановление на наноразмерных ядрах цинка. Показано что коллоидный раствор цинка может быть получен воздействием жестко сфокусированного излучения основной частоты неодимового лазера на мишень металлического цинка в среде изопропанола. Полученный коллоидный раствор достаточно устойчив при комнатной температуре, частицы цинка не претерпевают заметного окисления. Полученный коллоидный раствор в дальнейшем применялся для восстановления на наночастицах цинка золота и дальнейшего травления соляной кислотой, чтобы получить наносферы нерастворимого золота.

Ключевые слова: золото, наносферы, наночастицы, оптические свойства.

Настоящая работа посвящена синтезу полых наносфер золота и исследованию их оптических свойств. Наночастицы золота имеют каталитические, ферромагнитные, управляемые оптические свойства, склонны к самосборке актуальных наноструктур. Наночастицы золота обладают большой удельной площадью поверхности для соединения с биологическими тканями и макромолекулами такими как белки. Коллоидное золото в отличии от меди и ряда других металлов химически стабильно, отлично рассеивает свет и нетоксично. Золотые наночастицы перспективны в медицине для лечения рака и опухолей, носителями или переносчиками различных молекул, носителями белков, в доставке ДНК и РНК, доставки двухатомных терапевтических препаратов, как особо эффективные детекторы токсинов, бактерий и вирусов, конъюгации с антибиотиками, что позволяет их использовать для терапевтической доставки лекарств и катализа [1]. Полые наносферы золота демонстрируют еще более сильные эффекты усиления по сравнению с изолированными цельными наночастицами и могут быть использованы для высоко воспроизводимого иммуноанализа раковых маркеров [2] Цель работы: Синтезировать полые наносферы золота. Методом лазерной абляции получить нанозинк с последующим восстановлением его на ядре цинка. Для достижения цели работы решены следующие задачи:

1. Получить раствор наночастиц цинка.
2. Получить полые наносферы золота, взаимодействием цинка с HAuCl_4 .
3. Исследовать оптические свойства и морфологию полученного продукта.

Для получения наноразмерного цинка в изопропаноле использована лазерная система LDPL10-1500. Методом лазерной абляции при воздействии сфокусированного излучения основной гармоники неодимового лазера на мишень металлического цинка в среде изопропанола получен золь наночастиц цинка, который в дальнейшем применялся для восстановления на них золота и дальнейшего травления соляной кислотой чтобы получить наносферы нерастворимого золота. Полученный коллоидный раствор наночастиц цинка достаточно устойчив при комнатной температуре, частицы цинка не претерпевают заметного окисления.

На каждом шаге синтеза определялись спектры поглощения и экстинкции образцов. Исследования проводились с использованием спектрофотометра «SHIMADZU UV-3600». Диапазон длин волн при измерении спектра составлял 190-1400 нм. Спектрофотометр работал при толщине кюветы 1 см в диапазоне оптических плотностей 0,005-4. Желтовато бурый коллоидный раствор цинка при добавлении золотохлороводородистая кислота (ЗХВК) приобретает красно фиолетовый цвет, а после добавления соляной кислоты приобретает синий цвет. Полученные в эксперименте спектры хорошо согласуются с теоретическими. На рисунке 1 показан спектр экстинкции коллоидного раствора цинка, который имеет выраженное плечо с максимумом около 355 нм и спадом, проходящим через всю видимую область к ближней ИК. После добавления ЗХВК плечо в районе 355 нм заметно проседает, при этом появляется пик с максимумом в районе 540 нм (рис 1). После добавления соляной кислоты и растворения открытых ядер цинка оптическое поглощение на границе

ультрафиолетовой и видимой области пропадает, значительно проседает поглощение в области 540 нм, которое мы связываем с частицами цинка покрытых оболочкой золота и появляется новый максимум поглощения с максимумом приблизительно 730 нм (рис 1). Полученные спектры позволили нам сделать вывод, что получены полые частицы золота, однако распределение соотношений радиусов к толщине стенки для полученных частиц имеет чрезвычайно широкое распределение.

Анализ изображений, полученных с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ), заставили нас значительно скорректировать оценки результатов проделанного эксперимента. Полученные частицы представляют из себя сочетание закрытых полых сфер, часть из которых содержит остатки ядра цинка, незамкнутых сферических чешуек, состоящих из сросшихся золотых частиц, и небольшого количества отдельных золотых частиц малого размера.

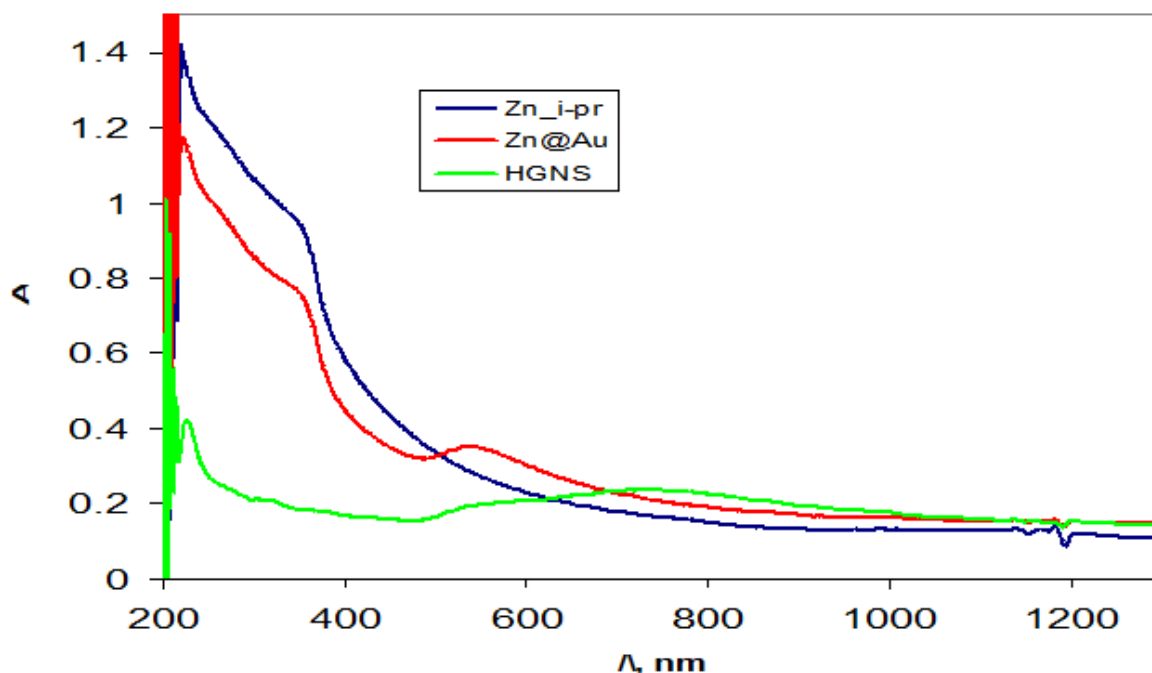


Рисунок 1. Спектры поглощения золей наночастиц цинка полученных лазерной абляцией, после добавления к наночастицам цинка ЗХВК и последующего добавления соляной кислоты.

Литература и источники

1. Wilson, R. (2008). The use of gold nanoparticles in diagnostics and detection. Chemical Society Reviews, T. 37(9), P. 2028.
2. Cai, W. (2008). Applications of gold nanoparticles in cancer nanotechnology. Nanotechnology, Science and Applications, Volume T. 1, P. 17–32.

Научный руководитель – Каленский А.В., д.ф.-м.н., профессор (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НЕНАСЫЩЕННОЙ ПОЛИЭФИРНОЙ СМОЛЫ НА ЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**Кречетова М.А.**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

mashkrech@gmail.com

Аннотация: В работе представлены результаты исследования влияния компонентного состава ненасыщенной полиэфирной смолы (НПС) на ключевые технологические характеристики: температуру экзотермического пика и объемную усадку при отверждении. Уменьшение этих показателей способствует повышению качества получаемых изделий. Актуальность исследования обусловлена широким применением НПС в композиционных материалах и необходимостью оптимизации их свойств для обеспечения стабильности размеров и повышения эксплуатационной надёжности конечных изделий. Особое внимание уделено влиянию содержания пропиленгликоля (ПГ) в смеси гликолей, поскольку он характеризуется отличающейся от других гликолей структурой и пониженной реакционной способностью.

Синтез экспериментальных образцов проводился при варьировании соотношения ПГ, диэтиленгликоля (ДЭГ) и этиленгликоля (ЭГ) при практически постоянном содержании ангидридных компонентов. Температура экзотермического пика определялась по ГОСТ 21970-2015, объемная усадка — по ГОСТ Р 57593-2017. Установлено, что увеличение содержания ПГ приводит к уменьшению температуры экзотермического пика и объемной усадки отвержденной смолы. Снижение температуры экзотермического пика и уменьшение объемной усадки при увеличении содержания ПГ объясняется как пониженной реакционной способностью вторичных –ОН-групп, так и стерическими ограничениями, возникающими в процессе полимеризации.

Полученные зависимости между содержанием ПГ и исследуемыми параметрами аппроксимированы линейными зависимостями, что позволяет прогнозировать свойства смолы при изменении ее компонентного состава, а также использовать результаты при проектировании рецептур с заданными характеристиками. Это может быть использовано при разработке материалов, предназначенных для изделий сложной формы, где важно минимизировать внутренние напряжения и геометрические отклонения.

Ключевые слова: ненасыщенные полиэфирные смолы, экзотермический пик, объемная усадка.

1. Введение

Ненасыщенные полиэфирные смолы относятся к числу наиболее широко применяемых термореактивных полимеров, используемых при производстве стеклопластиков, строительных и антикоррозионных покрытий, клеевых и лакокрасочных материалов [1].

Физико-химические и технологические свойства НПС в значительной степени определяются их компонентным составом. Изменение соотношения между полиэфирной матрицей, реакционноспособным мономером, отвердителями и функциональными добавками может существенно повлиять как на кинетику отверждения, так и на характеристики готового материала [2–3]. Кроме того, состав смолы оказывает влияние на её себестоимость, что делает задачу оптимизации рецептур актуальной как с технологической, так и с экономической точки зрения [4].

К числу ключевых эксплуатационных характеристик НПС относятся температура экзотермического пика и объемная усадка. Снижение этих показателей позволяет повысить стабильность геометрических размеров изделий и снизить внутренние напряжения, возникающие в процессе отверждения.

Целью работы является исследование взаимосвязей между компонентным составом смолы, температурой экзотермического пика и объемной усадкой, что позволит повысить эффективность проектирования составов НПС для решения конкретных технологических задач.

2. Методы

При исследовании варьировался состав гликолей при незначительном увеличении количества ангидридов (табл. 1). В таблице 1 и далее ПГ – пропиленгликоль, ДЭГ – диэтиленгликоль, ЭГ – этиленгликоль, ФА – фталевый ангидрид, МА – малеиновый ангидрид.

Таблица 1. Компонентный состав экспериментальных образцов

Номер образца	Содержание компонентов					
	ПГ, %	ДЭГ, %	ЭГ, %	ФА, %	МА, %	Прочие компоненты, %
1	-	24,6	5,7	22,8	15,1	31,8
2	4,8	20,0	4,9	23,2	15,4	31,7
3	9,7	15,2	4,0	23,6	15,6	31,9
4	14,7	11,9	2,0	23,8	15,8	31,8
5	19,9	6,9	1,0	24,3	16,1	31,8

Синтез образцов проводился в лабораторном реакторе с термостатируемой рубашкой, механической мешалкой, азотной продувкой и термопарой.

На первой стадии смесь нагревали ступенчато: до 115–125 °С (5–10 °С/мин) с выдержкой 30 мин; затем до 170–175 °С (2–4 °С/мин) с выдержкой 30 мин. Начало поликонденсации фиксировали по выделению воды и росту вязкости. Далее температуру реакционной массы повышали до 207–210 °С со скоростью 2–4 °С/мин. Поликонденсация продолжалась не менее 3 ч, с периодическим отбором проб. Реакцию завершали при кислотном числе не более 33–35 мг КОН/г.

После завершения синтеза смесь охлаждали до 175 °С, вводили ингибитор (гидрохинон), затем при 120 °С добавляли стабилизированный стирол. Совмещение компонентов проводили при 75–85 °С в течение 40–50 мин. По окончании процесса массу охлаждали до 40 °С, перемешивание останавливали, и смолу сливали в тару для дальнейшего анализа.

Температуру экзотермического пика $T_{эп}$ определяли по ГОСТ 21970-2015 путем непрерывного измерения температуры смолы в процессе отверждения до момента достижения максимального значения температуры и начала ее понижения.

Объемную усадку определяли по ГОСТ Р 57593-2017 по формуле

$$S_v = \frac{\rho_c - \rho_0}{\rho_0} \quad (1)$$

где ρ_c – плотность неотвержденного образца; ρ_0 – плотность отвержденного образца.

3. Результаты и обсуждение

Закономерности изменения температуры экзотермического пика $T_{эп}$ и объемной усадки S_v при увеличении содержания ПГ в полиэфирной ненасыщенной смоле показаны на рис. 1-2.

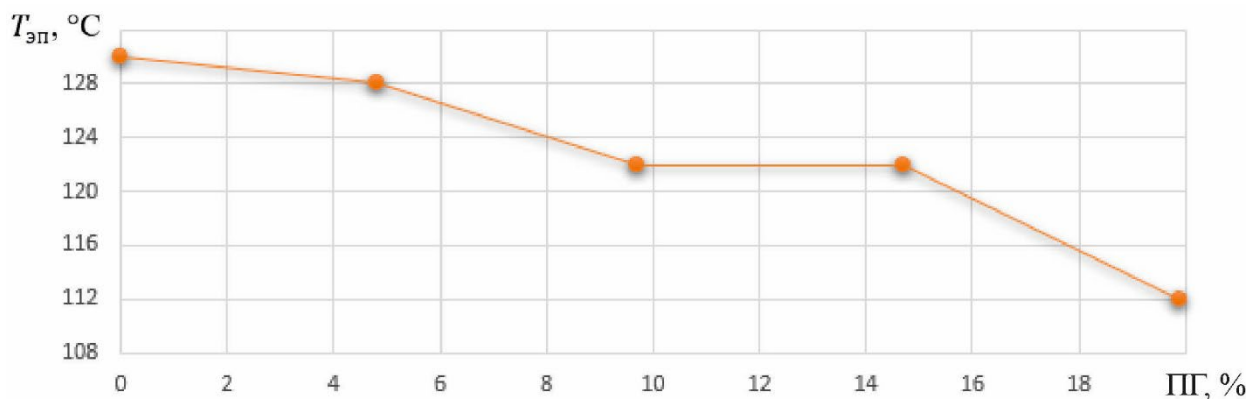


Рисунок 1. Изменение температуры экзотермического пика при увеличении содержания ПГ

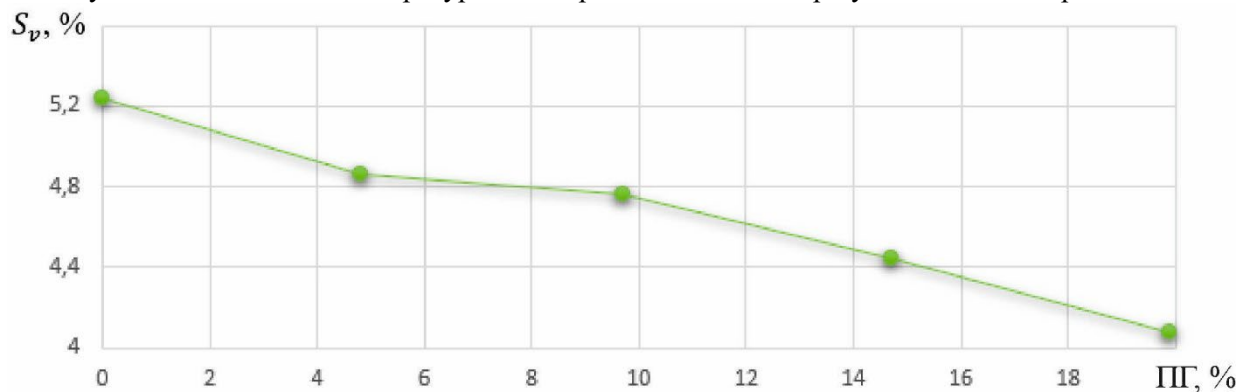


Рисунок 2. Изменение объемной усадки при увеличении содержания ПГ

Анализ полученных результатов показывает, что при увеличении содержания ПГ температура экзотермического пика и объемная усадка отвержденной смолы уменьшается. Аппроксимация экспериментальных данных позволила установить следующие зависимости:

$$T_{эп} = 131,13 - 0,8479 \cdot \text{ПГ} \quad (2)$$

$$S_v = 5,22 - 0,0552 \cdot \text{ПГ} \quad (3)$$

Снижение температуры экзотермического пика связано с пониженной реакционной способностью вторичных гидроксильных групп ПГ по сравнению с первичными –ОН-группами ЭГ и ДЭГ. Это приводит к замедлению поликонденсации и меньшему тепловыделению. Объемная усадка уменьшается за счёт образования менее плотной полимерной сетки. Стерические ограничения, вызванные метильной группой у ПГ, дополнительно препятствуют плотной упаковке макромолекул. Кроме того, меньшая реакционная способность ПГ может снижать степень конверсии, особенно без катализаторов, что также влияет на снижение усадки.

Однако следует учитывать, что использование ПГ в составе смолы приводит к увеличению её себестоимости, поскольку его стоимость на 65–75 % выше стоимости ДЭГ и ЭГ. В связи с этим при разработке рецептов НПС необходимо учитывать требуемый баланс между улучшением эксплуатационных характеристик и ростом стоимости материала в зависимости от требований к конечному продукту.

4. Выводы

Установлено, что увеличение содержания пропиленгликоля в составе ненасыщенной полиэфирной смолы приводит к снижению температуры экзотермического пика и объемной усадки. Это связано с низкой реакционной способностью вторичных гидроксильных групп ПГ и стерическими затруднениями, возникающими из-за наличия боковой метильной группы, что ограничивает плотность сшивки полимерной сетки. В результате формируется

менее уплотнённая структура с пониженным тепловыделением и усадкой при отверждении. Однако повышение содержания ПГ сопровождается увеличением себестоимости смолы, что следует учитывать при разработке рецептур с учётом требований к свойствам и экономике материала.

Литература и источники

1. Ellis B. Chemistry and Technology of Epoxy Resins. — Berlin : Springer, 1993. — 250 p.
2. Zweifel H. Plastics Additives Handbook. — Munich : Hanser Publishers, 2009. — 900 p.
3. Stevens M.P. Polymer Chemistry: An Introduction. — Oxford : Oxford University Press, 1999. — 567 p.
4. Malucelli G., Bongiovanni R., Priola A. Unsaturated polyester resins: Influence of the styrene concentration on the miscibility and mechanical properties // European Polymer Journal. — 2002. — Vol. 38, Issue 5. — P. 935–945. — DOI: 10.1016/S0014-3057(01)00251-3.

Научный руководитель – Салищева О.В., д.х.н., доцент, (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЗАЗУРИНА В РЕЗОРУФИН

Кудрявцев Н.Я.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

kud_nik@mail.ru

Аннотация. В работе исследованы кинетические закономерностей восстановления резазурина в резорурфин. Резазурин используется в качестве простого, быстрого, надежного, чувствительного и безопасного средства для измерения жизнеспособности клеток, что определяет актуальность настоящей работы. Содержание резорурфина обычно определяется по его люминесценции, однако для количественных оценок необходимо учитывать, что измеряемый сигнал люминесценции искажается поглощением. Цель настоящей работы – оценить возможность экспериментального измерения кинетических закономерностей восстановления резазурина в резорурфин, концентраций компонентов цепочки восстановления резазуринов – резорурфин – дигидрорезорурфин по изменению спектров люминесценции и поглощения. Решены следующие задачи: измерены спектры люминесценции и поглощения раствора в процессе восстановления, рассчитана интенсивность исправленной на поглощение люминесценции, построены кинетические зависимости концентраций компонентов в растворе, полученные кинетические зависимости хорошо описываются кинетикой последовательных реакций первого порядка.

Настоящая работа посвящена исследованию кинетических закономерностей восстановления резазурина в резорурфин. Резазурин – окислительно-восстановительный краситель, представляет собой раствор темно-синего цвета, который практически не проявляет собственной флуоресценции. При восстановлении резазуринов переходит в высокофлуоресцентный розовый краситель резорурфин. Резорурфин, полученный в результате восстановления резазурина, измеряют с помощью спектрофлуориметрии или спектрофотометрии. Дальнейшее восстановление резорурфина приводит к образованию бесцветного дигидрорезорурфина. Впервые метод восстановления резазурина до резорурфина был использован еще около ста лет назад для количественной оценки содержания бактерий в молоке Пешем и Симметром [1]. В настоящее время активно используется в качестве индикатора бактериальной активности [2]. Таким образом резазурин используется в качестве простого, быстрого, надежного, чувствительного и безопасного средства для измерения жизнеспособности клеток, что определяет актуальность настоящей работы. Содержание резорурфина обычно определяется по его люминесценции, однако для количественных оценок необходимо учитывать, что измеряемый сигнал люминесценции искажается поглощением. Цель настоящей работы – оценить возможность экспериментального измерения кинетических закономерностей восстановления резазурина в резорурфин, концентраций компонентов цепочки восстановления резазуринов – резорурфин – дигидрорезорурфин по изменению спектров люминесценции и поглощения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Измерить спектры люминесценции и поглощения раствора в процессе восстановления;
2. Рассчитать интенсивность люминесценции, исправленной на поглощение;
3. Построить кинетическую зависимость концентраций компонентов в растворе.

Поскольку резазурин широко используется в качестве флуоресцентного индикатора, для изучения механизма реакции этого индикатора была выбрана флуоресцентная спектроскопия. Спектроскопическое поведение резазурина изучалось методом циклической вольтамперометрии. В начале эксперимента от -0,10 В до -0,55 В спектральных изменений не наблюдается, что свидетельствует об отсутствии реакции. Однако при более отрицательном потенциале, от -0,55 В до -0,65 В, уменьшение резазуринов до резорурфина приводит к небольшому увеличению интенсивности флуоресценции. Эмиссия

флуоресценции увеличивается после того, как второй процесс восстановления еще происходит за счет генерации резазурина. Однако при более отрицательном потенциале, чем -0,65 В, интенсивность флуоресценции увеличивается медленнее вследствие восстановления резорубина до дигидрорезорубина. В этой области потенциалов резорубин ведет себя как промежуточная реакция между резазурином и дигидрорезорубином, и наклон эволюции флуоресценции уменьшается по сравнению с тем, который наблюдался во время первого процесса восстановления. Флуоресценция медленно увеличивается не только при катодном сканировании, но и при обратном сканировании до -0,55 В.

Механизм реакции изучался также методом хроноамперометрии. Эмиссия флуоресценции регистрировалась одновременно с электрохимическим экспериментом, и в качестве репрезентативных были выбраны две полосы эмиссии с центрами 590 и 645 нм. На первом шаге -0,45 В прикладывалось в течение 300 с. При этом потенциале полоса флуоресценции при 590 нм, относящаяся к резорубину, слабо увеличивается из-за того, что небольшое количество резазурина восстанавливается до резорубина, а также происходит восстановление кислорода, однако флуоресценция при 645 нм остается постоянной. Через 300 с прикладывался потенциал -1,10 В, и в течение первых 20 с наблюдалось резкое увеличение интенсивности флуоресценции при 590 нм. Одновременно снижается флуоресценция при 645 нм, связанная с резазурином, что свидетельствует о том, что за это время большая часть резазурина восстанавливается до резорубина. После этого флуоресценция начинает исчезать из-за того, что ранее образовавшийся резорубин восстанавливается до дигидрорезорубина, нефлуоресцентной молекулы, и через 300 с отсутствует сигнал флуоресценции и на 590, и на 645 нм. Наконец, применяется -0,10 В, поскольку этот потенциал достаточно положителен для повторного окисления дигидрорезорубина до резорубина, и полоса флуоресценции с центром при 590 нм резко увеличивается, а затем остается постоянной. Эмиссия флуоресценции при 645 нм также увеличивается, однако такое поведение связано с высокой интенсивностью полосы с центром при 590 нм.

Отбирались такие навески резазурина, карбоната и гидрокарбоната натрия, чтобы конечный раствор резазурина получился с концентрацией $4 \cdot 10^{-5}$ М, а карбонатный буфер с концентрацией 0,025 М. От каждого свежеприготовленного раствора отбирали по 10 мл раствора и сливали в один стаканчик. Процесс восстановления проводился на платиновых электродах при напряжении 2 В при перемешивании магнитной мешалкой. Отбор проб проводился через 0 мин., 30 мин., 60 мин., 90 мин., 120 мин., 150 мин., 180 мин., 210 мин., 240 мин., 300 мин., 360 мин., 420 мин., 1440 мин. С каждой пробы снимались спектры поглощения и люминесценции одновременно, затем пробы возвращались в раствор для дальнейшего восстановления.

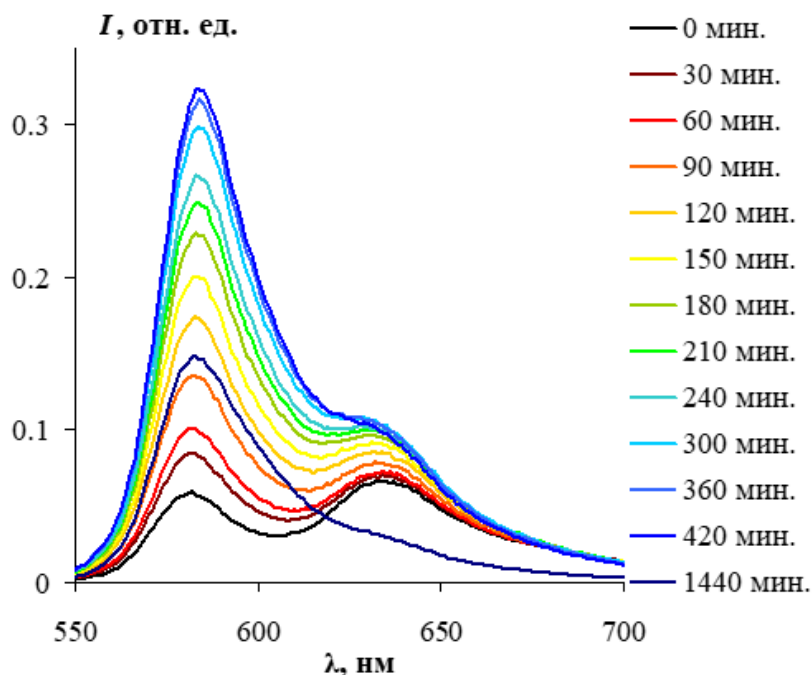


Рисунок 1. Спектры люминесценции исследованных образцов в различные моменты времени.

Зависимость спектров люминесценции раствора от времени восстановления приводится на рис. 1. Интенсивность люминесценции раствора возрастает на длине волны 583 нм, что связано с образованием резорфина, затем убывает, в связи с его дальнейшим восстановлением в дигидрорезорурфин (рис. 1). Интенсивность полосы поглощения в районе 600 нм (резазурин) спадает гораздо быстрее чем на 575 нм (резорурфин), следовательно в области спектров люминесценции имеется ощутимое поглощение.

Полученные спектры люминесценции необходимо исправить с учетом того, что раствор, содержащий резазурин и резорурфин, поглощает как возбуждающий свет, так и люминесцентное свечение. Для этого был использован закон Бугера-Ламберта-Бера. Результат представлен на рис. 2.

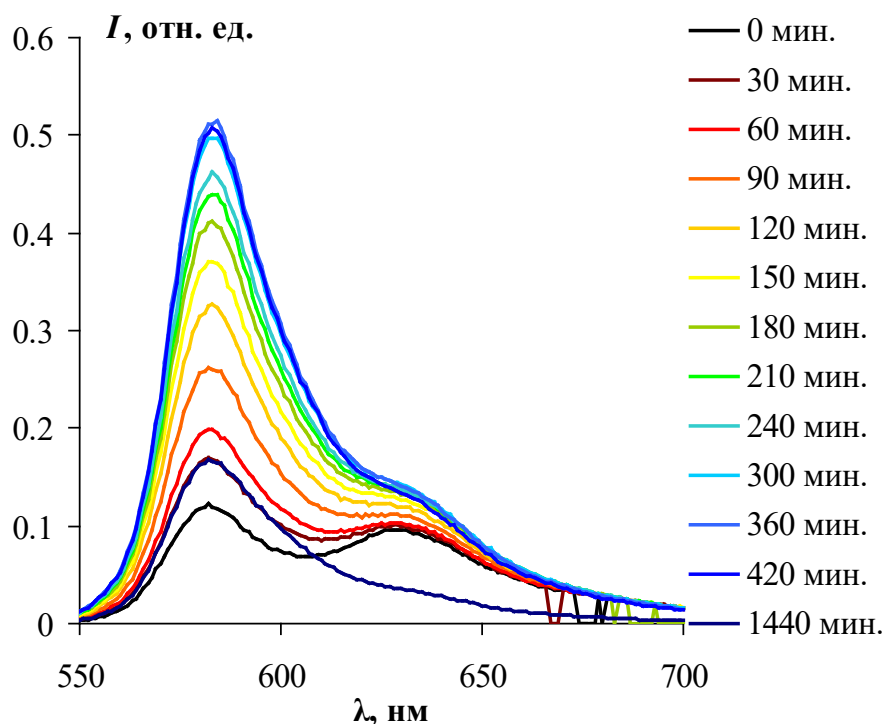


Рисунок 2. Динамика спектров люминесценции образцов, исправленной на поглощение.

Полученные кинетические зависимости восстановления резазурина в резорурфин и далее в дигидрорезорурфин интерпретируются в рамках механизма, содержащего последовательные реакции первого порядка, оценены константы процесса. В заключении сформулированы следующие результаты и выводы: измерены спектры люминесценции и поглощения раствора резазурина в процессе восстановления, рассчитаны спектры люминесценции, исправленной на поглощение, полученные кинетические зависимости хорошо описываются кинетикой последовательных реакций первого порядка.

Литература и источники

1. . Pesch K.L., Simmert U. Combined assays for lactose and galactose by enzymatic reactions. // *Milchwirtschaftliche Forschungen*. – 1929. – Vol. 8. – P. 551.
 2. Carolina Simó, Tiziana Fornari, Mónica R. García-Risco, Ainize Peña-Cearra, Leticia Abecia, Juan Anguita, Héctor Rodríguez and Virginia García-Cañas Resazurin-based high-throughput screening method for the discovery of dietary phytochemicals to target microbial transformation of L-carnitine into trimethylamine, a gut metabolite associated with cardiovascular disease // *Food & Function*. – 2022. – Vol. 13. – P. 5640-5653.
- Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Каленский А.В., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».*

О МЕТОДИКЕ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ
ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ*Латыпов К. С., Латыпова Ю. Д.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Latlev213@mail.ru

Аннотация: В настоящей работе исследуется возможность управления реакционной способностью энергонасыщенных материалов, на примере нитевидных кристаллов азида серебра (AgN_3), методом воздействия внешнего электрического поля, представляющий значительный интерес для материаловедения и химии твердого тела, обусловленный необходимостью разработки безопасных способов контроля взрывных характеристик высокочувствительных соединений. Показано, что воздействие постоянного слабого бесконтактного электрического поля позволяет моделировать реакционную способность без изменения химического состава материала. Эксперименты проводились на образцах со средними размерами $12 \times 0,1 \times 0,03 \text{ мм}^3$ (планарная геометрия) под микроскопом, фиксирующим *in vitro* процесс разложения. Установлено, что при отсутствии слабого бесконтактного поля кристалл взрывается под действием разлагающего контактного электрического поля (3 кВ/см) через 390 с , тогда как наложение слабого бесконтактного поля (10^{-4} – 10^3 В/см) увеличивает время задержки детонации до 80 минут , что свидетельствует о существенном снижении взрывной чувствительности материала. Ключевые механизмы влияния поля включают поляризацию, перераспределение зарядов и изменение энергетических барьеров в реакционных областях, что подтверждается зависимостью взрывной чувствительности от направления вектора напряженности относительно кристаллографических осей кристалла. Преимущества метода – неинвазивность, динамическое управление реакционной способностью и применимость к различным классам соединений. Ограничения связаны с энергозатратностью и технической сложностью установок. Полученные результаты открывают перспективы создания материалов с управляемой реакционной способностью, включая умные кристаллы для твердотельного топлива, энергопереключателей и памяти FeRAM-типа. Метод может быть адаптирован для других энергонасыщенных систем, что делает его значимым для прикладного материаловедения.

Ключевые слова: нитевидные кристаллы, азид серебра, электрическое поле, реакционная способность, энергонасыщенные материалы.

Контроль реакционной способности материалов является важной задачей материаловедения, химии и физики высокочувствительных соединений, таких, как азид серебра. Наиболее перспективным методом управления их реакционной способностью является, как показали результаты предыдущих работ [1, 2], воздействие внешнего электрического поля, что позволяет изменять свойства кристаллов без модификации их химического состава и открывает широкие возможности модификации материалов. Азид серебра является хорошо изученной модельной системой для изучения твердофазного разложения.

В качестве объектов исследования использовали нитевидные кристаллы азида серебра (AgN_3), выращенные по методике, предложенной в работе [3], со средними размерами $12 \times 0,1 \times 0,03 \text{ мм}^3$. Образцы готовили в планарном варианте геометрии, которая дает возможность фиксировать выделяющийся при разложении газообразный продукт и наблюдать за топографией его распределения по образцу. Электрическое поле напряженностью 3 кВ/см (разлагающее поле) создавали при помощи источников питания постоянного тока. В качестве электрических контактов использовали галлий (Ga), который наносили под микроскопом по центру образца; расстояние между контактами при этом составляло 1 мм . Факт разложения фиксировали по «внешнему» газовыделению во время воздействия контактного электрического поля на образец, покрытый слоем вазелинового масла. Определялся объем и скорость выделения в масло пузырьков газа [4].

Изучение взрывной чувствительности азида серебра проводили в различных конфигурациях разлагающего контактного и слабого бесконтактного электрических полей (рис. 1). Взрывную чувствительность определяли, как время задержки взрыва, при котором с достоверностью 50% можно фиксировать факт взрыва образца, определяемого по вспышке или звуковому сигналу. Поэтому предлагается для учета всех указанных параметров принять в качестве эталонного – время задержки взрыва при напряженности контактного электрического поля 3 кВ/см (Ga-AgN₃-Ga). Эта напряженность поля соответствует, при вероятности 50 %, времени задержки взрыва – 390 с. Влияние слабых электрических полей на процесс электрополевого разложения нитевидных кристаллов азида серебра изучали в специально сконструированной ячейке, исключающей влияние посторонних факторов на ход эксперимента [5]. Напряженность бесконтактного поперечного электрического поля варьировали в диапазоне $10^{-4} \div 10^3$ В/см. Принципиальная схема установки и варианты конфигурации полей относительно кристалла представлена на рисунке 1.

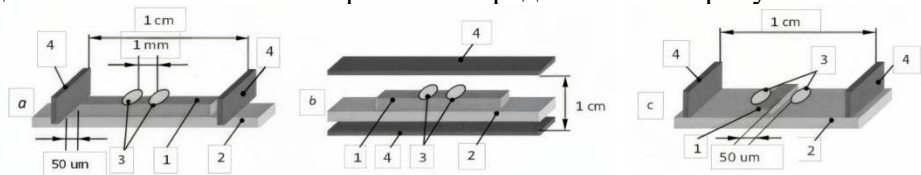


Рисунок 1. а), б), в) – схемы эксперимента в различных конфигурациях поля относительно образца: 1 – кристалл; 2 – подложка; 3 – галлиевые контакты; 4 – металлические электроды

Несмотря на то, что механизм действия электрического поля на исследуемые объекты до конца не выяснен [6], экспериментально установлено, что под действием электрического поля в образце происходят следующие процессы: поляризация, деформация решетки и изменение энергетических барьеров зонной структуры кристалла [6-8]. Электрическое поле по-видимому: способствует перераспределению зарядов (поляризует атомы) внутри кристалла, что способно влиять на реакционную способность азида серебра; может вызывать смещение ионов в кристаллической решетке, влияющих на механическую стабильность и чувствительность к внешним воздействиям. Регулирование мощности, направленности электрического поля вызывает в свою очередь, как ингибирование, так и (антоним ингибирования) процессов, протекающих в кристалле. Вызванное действием электрического поля изменение дислокационной структуры исследуемого объекта [6] ведет к увеличению прикладываемой энергии для детонации и изменению взрывной чувствительности энергонасыщенного материала.

При наложении бесконтактного электрического поля в диапазоне напряженностей 10^{-4} до 10^3 В/м наблюдалось снижение скорости взрывного разложения под действием контактного электрического поля [6]. Чувствительность к физической нагрузке [9] и УФ излучению [10] во время воздействия на образец бесконтактным электрическим полем необходимо исследовать в дальнейшем для нахождения оптимальной напряженности поля, чтобы получать обработанные устойчивые кристаллы для универсального применения в жестких условиях.

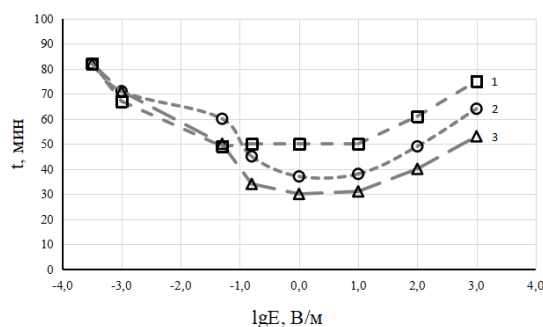


Рисунок 2. Зависимость взрывной чувствительности азидов серебра от напряженности бесконтактного постоянного: 1, 3 – поперечного электрического поля, вектор напряженности которого совпадает с кристаллографическими направлениями [010] и [100] соответственно; 2 – продольного электрического поля, вектор напряженности которого совпадает с кристаллографическим направлением [001]

Обработка неорганических материалов в представленном выше диапазоне электрических полей позволила увеличить срок их хранения в нормальных условиях до 6 месяцев без изменения их физико-технических свойств [5]. Преимуществами метода являются неинвазивность, что подразумевает отсутствие влияния на химический состав кристаллов; гибкость в динамическом управлении свойствами энергонасыщенных материалов включением/выключением электрического поля; широкая применимость метода для различных классов соединений, включая как неорганические, так и органические. Основные ограничения метода заключаются в технической сложности установки для управления электрическим полем, энергозатратности и ограничения глубины воздействия. Помимо того, что у взрывчатых материалов, обработанных электрическим полем, процесс старения существенно замедляется, что увеличивает срок их хранения и эксплуатации, также рассматривается возможный вариант перспективного применения данного метода при создании «умных» кристаллов с динамически меняющейся структурой под воздействием электрического поля, что может найти применение в контроле сжигания твердотельного топлива, в сверхбыстрых переключателях энергии. Интерес представляет также возможность использования способа обработки материалов в слабом электрическом поле в технологиях хранения данных (аналогичный подход используется в сегнетоэлектрических материалах для памяти FeRAM). Наложение электрического поля – инструмент контроля реакционной способности кристаллов, позволяющий управлять свойствами материалов на фундаментальном уровне. Дальнейшие исследования в этой области перспективны с точки зрения создания принципиально новых материалов с управляемыми свойствами.

Литература и источники

1. Латыпов К.С., Гусева Ю.Д., Кайтанова А.С. К вопросу о влиянии электрического поля на процессы, протекающие в энергетических материалах после УФ-облучения // Фундаментальные и прикладные исследования в физике, математике и информатике: Материалы симпозиума в рамках XVII (XLIX) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Кемерово: КемГУ, 2022. – С. 108-110.
2. Латыпов К.С., Гусева Ю.Д., Арикайнен К.В. К вопросу о влиянии электрического поля на процессы, протекающие в водном растворе хлорида натрия // Фундаментальные и прикладные исследования в физике, химии, математике и информатике: Материалы симпозиума в рамках XVIII (L) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Кемерово: КемГУ, 2023. – С. 85-86.
3. Иванов Ф.И., Зуев Л.Б., Лукин М.А., Мальцев В.Д. О выращивании нитевидных кристаллов азидов серебра и свинца // Кристаллография. – 1983. – Т. 28. – № 1. – С. 194-196.
4. Heal H.G. A Microgagometric Procedure // Nature. – 1953. – V. 172. – P. 30.
5. Rodzevich A.P., Gazenaur E.G., Belokurov G.M. The Technology of Production and Treatment of Materials in the Electric Field. // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 682. – pp. 206-209.

6. Родзевич А.П., Газенаур Е.Г., Крашенинин В.И., Гритчина В.Г. Способ управления взрывной чувствительностью энергетических материалов // ГИАБ. – 2011. – №S2. – С. 396-402.
 7. Крашенинин В.И., Газенаур Е.Г., Родзевич А.П., Кузьмина Л.В., Маренец В.Г. Поляризационные явления в азиде серебра // СибСкрипт. – 2013. – С. 208-211.
 8. Крашенинин В.И., Кузьмина Л.В., Газенаур Е.Г., Добрынин Д.В. Роль дислокационной структуры во взрывном разложении кристаллов азидов серебра [Текст] // Ползуновский вестник. – 2008 г. – №3. – С. 62.
 9. [Родзевич А.П.](#), [Кузьмина Л.В.](#), [Газенаур Е.Г.](#), [Крашенинин В.И.](#) Механическая обработка энергетических материалов в электромагнитном поле // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, 21-23 мая 2015 г., Юрга. – Томск, 2015. – 2015. – С. 146-151.
 10. Крашенинин В.И., Кузьмина Л.В., Газенаур Е.Г., Добрынин Е.В. Основные стадии перехода медленного разложения в быстропротекающий процесс в кристаллах азидов серебра // Химическая технология. – 2010. – №2. – С.75-79.
- Научный руководитель – Газенаур Е.Г., к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)*

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КУБОКТАЭДРИЧЕСКОГО НАНОКЛАСТЕРА Fe-Pt ФАЗОЙ $L1_0$ ЭКВИАТОМНОГО СОСТАВА, РАЗМЕРА 2,3НМ.

Садыкова Л.Р., Ротанова А.С.

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН г. Кемерово
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

li-54@mail.ru

Аннотация: В работе рассматривается процесс кристаллизации нанокластера FePt кубоктаэдрической упорядоченной фазы $L1_0$ с межатомным расстоянием таким же как у массивного образца (2,6 Å). Описываются этапы расчета. В результате кристаллизации структура кластера упорядочилась не полностью.

Ключевые слова: Нанокластер FePt, фаза $L1_0$, кристаллизация, эквиатомный состав.

Расчет кривых «нагрев-охлаждение» нанокластера Fe-Pt был выполнен в программе LAMMPS с использованием модифицированного потенциала погруженного атома и учетом вторых ближайших соседей. Моделирование выполнялось в рамках NVT-ансамбля с использованием термостата Нозе-Хувера, константа термостата равнялась 0,0125 пс; временной шаг – 0,01пс. Максимальная температура нагрева 2000К.[1, 2]

Расчет проходил в три этапа: 1) на первом этапе расчет ведется без учета температуры при 0К, атомы начинают занимать энергетически выгодные позиции, которые минимизируют потенциальную энергию нанокластера; этот процесс происходит благодаря внутренним силам взаимодействия между атомами; 2) на втором этапе происходит нагрев нанокластера, после того, как атомы заняли более устойчивые позиции, под воздействием внешнего тепла энергия атомов увеличивается, что приводит к увеличению их колебаний, что приводит к расплавлению и нагреву жидкости (нагрев до 2000К); 3) для гомогенизации происходила выдержка при 2000К 4) на четвертом этапе происходит процесс охлаждения расплава, охлаждение жидкости, далее происходит кристаллизация, и охлаждение полученного нанокластера с частичным упорядочением.

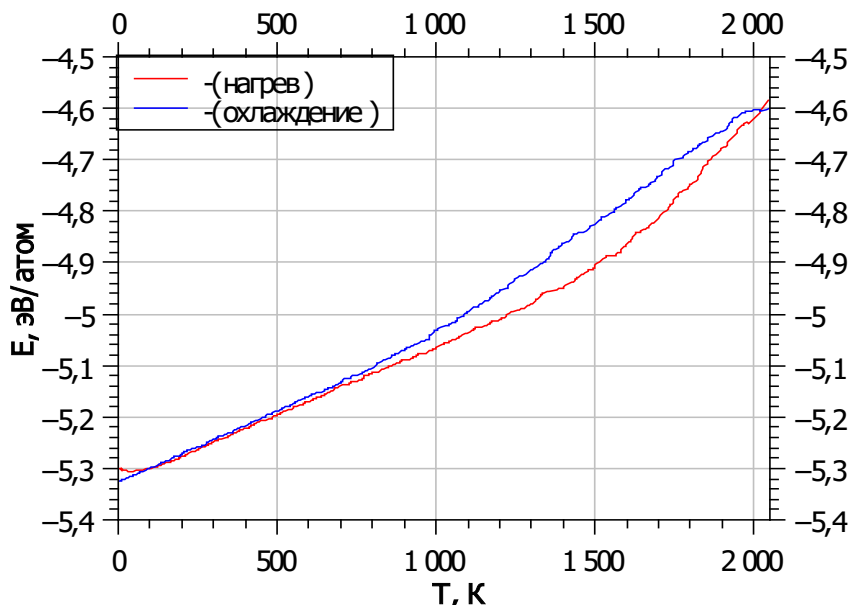


Рисунок 1. Кривая нагрева-охлаждения нанокластера FePt кубоктаэдрического строения фазы $L1_0$ размера 2,3нм

Результаты показывают, что кластер упорядочивается, но не полностью. Это может свидетельствовать о слишком быстрой скорости охлаждения, при которой не успевает сформироваться упорядоченная структура нанокластера.

Литература и источники:

1. Yakubik D.G. Stability of FePt, FePt₃ nanoclusters of different habits / D.G. Yakubik, L.R. Sadykova, Yu.A. Zakharov, N.S. Zakharov, A.N. Popova, V.M. Pugachev // Eurasian Chemico-Technological Journal. - 2022. - V. 24. - № 3. - P. 215-220.
2. Sadykova L.R. Thermal stability of equiatomic FePt nanoclusters of different habitus with ordered and disordered structure/ L.R. Sadykova, D.G. Yakubik, Yu.A. Zakharov// International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology -2023.-V.460-№10040

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРИТА ЦИНКА

Качурин В.А., Иванов А.В., Акинина В.А.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

slava.kachurin@inbox.ru

Аннотация: Получение неорганических материалов методом разложения лабильных солей является перспективным для создания материалов с заданными свойствами. Известно, что разложение оксалатов, сопровождаемое значительным уменьшением объема, стимулирует образование высокодисперсных продуктов. Настоящая работа посвящена получению феррита цинка способом разложения соосажденных оксалатов с последующим термическим разложением смеси данных солей. Феррит цинка является перспективным соединением в качестве катализатора озонолиза органических веществ, известны реакции органического синтеза, ускоряющиеся в его присутствии. Способ синтеза позволяет управлять не только пористой структурой продукта, но и его дефектной структурой, что крайне важно для различных приложений. Полученный феррит цинка имел красную окраску и был слабо магнитным. Рентгенографические исследования показали наличие не только феррита цинка, но и значительных количеств оксидов железа и цинка. Получены изображения продукта методом сканирующей электронной микроскопии. Из них следует, что субмикронные частицы агломерированы до агломератов размером 0.5-1 мкм. Проведена оценка адсорбционной способности полученного феррита по отношению к ионам кадмия. Для определения концентрации кадмия в растворе применялась фотометрическая реакция с дитизоном с последующей экстракцией в хлороформ в нейтральной среде. Раствор дитизона в хлороформе при экстракции добавлялся минимальными порциями, чтобы избежать вклада полос поглощения хелатирующего агента в оптическую плотность в полосе поглощения комплекса цинка. Показано, что феррит цинка, полученный оксалатным методом, может адсорбировать кадмий на уровне микромолей на грамм, что значительно ниже величин адсорбции на глинах и ионообменных смолах.

Ключевые слова: адсорбция, феррит цинка, оксалаты.

Получение неорганических материалов методом разложения лабильных солей является перспективным для создания материалов с заданными свойствами. Известно, что разложение оксалатов, сопровождаемое значительным уменьшением объема, стимулирует образование высокодисперсных продуктов. Настоящая работа посвящена получению феррита цинка способом разложения соосажденных оксалатов с последующим термическим разложением смеси данных солей. Феррит цинка является перспективным соединением в качестве катализатора озонолиза органических веществ, известны реакции органического синтеза, ускоряющиеся в его присутствии. Способ синтеза позволяет управлять не только пористой структурой продукта, но и его дефектной структурой, что крайне важно для различных приложений.

Целью работы является получение феррита цинка оксалатным методом и исследование его свойств.

Оксалатный синтез был реализован следующим способом. Растворы солей железа (II) и цинка (II), смешанные в стехиометрической пропорции наливались в капельную воронку. Раствор по каплям подавался в стакан, содержащий раствор оксалата калия при постоянном перемешивании магнитной мешалкой. В результате выпадал осадок светло-желтого цвета. Осадок фильтровали и сушили в сушильном шкафу при температуре 90 °С. Затем образец прокаливался в муфельной печи в течение 3-х часов при температуре 700 °С, скорость подъема температуры составляла 10 °С. Образцы полученных порошков феррита цинка имели красно-коричневый цвет.

Рентгенографические исследования показали наличие не только феррита цинка, но и значительных количеств оксидов железа и цинка. Получены изображения продукта методом сканирующей электронной микроскопии (рисунок 1). На изображениях видны агломераты частиц размера порядка 100 нм. Сами агломераты имеют типичный линейный размер в области 0.5-1 мкм.

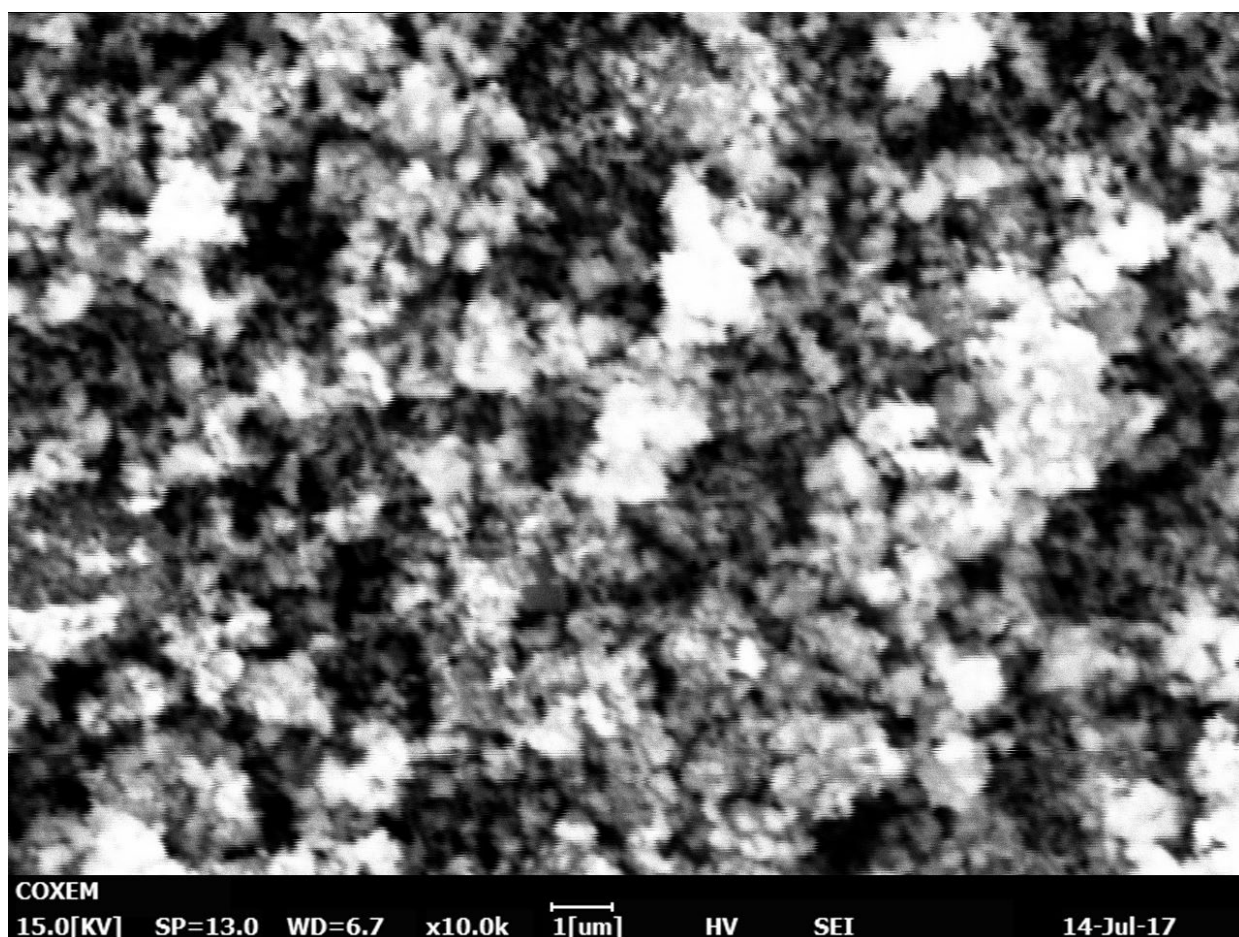


Рисунок 1. Изображение феррита цинка, полученное методом сканирующей электронной микроскопии

Проведена оценка адсорбционной способности полученного феррита по отношению к ионам кадмия. Раствор нитрата кадмия с концентрацией 37.5 мкМ отбирался мерной колбой на 25 мл и приливался к 0.5 г феррита цинка, находящимся в мерной колбе на 250 мл. Далее колба помещалась на встряхиватель на 2 часа. После окончания контакта феррит отфильтровывали. Для определения концентрации кадмия в растворе применялась фотометрическая реакция с дитизоном с последующей экстракцией в хлороформ в нейтральной среде. Раствор дитизона в хлороформе при экстракции добавлялся минимальными порциями, чтобы избежать вклада полос поглощения хелатирующего агента в оптическую плотность в полосе поглощения комплекса цинка. Результаты определения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования адсорбции ионов кадмия на феррите цинка

Начальная концентрация кадмия, М	концентрация кадмия после адсорбции, М	Оптическая плотность раствора	Адсорбция, $\mu\text{моль/г}$
0,0750	0,0172	0,0160	0,366
0,1500	0,0884	0,0820	0,706
0,3750	0,2662	0,2470	1,742

Из данных таблицы следует, что феррит цинка, полученный оксалатным методом, может адсорбировать кадмий на уровне микромолей на грамм. Данная емкость значительно ниже величин адсорбции на глинах и ионообменных смолах. Вероятная причина заключается в большом различии размеров катионов цинка и кадмия, что ухудшает способность последнего достраивать решетку на поверхности.

Научный руководитель – Зевков А.А., д.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРРИТА ЦИНКА В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА ОЗОНОЛИЗА

Качурин В. А., Акинина В. С., Иванов А. В.

Кемеровский государственный университет

slava.kachurin@inbox.ru

Аннотация: Феррит цинка был получен гидротермальным методом синтеза. Происходило смешивание солей нитратов цинка и железа и далее обрабатывались водным раствором аммиака. Полученную смесь помещали в тефлоновую вкладку гидротермального реактора, устанавливали её и ставили сам реактор на электрическую плиту. Синтез проводился 6 часов при температуре 160 °С. По окончании синтеза полученный осадок вынимали из тефлоновой вкладки и промывали раствором нитрата серебра для удаления хлорид анионов из раствора. В последствии полученный феррит цинка использовался в качестве катализатора для озонолитического окисления. В качестве определяемого вещества использовался фенол. Раствор фенола готовился методом навесок. Окисление проводилось два раза: холостое, только с раствором фенола, и с участием феррита цинка. Собирали установку из колбы Фаворского, штатива, озонатора и стеклянной трубки. Озонолиз проводили в течение 30 минут, путём пробулькивания озоном раствора оксибензола. Каждые десять минут отбирали аликвоту и разбавляли её в мерной колбе, после чего измеряли спектр поглощения на спектрофотометре. В качестве холостого раствора использовали дистиллированную воду. Снимали спектры с каждой пробы и оценивали концентрацию фенола по методу Брайса-Швайна. Получили 3 зависимости, характеризующие изменения в количественном составе в процессе озонолиза без катализатора и вместе с катализатором. Полученный гидротермальным методом феррит цинка значительно ускоряет озонолитическое окисление фенола. Для более точных оценок будут проводиться дальнейшие исследования с более селективным методом оценки концентрации фенола в результирующем растворе после озонолиза.

Ключевые слова: феррит цинка, гидротермальный синтез, озонолиз, катализ, фенол.

Цель работы: получение феррита цинка и оценка его активности в реакции озонолиза фенола.

Получение феррита цинка гидротермальным методом. Стехиометрические количества нитратов цинка и железа растворялись в минимальном количестве воды, затем добавлялся концентрированный водный раствор аммиака ($\text{pH}=8-9$), что соответствует полному осаждению обоих гидроксидов. После этого смесь помещали в тефлоновую вкладку гидротермального реактора ТОРТ-НТ30, который в свою очередь устанавливали на электрическую плиту с регулируемой мощностью нагрева. Для контроля температуры на боковую поверхность реактора прикрепили медь-константановую термопару. Гидротермальную обработку проводили при температуре 160 °С. После 6 часов обработки образец был извлечен, отфильтрован и промыт. Промывание проводили до исчезновения реакции фильтрата на хлорид-ион с раствором нитрата серебра. Определение концентрации фенола в присутствии примесей выполняли по методу Брайса-Швайна. В нашем случае определяемым веществом стал фенол. В ходе работы производились следующие манипуляции: озонолиз раствора фенола до и после применения катализатора, затем их последующее исследование при помощи спектрофотометра. Работа происходила в следующем порядке:

Приготовление раствора фенола проводилось методом навесок. Была взята навеска фенола массой 0,00243 г, которую растворили в колбе на 250 мл дистиллированной водой. В результате получился раствор с концентрацией 9,72 мМ. Озонирование проводилось при отсутствии катализатора и при использовании в качестве катализатора феррита цинка, полученного гидротермальным синтезом. В роли исследуемых растворов, выступили смеси полученные в результате следующих манипуляций:

Собирали установку состоящую из колбы Фаворского, штатива, озонатора и силиконовой трубки. Колбу Фаворского устанавливали в лапку штатива и закрепляли в вертикальном положении. Помещали в колбу Фаворского ранее полученный раствор фенола концентрацией 9,72 мМ. Присоединяли силиконовую трубку к озонатору и помещали,

отходящий конец на дно колбы с раствором фенола, закрепив его в вертикальном положении. Засекали время при помощи секундомера и включаем озонатор, пропуская озон через раствор фенола. Проводили озонлиз в течении 10 минут. От полученного, в результате реакции, раствора отбирали пробу с помощью пипетки объёмом в 1 мл и помещаем её в мерную колбу на 25 мл. Отобранную аликвоту разбавляли дистиллированной водой. Промываем этим раствором кювету и заполняем её для дальнейшего исследования. Помещаем исследуемую и холостую кюветы в спектрофотометр и начинаем анализ.

После первого анализа, повторяем цикл ещё два раза по 10 минут каждый, с тем же самым раствором, находящимся в колбе Фаворского. Производим вычисления согласно методу Брайса-Швайера. На выходе получаем 3 зависимости, характеризующие изменения концентрации фенола процессе озонлиза без катализатора и вместе с катализатором.

В результате озонирования спектр поглощения раствора изменяется следующим образом. Появляется широкая область со слабо меняющейся оптической плотностью при 290-350 нм. Также растет оптическая плотность в области минимума на исходном спектре при 240 нм. Продукты озонолитического окисления поглощают свет интенсивнее, чем фенол, что приводит к повышению оптической плотности в полосе поглощения при 270 нм. Повторяли цикл ещё два раза, отслеживая понижение концентрации оксибензола (согласно данным со спектров). После чего мы проводили озонирование с разными навесками катализатора феррита цинка. В присутствии катализатора фиксируется более сильное изменение спектров, как в области 290-350 нм, так и при 240 нм, что на качественном уровне говорит о наличии каталитического эффекта феррита цинка. Полученные данные представлены на графике. Видно, что в присутствии 100 мг феррита цинка на 25 мл раствора начальная скорость реакции увеличивается в 7 раз.

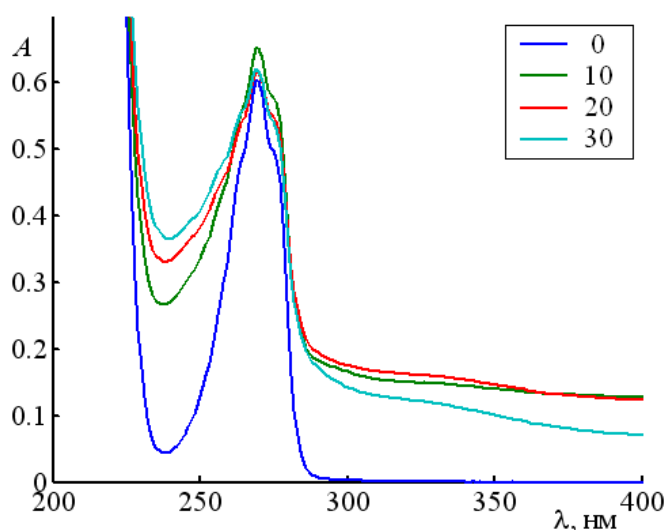


Рисунок 1. Изменение спектра раствора фенола в ходе озонолитической обработки. Моменты времени отбора пробы приведены на легенде в минутах.

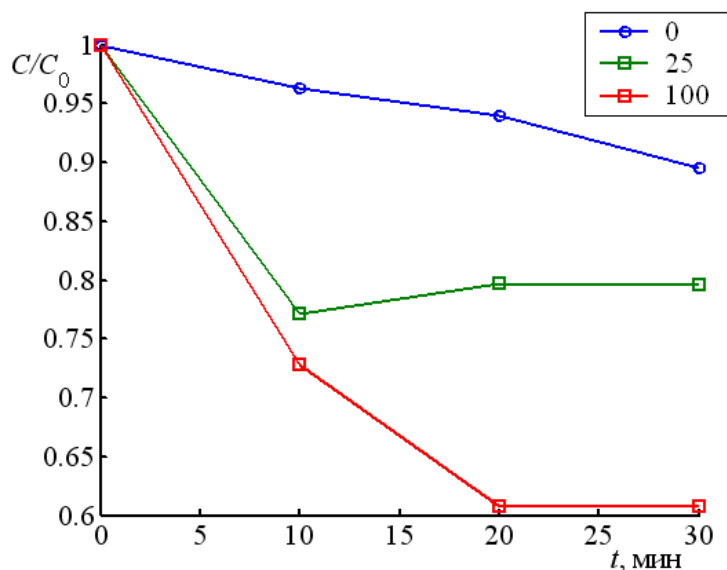


Рисунок 2. Кинетические зависимости концентрации фенола от времени озонолитической обработки. На легенде приведена масса добавленного феррита цинка

В результате работы можно заключить, что полученный гидротермальным методом феррит цинка значительно ускоряет озонолитическое окисление фенола. В дальнейшей работе образец будет охарактеризован физико-химическими методами. Для количественной оценки каталитической активности планируется использовать более селективные методы определения концентрации фенола.

Научный руководитель – Звеков А.А., д.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

МЕХАНИЗМ РЕАКЦИИ МЕЖДУ ГИДРОКСИЛАММОНИЕМ И НИТРИТОМ

Корниенко Ю. М.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет»

Министерства здравоохранения Российской Федерации

korniienko-yulya@mail.ru

Аннотация: Титриметрическим методом исследована кинетика реакции между хлоридом гидроксиламмония и нитритом натрия в водных растворах при их разном стехиометрическом соотношении. В основе титриметрического определения суммарного количества исходных реагентов их окисление броматом в кислом растворе и обратное йодометрическое титрование избытка бромата. Реакция между NaNO_2 и NH_3OHCl происходит по кинетике второго порядка, причем ее константа скорости зависит от стехиометрического соотношения между реагентами. При двукратном избытке гидроксиламмония константа скорости реакции в 1,6 раз больше, чем при стехиометрическом соотношении между реагентами. Мы связываем зависимость константы скорости от соотношения между реагентами с ее зависимостью от pH раствора. В ходе реакции pH раствора существенно не меняется, что обусловлено его буферными свойствами, определяемыми кислотно-основными свойствами нитрит-ионов и катионов гидроксиламмония. Избыток гидроксиламмония как слабой кислоты приводит к существенному сдвигу pH в кислую область. Зависимость скорости исследованной реакции от pH объясняется разной реакционной способностью двух таутомерных форм азотистой кислоты, равновесие между которыми зависит от кислотности раствора. С повышением кислотности раствора увеличивается доля формы, в которой водород связан с кислородом, а не с азотом. Лимитирующей стадией является взаимодействие не между ионами нитрита и гидроксиламмония, а между молекулами азотистой кислоты и гидроксилamina, приводящее к образованию азотноватистой кислоты $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$. Разложение азотноватистой кислоты происходит быстро. В количествах, сопоставимых с количеством исходных реагентов, эта кислота не накапливается.

Ключевые слова: нитрит, гидроксиламин, кинетика реакции, реакция между гидроксиламмонием и нитритом, получение оксида азота (I)

Конечным продуктом реакции между хлоридом гидроксиламмония и нитритом натрия является оксид азота (I) (закись азота). Это вещество используют в медицине для ингаляционной анестезии. Чтобы определить оптимальные условия получения оксида азота (I), необходимо подробно изучить закономерности и механизм этой реакции.

Цель работы — 1) совершенствование предложенной нами ранее методики количественного определения нитрита и гидроксиламмония, основанной на обратном броматометрическом титровании [1], 2) исследование зависимости суммарной концентрации реагентов от времени реакции и определение ее кинетических параметров.

Материалы и методы исследования. Реактивы: сухие соли квалификации «ч.д.а.» KBrO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, NaNO_2 , NH_3OHCl , KI , NaHCO_3 , соляная кислота (ГОСТ 3118-77, ч.д.а), серная кислота (ГОСТ 4204-77, ч.д.а), дистиллированная вода, крахмал для йодометрии. Химическая посуда: колбы, мерные колбы, пипетки, бюретки, мерные цилиндры, стаканы. Аналитические весы CUX-320.

Реакцию проводили при комнатной температуре в открытом стакане, смешивая 50 мл 0,10 М водного раствора NaNO_2 с 50 мл 0,10 М или 0,2 М водного раствора NH_3OHCl . Через определенные интервалы времени (1...10 мин) мы отбирали пипеткой по 2 мл реакционной смеси и титровали пробу по описанной далее методике.

В основе предложенной нами методики определения реагентов окисление броматом калия в присутствии сильной кислоты как нитрита, так и гидроксиламмония до нитрата. Избыток бромата определяли йодометрически. На каждом этапе анализа необходимо обеспечить оптимальную кислотность раствора, при которой окисление происходит стехиометрично, без побочных процессов. Эксперименты показали, что наибольшая концентрация кислоты необходима на первом этапе анализа при окислении

гидроксиламмония и нитрита броматом. На втором этапе анализа (окисление броматом йодида калия) кислотность раствора необходимо существенно понизить. На третьем этапе (окисление йодом тиосульфата) кислотность раствора должна стать еще меньше, чем на втором.

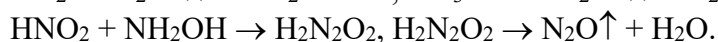
К 2 мл пробы добавляли 10,0 мл 0,120 М ($1/6$ KBrO₃) раствора бромата калия, затем быстро приливали 10 мл 6 М раствора серной кислоты, перемешивали, ждали 1 минуту. Затем добавляли 2,0 г NaHCO₃, перемешивали. После завершения выделения газа добавляли 0,8 г KI, перемешивали, ждали 2 минуты. Затем добавляли 100 мл воды, перемешивали и полученный раствор титровали раствором тиосульфата натрия с крахмалом в качестве индикатора. Концентрация тиосульфата натрия в растворе титранта 0,06...0,07 М. Ее точное значение определяли непосредственного перед экспериментом при стандартизации по бихромату калия.

Результаты и их обсуждение. По описанной методике мы получили зависимость суммарной концентрации оставшихся в растворе гидроксиламмония и нитрита от времени реакции (до 1 часа) при стехиометрическом соотношении реагентов 1 : 1 и при двухкратном избытке гидроксиламмония.

Первая кинетическая кривая (соотношение 1 : 1) линеаризуется в координатах $1/C$ от t (время), что указывает на второй порядок реакции. Константа скорости реакции второго порядка равна 0,833 л·моль⁻¹·мин⁻¹.

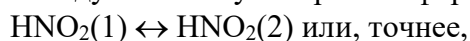
Вторая кинетическая кривая (соотношение Н : ГА = 1 : 2) линеаризуется в координатах $\ln(C(ГА)/C(Н))$ от t , что также соответствует второму порядку реакции. Константа скорости реакции второго порядка оказалась равна 1,342 л·моль⁻¹·мин⁻¹.

Полученные кинетические кривые согласуются с механизмом реакции, при котором бимолекулярная реакция происходит не непосредственно между ионами гидроксиламмония и нитрита, а между нейтральными молекулами азотистой кислоты и гидроксиламина, в которые превращаются эти ионы в процессе кислотно-основных реакций.



Однако рассматривая этот механизм реакции, нельзя объяснить зависимость ее скорости от pH раствора, что наблюдается экспериментально [2, 3].

Мы дополнительно предполагаем, что в реакцию с гидроксиламином вступает только одна из двух возможных таутомерных форм азотистой кислоты (Н-О-N=О или HNO₂(2)). Между этими таутомерными формами существует равновесие, зависящее от pH раствора:



С повышением кислотности раствора растет доля формы (2), соответственно, скорость реакции $\text{HNO}_2(2) + \text{NH}_2\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$ увеличивается.

Форма (1) молекулы азотистой кислоты, в которой водород непосредственно связан с атомом азота, по сравнению с формой (2) является валентно насыщенным и, соответственно, менее реакционноспособной.

При кинетическом анализе механизма реакции оказалось, что экспериментально определенная константа скорости реакции второго порядка является эффективной, зависящей от концентрации ионов водорода, т.е. от pH раствора. Причем в ходе реакции pH раствора меняется незначительно, что связано с его буферными свойствами.

Однако при двухкратном избытке гидроксиламмония pH раствора существенно уменьшается по сравнению с раствором при соотношении реагентов 1 : 1. Это приводит к тому, что в этом случае экспериментальная константа скорости второго порядка оказывается больше, чем при соотношении реагентов 1 : 1.

Превращение азотноватистой кислоты H₂N₂O₂ в конечный продукт газ N₂O происходит быстро, H₂N₂O₂ не накапливается в растворе в значительных количествах, иначе мы бы не смогли получить экспериментальную кинетику второго порядка.

Выводы. 1) В сложном механизме реакции между хлоридом гидроксиламмония и нитритом натрия лимитирующей стадией является реакция между молекулами гидроксиламина и азотистой кислоты. 2) Экспериментальная кинетика этой реакции описывается уравнением второго порядка, константа скорости которого зависит от pH раствора.

Литература и источники

1. Башмаков А. С., Дягилева Е. П., Корниенко Ю. М. Влияние инертных солей на выход оксида азота (I) при получении его из гидроксиламмония и нитрита // Актуальные проблемы и перспективы фармацевтической науки и практики. Материалы IV Международной научно-практической конференции. 2024. С. 112 – 117.
2. Hughes M. N., Stedman G. Kinetics and mechanism of the reaction between nitrous acid and hydroxylamine. Part I // J. Chem. Soc. 1963. P. 2824 – 2830.
3. Башмаков А. С., Дягилева Е. П. Способ получения оксида азота (I) из солей гидроксиламмония // Актуальные проблемы и перспективы фармацевтической науки и практики. Материалы III Международной научно-практической конференции. 2023. С. 168 – 172.

Научный руководитель — Башмаков А. С, канд. физ.-мат. наук, доцент (ФГБОУ «Кемеровский медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ)

Аннотация: Настоящая работа посвящена изучению антиоксидантной активности природного антиоксиданта -- галловой кислоты. Изучена кинетика автоокисления галловой кислоты в карбонатном буферном растворе pH 10,65. Изучена кинетика окисления адреналина в присутствии галловой кислоты в различной концентрации методом, основанным на изменении скорости реакции окисления адреналина при добавлении в систему антиоксиданта при pH 10,65 при температуре 21-23°C. Кинетические измерения проведены спектрофотометрически по изменению интенсивности полосы поглощения продукта окисления адреналина в присутствии сульфита – адренохрома при длине волны 347 нм в карбонатном буферном. Установлено, что максимум поглощения при 347 нм показывает смещение в гипсохромную область примерно на 30 нм в ходе протекания реакции окисления адреналина. Скорость смещения в гипсохромную область и скорость окисления адреналина зависят от концентрации вводимой в систему галловой кислоты. При введении в систему как избытка, так и недостатка галловой кислоты по отношению к количеству вводимого адреналина, показывает увеличение интенсивности полосы поглощения при длине волны 347 нм в течение 30 мин. Таким образом, анализ полученных экспериментальных результатов свидетельствует только о прооксидантной активности галловой кислоты в исследуемой системе. Интерпретировать причину прооксидантной активности, которую мы наблюдаем в проведенных экспериментах объяснить однозначно невозможно. В данной работе мы исключили такие факторы, влияющие на проявление антиоксидантами прооксидантной активности, как взаимодействие с металлами и высокая концентрация антиоксидантов.

Ключевые слова: галловая кислота, автоокисление, адреналин, окисление адреналина, антиоксидантная активность, прооксидантная активность.

В настоящее время весьма актуальным является исследование и изучение антиоксидантов, как естественного, так и синтетического происхождения. Это обусловлено их важной особенностью, а именно, способностью замедлять процессы окисления различных биосоединений за счет связывания веществ радикальной природы, обладающих высокой реакционной способностью. Как правило, это различные активные формы кислорода: супероксид радикал, надпероксид радикал, пероксид водорода, пероксинитрид радикал и другие. Сегодня большое внимание уделяется антиоксидантам, в состав которых входят фенольные фрагменты. Поскольку помимо антиоксидантных свойств соединения, содержащие фенольные группы (флавоноиды, фенольные кислоты, танины и др.) способны оказывать противовоспалительное, противоопухолевое и другие важные действия на живые организмы.

Среди большого количества методов для определения антиоксидантной активности антиоксидантов широкое применение получил спектрофотометрический метод, основанный на измерении изменения полосы поглощения продукта окисления адреналина – адренохрома в ходе реакции при длине волны 347 нм в карбонатном буферном растворе pH 10,65 [1]. В работе [2] авторами были получены основные спектрально-кинетические закономерности автоокисления адреналина в данных условиях, в случае использования аптечного препарата. В работе [3] авторами проведено изучение автоокисления аскорбиновой кислоты в карбонатном буферном растворе при pH 10,65, что является необходимым для оценки антиоксидантной активности антиоксидантов при применении данной спектрофотометрической методики.

Целью исследования является изучение кинетики автоокисления галловой кислоты и кинетики окисления адреналина в присутствии галловой кислоты в различной концентрации в карбонатном буфере pH 10,65.

Материалы и методы исследования. Аутоокисление галловой кислоты. Готовили растворы галловой кислоты концентраций от $5 \cdot 10^{-3}$ до $0,83 \cdot 10^{-6}$ М. Для регистрации спектров к 4 мл карбонатного буфера (рН 10,65) добавляли 0,2 мл дистиллированной воды и 0,05 мл галловой кислоты. Измерение спектров проводили в УФ области от 200 до 500 нм на спектрофотометре СФ – 2000. Использовали кюветы, закрывающиеся крышечками, толщиной 10 мм. В качестве раствора сравнения использовали карбонатный буферный раствор.

Кинетические измерения окисления адреналина в присутствии галловой кислоты проводили аналогично, как описано выше, но вместо дистиллированной воды вносили 0,2 мл раствора адреналина гидрохлорида ($5,46 \cdot 10^{-3}$ М, аптечный препарат).

Все эксперименты выполнены при температуре 21-23°C.

Результаты и их обсуждение. Максимумы поглощения галловой кислоты в карбонатном буфере при рН 10,65 наблюдаются при длинах волн 235 нм и 290 нм. Они смещены в длинноволновую область относительно измерений, проведенных в дистиллированной воде при рН 6,5 максимумы поглощения, приходятся на длины волн 212 нм и 267 нм, что согласуется с литературными данными [4]. Аутоокисление галловой кислоты регистрировали в карбонатном буфере только для растворов концентраций от $5 \cdot 10^{-3}$ до $0,83 \cdot 10^{-3}$ М. При более низких концентрациях (меньше $0,83 \cdot 10^{-3}$ М) максимумы поглощения при указанных длинах волн не регистрируются. Уменьшение интенсивности поглощения наблюдается при обеих длинах волн, однако с различными скоростями.

Оценка скорости окисления адреналина проводилась по максимуму поглощения при длине волны 347 нм. Согласно литературным данным, при данной длине волны поглощает продукт окисления адреналина – адренохром [1, 2, 5]. Максимум поглощения при 347 нм показывает смещение в гипсохромную область на 20 – 30 нм в ходе протекания реакции окисления. Причем скорость смещения в гипсохромную область зависит от концентрации вводимой в систему галловой кислоты. При введении галловой кислоты в концентрациях $0,83 \cdot 10^{-6}$ и $0,83 \cdot 10^{-5}$ М сдвиг полосы не наблюдается до 30 мин, при концентрациях $0,83 \cdot 10^{-4}$, $0,83 \cdot 10^{-3}$, $2,50 \cdot 10^{-3}$ и $5,00 \cdot 10^{-3}$ М не происходит сдвиг до 25 мин, 15 мин, 9 мин и 1,5 мин.

В спектре поглощения раствора, содержащего адреналин и галловую кислоту, также наблюдается максимум поглощения при длинах волн 242 нм и 295 нм. При длине волны 242 нм в ходе реакции наблюдается уменьшение интенсивности поглощения, при длине волны 295 нм – увеличение интенсивности поглощения.

Экспериментальные исследования процесса взаимодействия галловой кислоты с адреналином в карбонатном буфере, показало, что в зависимости от концентрации вводимой галловой кислоты скорость окисления адреналина меняется. При введении галловой кислоты к адреналину соотношениях 1:650 1:6,5 и 1:2,2 (галловая кислота: адреналин) наблюдается увеличение интенсивности полосы поглощения при длине волны 347 нм в течение 30 мин, причем скорость накопления продукта при длине 347 нм выше, что видно при сравнении с кинетикой, полученной при аутоокислении адреналина без добавления галловой кислоты. Таким образом, анализ полученных экспериментальных результатов свидетельствует только о прооксидантной активности галловой кислоты.

В научной литературе описано, что в ходе реакции аутоокисления галловой кислоты образуются супероксидные анионы, пероксид водорода и хиноны галловой кислоты. Антиоксидантная активность галловой кислоты обусловлена по мнению ученых, ее восстановлением до устойчивого феноксил - радикала – галлатсемихинона или галловая кислота может восстанавливать пероксид водорода и превращаться в галлат-о-хинон [6, 7].

Прооксидантная активность галловой кислоты также описана в литературе [7, 8]. Так галловая кислота взаимодействует с супероксидом (*in vivo*) с образованием пероксида водорода, который вступает в реакцию с Fe^{2+} с образованием Fe^{3+} и надпероксид радикала, который затем взаимодействует с биомолекулой (например, аминокислотой или липидом), переводя ее в активную радикальную форму и таким образом, ускоряет окисление биомолекулы.

Выводы. Экспериментально установлено, что на кинетику окисления адреналина влияет вводимое количество галловой кислоты. Анализ полученных экспериментальных результатов свидетельствует только о прооксидантной активности галловой кислоты. Причину прооксидантной активности, которую мы наблюдаем однозначно интерпретировать нам не удалось. Однако, однозначно можно исключить реакцию аналогичную реакции Фентона, поскольку в щелочной среде в карбонатном буфере pH 10,65 ионы металлов вероятно образуют либо гидроксиды, карбонаты.

Литература и источники

1. Сирота Т.В. Патент 2144674 Рос. Федерация. Способ определения антиоксидантной активности супероксиддисмутазы и химических соединений / Сирота Т.В. № Заявки 9910319214; опубл. 20.01.2000.
2. Иванова М.А., Нефедова Е.К., Мальцева Е.М., Каленский А.В., Звеков А.А. Исследование автоокисления адреналина методами УФ-видимой спектроскопии // Журнал прикладной спектроскопии. 2022. Т. 89. №5. С. 701-708.
3. Дягилева Е.П., Башмаков А.С., Каленский А.В., Звеков А.А. Автоокисление аскорбиновой кислоты в карбонатном буферном растворе // Вода: химия и экология. 2024. №10. С. 29-36.
4. Евсюхина К.Г., Пацаева С.В., Южаков В.И. Люминесценция органических соединений компонентов природного растворенного органического вещества // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 1998. №4. С. 58-61.
5. Рябинина Е.И., Зотова Е.Е., Ветрова Е.Н., Пономарева Н.И., Илюшина Т.Н. Новый подход в оценке антиоксидантной активности растительного сырья при исследовании процесса аутоокисления адреналина // Химия растительного сырья. 2011. №3. С. 117-121.
6. Колбас Н.Ю. Ингибирование автоокисления адреналина in vitro при участии тролокса, аскорбиновой и галловой кислот // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. Сер.: Естественные науки. 2023. №6 (141). С. 21-27.
7. Utrera M., Estévez M. Impact of trolox, quercetin, genistein and gallic acid on the oxidative damage to myofibrillar proteins: the carbonylation pathway // Food Chem. 2013. Vol. 141. №4. P. 4000-4009.
8. Benitez F.J., Real F.J., Acero J.L., Leal A.I., Garcia C. Gallic acid degradation in aqueous solutions by UV/H₂O₂ treatment, Fenton's reagent and the photo-Fenton system // Journal of Hazardous Materials. 2005. B126. P. 31-39.

Научный руководитель – Дягилева Е.П., к.х.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Минздрава России)

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ СОСТАВА ПОРИСТАЯ УГЛЕРОДНАЯ МАТРИЦА – ОКСИД МЕТАЛЛА МЕТОДОМ ТЕРМОРАЗЛОЖЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Новиков М.С.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

t-larichev@yandex.ru

Аннотация. Современные системы хранения энергии требуют материалов, сочетающих высокую ёмкость, мощность и долговечность. Суперконденсаторы на основе углеродных матриц с наноразмерными наполнителями (оксиды переходных металлов) перспективны благодаря комбинации двойного электрического слоя и псевдоёмкости. Основная задача — предотвращение блокирования пор матрицы частицами наполнителя. В работе предложен метод синтеза композитов через термическое разложение азидов металлов в порах углерода. Исследование посвящено разработке нанокompозитных электродов для суперконденсаторов на основе пористых углеродных матриц с наполнителем из оксида кобальта. Использовались микропористые (KAU, PFS) и мезопористые (AG-OV) углеродные матрицы. Наполнитель (оксид кобальта) формировался путём пропитки матрицы азидом кобальта с последующим терморазложением. Фазовый состав и морфологию изучали методами рентгенофазового анализа и МУРР. Электрохимические свойства оценивали с помощью циклической вольтамперометрии. Метод термического разложения азидов кобальта в порах углеродной матрицы позволил синтезировать композиты типа C/CoOx. Установлено, что введение оксида кобальта увеличивает псевдоёмкость за счёт окислительно-восстановительных процессов, но повышает сопротивление из-за низкой электропроводности оксида. Полученные материалы демонстрируют потенциал для создания высокоэффективных суперконденсаторов.

Введение

Современные системы хранения энергии требуют материалов, сочетающих высокую ёмкость, мощность и долговечность. Суперконденсаторы на основе углеродных матриц с наноразмерными наполнителями (оксиды переходных металлов) перспективны благодаря комбинации двойного электрического слоя и псевдоёмкости. Основная задача — предотвращение блокирования пор матрицы частицами наполнителя. В работе предложен метод синтеза композитов через термическое разложение азидов металлов в порах углерода.

Экспериментальная часть

Использовались микропористые (KAU, PFS) и мезопористые (AG-OV) углеродные матрицы. Наполнитель (оксид кобальта) формировался путём пропитки матрицы азидом кобальта с последующим терморазложением. Фазовый состав и морфологию изучали методами рентгенофазового анализа и МУРР. Электрохимические свойства оценивали с помощью циклической вольтамперометрии.

Результаты и обсуждение

1. При терморазложении азидов кобальта образуются наночастицы CoO (20 нм) или Co₃O₄ (4–6 нм).
2. Наночастицы равномерно распределены в порах матрицы без снижения её удельной поверхности.
3. Введение оксида кобальта увеличивает удельную ёмкость (за счёт псевдоёмкости), но повышает сопротивление.

Выводы

1. Разработан метод синтеза нанокompозитов C/CoOx для суперконденсаторов.
2. Установлена зависимость электрохимических свойств от фазового состава и концентрации наполнителя.
3. Композиты демонстрируют потенциал для применения в высокоэффективных системах хранения энергии.

Список источников

1. Gonzalez A., Goilolea E., Barrena A., Mysyk R. Review of supercapacitors: Technologies and materials. / Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. –V. 58. – P. 1189-1206.
2. Воропай А.Н., Федорова Н.М. Захаров Ю.А., Пугачев В.М., Додонов В.Г., Суровикин Ю.В., Иванов А.В. Влияние условий термического разложения азиды кобальта в порах углеродной матрицы на фазовый состав продуктов / Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. - № 2. – С. 239-243.

Научный руководитель - Ларичев Т.А., д.х.н., профессор (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

**ОДНОРОДНЫЕ ПРОСТРАНСТВА НЕКОТОРЫХ НЕРАЗРЕШИМЫХ
НЕСИМПЛЕКТИЧЕСКИХ ГРУПП ЛИ**

Соколова А.Ю.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

socolova.nastya25@mail.ru

Аннотация: Хорошо известно, что разрешимые группы Ли могут допускать левоинвариантные симплектические структуры. В работе Chu В.-Y. [1] показано, что четырехмерная симплектическая алгебра Ли обязана быть разрешимой, а в шестимерном случае это не так и Chu В.-Y. привел пример шестимерной симплектической, но неразрешимой алгебры Ли. В этой же работе показано, что не могут быть симплектическими полупростые алгебры Ли и алгебры Ли $\mathfrak{g}$, имеющие разложение Леви-Мальцева в виде прямого произведения $\mathfrak{g} = N \times S$. Таким образом, остается вопрос о существовании симплектических структур только на неразрешимых алгебрах Ли, для которых разложение Леви-Мальцева является полупрямым произведением $\mathfrak{g} = N \ltimes S$. В шестимерном случае имеется классификация неразрешимых алгебр Ли, которые являются полупрямыми произведениями. Существует четыре такие алгебры Ли. Вопрос о существовании на них инвариантных симплектических структур рассмотрен в предыдущей работе автора. Показано, что только на одной из них существует симплектическая структура, а на остальных трех алгебрах Ли инвариантные замкнутые 2-формы являются вырожденными. В работе Chu В.-Y. показано, что каждая замкнутая вырожденная левоинвариантная 2-форма ω на группе Ли определяет симплектическую структуру на однородном пространстве этой группы Ли, когда в качестве группы изотропии выступает подгруппа Ли, соответствующая алгебре вырождения 2-формы ω на группе Ли. В представленной работе исследован вопрос о существовании инвариантных геометрических структур на симплектических однородных пространствах трех шестимерных неразрешимых группах Ли. Для каждой алгебры Ли найдены инвариантные замкнутые и точные формы, подпространства вырождения и дополнительные инвариантные подпространства. Для каждого случая исследованы инвариантные комплексные и паракомплексные структуры на однородных многообразиях.

Ключевые слова: симплектические группы Ли, однородные пространства, инвариантные геометрические структуры.

Вследствие левоинвариантности, все исследования можно проводить на уровне алгебр Ли групп Ли. Согласно классификации [2] шестимерных неразрешимых алгебры Ли, которые являются полупрямыми произведениями, существует четыре такие алгебры Ли.

Пусть (следуя обозначениям работы [2]) $A_{3,1}$, $A_{3,3}$, $A_{3,5}$ – трехмерные разрешимые алгебры Ли с базисом $\{e_1, e_2, e_3\}$ и со следующими ненулевыми скобками Ли: $A_{3,1}$ – коммутативная алгебра; $A_{3,3}$: $[e_1, e_2] = e_3$; $A_{3,5}$: $[e_1, e_2] = e_2$, $[e_1, e_3] = e_3$. Пусть $so(3)$ – алгебра Ли группы ортогональных матриц и $sl(2, \mathbf{R})$ – алгебра Ли матриц порядка 2 с нулевым следом. На данных алгебрах Ли выберем обычный базис $\{e_4, e_5, e_6\}$. Шестимерные неразрешимые алгебры Ли, которые являются полупрямыми произведениями определяются следующими скобками Ли:

1. $A_{3,5} \ltimes sl(2, \mathbf{R})$: $[e_1, e_2] = e_2$, $[e_1, e_3] = e_3$, $[e_4, e_5] = 2e_5$, $[e_4, e_6] = -2e_6$, $[e_5, e_6] = e_4$, $[e_2, e_4] = e_2$, $[e_2, e_5] = e_3$, $[e_3, e_4] = -e_3$, $[e_3, e_6] = e_2$.
2. $A_{3,3} \ltimes sl(2, \mathbf{R})$: $[e_1, e_2] = e_3$, $[e_4, e_5] = 2e_5$, $[e_4, e_6] = -2e_6$, $[e_5, e_6] = e_4$, $[e_4, e_1] = e_1$, $[e_5, e_2] = e_1$, $[e_6, e_1] = e_2$, $[e_4, e_2] = -e_2$.
3. $A_{3,1} \ltimes sl(2, \mathbf{R})$: $[e_4, e_5] = 2e_5$, $[e_4, e_6] = -2e_6$, $[e_5, e_6] = e_4$, $[e_4, e_1] = 2e_1$, $[e_5, e_2] = 2e_1$, $[e_6, e_1] = e_2$, $[e_4, e_3] = -2e_3$, $[e_5, e_3] = e_2$, $[e_6, e_2] = 2e_3$.
4. $A_{3,1} \ltimes so(3)$: $[e_4, e_5] = e_6$, $[e_4, e_6] = -e_5$, $[e_5, e_6] = e_4$, $[e_4, e_2] = e_3$, $[e_5, e_1] = -e_3$, $[e_6, e_1] = e_2$, $[e_4, e_3] = -e_2$, $[e_5, e_3] = e_1$, $[e_6, e_2] = -e_1$.

Вопрос о симплектических структурах на указанных алгебрах Ли рассмотрен в работе [3]. Там показано, что только первая из четырех указанных алгебр Ли допускает симплектические структуры. На трех последних алгебрах Ли любая инвариантная замкнутая 2-форма ω является вырожденной. В работе [1] показано, что левоинвариантная вырожденная замкнутая 2-форма определяет симплектическое однородное пространство. Напомним, что если ω – левоинвариантная вырожденная замкнутая 2-форма на группе Ли G , то подпространство вырождения

$$\mathfrak{h}_\omega = \{X \in \mathfrak{g} : i_X \omega = \omega(X, *) = 0\} \quad (1)$$

является подалгеброй. Алгебре $\mathfrak{h}_\omega$ соответствует подгруппа Ли H_ω . Если группа H_ω замкнута в G , то фактор-пространство G/H_ω является однородным пространством группы G и 2-форма определяет [1] симплектическую форму на пространстве G/H_ω .

Целью работы является исследование инвариантных геометрических структур на симплектических однородных пространствах указанных выше трех группах Ли.

Для каждой из трех несимплектических шестимерных неразрешимых алгебр Ли исследованы инвариантные геометрические структуры на симплектических однородных пространствах. Рассмотрим подробнее геометрические структуры на однородном пространстве группы Ли G_2 с алгеброй Ли $\mathfrak{g}_2 = A_{3.1} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$.

Инвариантные замкнутые и точные формы. Для нахождения замкнутых форм вводим общую 2-форму и решаем условие замкнутости $d\omega = 0$. Если $e_1, e_2, \dots, e_6$ – базис алгебры Ли $\mathfrak{g}_2$ группы G_2 и C_{ij}^k – структурные константы, то условие замкнутости $d\omega = 0$ представляется для формы $\omega = \omega_{ij} de^i \oplus de^j$ представляется в виде системы уравнений:

$$d\omega_{ijk} = -C_{ij}^s \omega_{sk} + C_{ik}^s \omega_{sj} - C_{jk}^s \omega_{si} = 0, i, j, k = 1, 2, \dots, 6. \quad (2)$$

В результате вычислений внешнего дифференциала $d\omega$ получается следующий общий вид замкнутой 2-формы:

$$\Omega = e^1 \wedge (\omega_{14} e^4 + \omega_{35} e^6) + e^2 \wedge (\omega_{14} e^5 - \omega_{34} e^6) + e^3 \wedge (\omega_{34} e^4 + \omega_{35} e^5) + e^4 \wedge (\omega_{45} e^5 + \omega_{46} e^6) + e^5 \wedge \omega_{56} e^6$$

Для нахождения точных 2-форм, вводим общую 1-форму $\theta = t_s e^s$, для которой имеем $d\theta_{ij} = -t_k C_{ij}^k$. В результате вычислений $d\theta$ получается следующий общий вид точной 2-формы: $d\theta = e^1 \wedge (2t_1 e^4 + t_2 e^6) + e^2 \wedge (2t_1 e^5 + 2t_3 e^6) + e^3 \wedge (t_2 e^5 - 2t_3 e^4) + e^4 \wedge (2t_6 e^6 - 2t_5 e^5) - e^5 \wedge t_4 e^6$

Мы видим, что каждая замкнутая 2-форма является точной. Поэтому вторая группа когомологий группы G_2 нулевая: $H^2(\mathfrak{g}_2) = Z^2(\mathfrak{g}_2)/B^2(\mathfrak{g}_2) = 0$.

Каждая замкнутая 2-форма является вырожденной с пространством вырождения (1) размерности 2. Поэтому каждая левоинвариантная замкнутая 2-форма на G определяет симплектическую структуру на однородном пространстве G_2/H_ω , где H_ω – группа Ли, соответствующая подалгебре $\mathfrak{h}_\omega$.

Далее рассмотрим симплектические однородные пространства, порожденные вырожденной точной 2-формой $\omega = d\theta$.

Алгебра Ли $\mathfrak{h}_\omega$ порождена следующими векторами:

$$E_5 = -2t_3 e_1 + t_2 e_2 - 2t_1 e_3, E_6 = -2(t_2 t_6 - t_3 t_4) e_1 - 2(-t_1 t_4 - t_2 t_5) e_3 + t_2^2 e_4 + 2t_2 t_3 e_5 - 2t_1 t_2 e_6.$$

В общем виде трудно найти инвариантное подпространство $\mathfrak{m}$, дополнительное к $\mathfrak{h}_\omega$. Поэтому были исследованы частные случаи. Рассмотрим одно из них.

Инвариантные структуры на однородном пространстве группы. Пусть $t_1=0, t_2=1, t_3=0, t_4=1, t_5=0, t_6=0$, то точная 2-форма принимает вид: $\omega_2 = e^1 \wedge e^6 + e^3 \wedge e^5 - e^5 \wedge e^6$.

Она вырождается на пространстве $\mathfrak{h}_{\omega_1}$, порожденном векторами e_2 и e_4 . Тогда $\mathfrak{m}_2 = \mathbf{R}\{e_1, e_3, e_5, e_6\}$. Тогда выберем новый базис: $E_1 = e_1, E_2 = e_3, E_3 = e_5, E_4 = e_6, E_5 = e_2, E_6 = e_4$. С новыми структурными константами:

$$C_{53}^1 = -2, C_{54}^2 = -2, C_{61}^1 = 2, C_{62}^2 = -2, C_{63}^3 = 2, C_{64}^4 = -2, C_{32}^5 = 1, C_{41}^5 = 1, C_{43}^6 = -1.$$

Точная 2-форма ω_1 в новом базисе имеет матрицу: $\omega_2 = e^1 \wedge e^4 + e^2 \wedge e^3 - e^3 \wedge e^4$.

Присоединенное действие алгебры $\mathfrak{h}_{\omega_1}$ на инвариантном пространстве $\mathfrak{m}_1$ в новом

базисе определяется формулами: $\text{ad}_{E_5}(E_3) = -2E_1, \text{ad}_{E_5}(E_4) = -2E_2, \text{ad}_{E_6}(E_1) = 2E_1, \text{ad}_{E_6}(E_2) = -2E_2, \text{ad}_{E_6}(E_3) = 2E_3, \text{ad}_{E_6}(E_4) = -2E_4$.

Исследуем инвариантные геометрические структуры на однородном пространстве соответствующем точной форме ω_2 на G_2 .

Инвариантные симплектические структуры

Вводим общую форму $\omega = \pi^* \Omega$ в базисе E_i и вычисляем внешний дифференциал $d\omega$, приравняв его к 0. Получаем следующий общий вид замкнутой 2-формы на однородном пространстве G_2/H_{ω_2} : $\omega = e^1 \wedge \omega_{23} e^4 + e^2 \wedge \omega_{23} e^3 - e^3 \wedge \omega_{34} e^4$.

Заметим, что выбранная нами точная 2-форма ω_2 входит в найденное семейство замкнутых 2-форм при $\omega_{23} = 1$ и $\omega_{34} = -1$: $\omega_2 = e^1 \wedge e^4 + e^2 \wedge e^3 - e^3 \wedge e^4$. Условие инвариантности $(\text{ad}_Z)^t \cdot \omega + \omega \cdot \text{ad}_Z = 0$ выполнено для любого $Z \in \mathfrak{h}_{\omega}$.

Инвариантные паракомплексные структуры. Найдём инвариантные паракомплексные структуры $J = (\psi_{ij})$ на $\mathfrak{m}_2$ из условий: $J \cdot \text{ad}_Z = \text{ad}_Z \cdot J$, для любого $Z \in \mathfrak{h}_2$ и $J^2 = -1$ на $\mathfrak{m}_2$. Получаем следующий вид матрицы паракомплексной структуры J на пространств, согласованной с выбранной 2-формой $\Omega_2 = e^1 \wedge e^4 + e^2 \wedge e^3 - e^3 \wedge e^4$: $J = \text{diag}\{1, -1, 1, -1\}$.

Инвариантные метрические структуры. Метрический тензор g на $\mathfrak{m}_2$ инвариантный относительно действия $\mathfrak{h}_1$: $g([Z, X], Y) + g(X, [Z, Y]) = 0$, $\forall X, Y \in \mathfrak{m}_2, \forall Z \in \mathfrak{h}_2$ и ассоциированная метрика $g_J(X, Y) = \Omega_2(X, JY)$ имеют вид:

$$g = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & g_{14} \\ 0 & 0 & -g_{14} & 0 \\ 0 & -g_{14} & 0 & g_{34} \\ g_{14} & 0 & g_{34} & 0 \end{pmatrix}, \quad g_J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Получаем семейство инвариантных параэлеровых структур (J, Ω_2, g_J) на однородном пространстве $M_2 = G_2/H_{\omega_2}$. Тензор Риччи и скалярная кривизна имеют вид:

$$\text{Ri} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -4 \\ 0 & 0 & -4 & 0 \end{pmatrix}, \quad R = 0.$$

Литература и источники

1. Chu Bon-Yao. Symplectic homogeneous spaces. // Trans. of the Amer. Math. Soc. — 1974. — Vol. 197, P. 154–159.
2. Basarab-Horwath P., Lahno V., Zhdanov R. The structure of Lie algebras and the classification problem for partial differential equations. // Acta Appl. Math. — 2001. — Vol. 69, P. 43–94.
3. Смоленцев Н.К. Параэлеровы и параэрмитовы структуры на шестимерных неразрешимых алгебрах Ли [Текст] / Н.К. Смоленцев, А.Ю. Соколова // Известия Алтайского государственного университета. / АлтГУ – Барнаул, 2023. – Вып. 4. – С. 94–98.
4. Соколова А.Ю. Левоинвариантные параэлеровы и параэрмитовы структуры на шестимерных неразрешимых группах Ли [Текст] / А.Ю. Соколова // Фундаментальные и прикладные исследования в физике, химии, математике и информатике. / КемГУ – Кемерово, 2023. – Вып. 24. – С. 110–112.
5. Smolentsev N. K., Sokolova A. Yu. Left-invariant Kähler and semi-para-Kähler structures on some six-dimensional unsolvable Lie groups. arXiv:2408.13736 [math.DG] (<https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.13736>)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Смоленцев Н. К., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»

**ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТНЫХ И ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК КРОВОТОКА В ПАТОЛОГИЧЕСКИ ИЗВИТЫХ ВНУТРЕННИХ
СОННЫХ АРТЕРИЯХ**

Александровский И. Д., Хетеева Э.Э.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России

ivan.mkn211@gmail.com, elina.kheteeva@mail.ru

Аннотация: Патологическая извитость внутренних сонных артерий, связанная, как правило, с возрастным удлинением сосуда, является распространённой причиной нарушений кровоснабжения головного мозга, которая может привести к тяжелым последствиям. Извитость сосуда приводит к усложнению структуры кровотока, что отражается на гемодинамических показателях, связанных с пристеночным напряжением сдвига, являющихся индикаторами рисков патологических проявлений. Эти показатели не могут быть измерены непосредственно, но они могут быть получены путём численного моделирования кровотока в сосуде. Поэтому вопрос о корреляции значений гемодинамических показателей с какими-то непосредственно измеряемыми характеристиками кровотока является актуальной задачей. В работе описываются результаты исследования, проведённого на основании данных компьютерной ангиографии группы из 14 пациентов, имеющих различные формы и степени извитости внутренней сонной артерии. По этим данным строились геометрические модели сосудов, и методами вычислительной гидродинамики выполнялись расчёты установившегося периодического кровотока с едиными для всех моделей данными временной зависимости скорости на входе и сопротивления среды на выходах. Постобработкой результатов расчётов были получены данные о распределении пристеночного напряжения сдвига на стенках артерий, выделялись критические зоны стенки в которых вычислялся гемодинамический показатель, представляющий собой интегральное значение напряжения сдвига по критической зоне. Также, по результатам расчётов вычислялся скоростной показатель кровотока – пиковое значение скорости в области извитости. Анализировалась линейная корреляция по Пирсону между этими двумя показателями на построенной выборке моделей. Показано, что между этими двумя показателями существует тесная связь, построена формула линейной регрессии.

Ключевые слова: патологическая извитость артерий, вычислительная гидродинамика, пристеночное напряжение сдвига.

Цель работы – исследование взаимозависимости гемодинамических и скоростных характеристик кровотока во внутренней сонной артерии методом численного моделирования.

По данным КТА (компьютерная томография, ангиография) 14 пациентов с диагностированной патологической извитостью различных типов были построены 3D геометрические модели внутренних сонных артерий (ВСА) [1]. На рисунке 1 изображены области извитости моделей 4, 7, 9, 11.

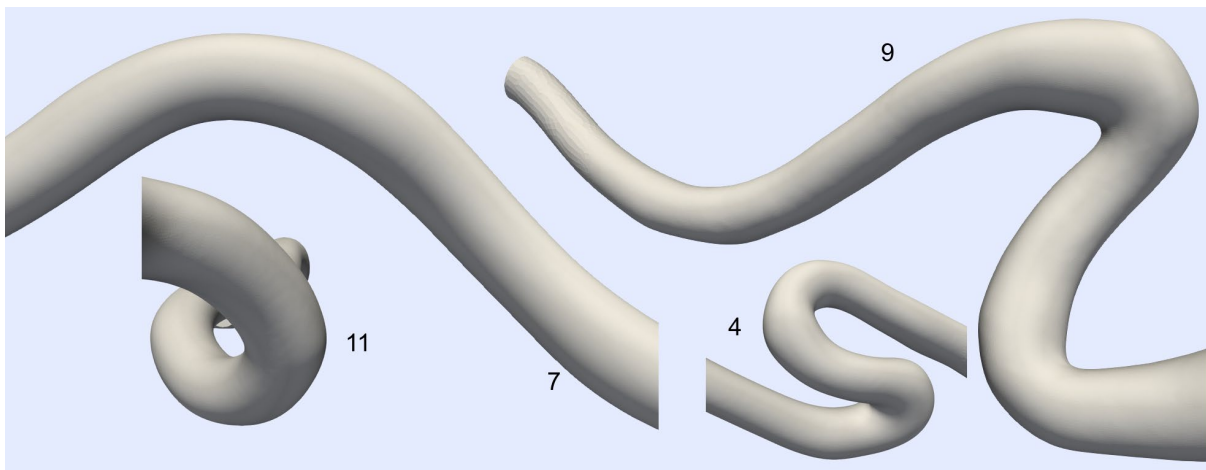


Рисунок 1. Формы извитости моделей 4, 7, 9, 11

В построенных моделях с помощью приложения SimVascular [2] методом конечных элементов для трёхмерной системы уравнений Навье-Стокса проводились численные расчёты нестационарного периодического кровотока. Кровь считалась ньютоновской жидкостью с плотностью 1060 кг/м^3 и динамической вязкостью $4.0 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$. Стенки сосуда считались жёсткими и на них ставилось условие непротекания. На входном сечении ОСА (общая сонная артерия) задавалась периодически изменяющаяся объёмная скорость с временной зависимостью, соответствующей пульсовой кривой здорового человека. На выходных сечениях ВСА и НСА (наружная сонная артерия) ставились трёхкомпонентные условия RCR, описывающие сопротивление последующей сосудистой сети. Для корректности сравнения результатов расчётов отношение сопротивлений, задаваемых для НСА и ВСА, подбирались таким образом, чтобы средние за сердечный цикл объёмные скорости кровотока через ВСА у всех моделей отличались не более, чем на 1 процент.

По результатам численных расчётов в каждой области патологической извитости сосудов методом постпроцессинга вычислялось распределение значения пристеночного напряжения сдвига (WSS) на стенке [3]. Строились области стенки сосуда (критические зоны S), в которых значения WSS превышают критическую величину 14 Па [4, 5]. Распределение величины WSS зависит от времени, и критическая зона, если она вообще возникает, существует на некотором интервале времени $[t_0, t_1]$, как правило, в пределах систолического спада скорости кровотока. Для количественной оценки величины негативного воздействия WSS на стенку сосуда, в каждой критической зоне, вычислялось WSS_I – интегральное значение модуля WSS по площади зоны за всё время ее существования:

$$WSS_I = \int_{t_0}^{t_1} \int_S |WSS| ds dt. \quad (1)$$

На рисунке 2 приведены изображения критических зон в момент времени их максимального развития для моделей 3, 6, 8, 13. Цветом, в соответствии с приведённой на рисунке шкалой отображается абсолютное значение WSS в Па.

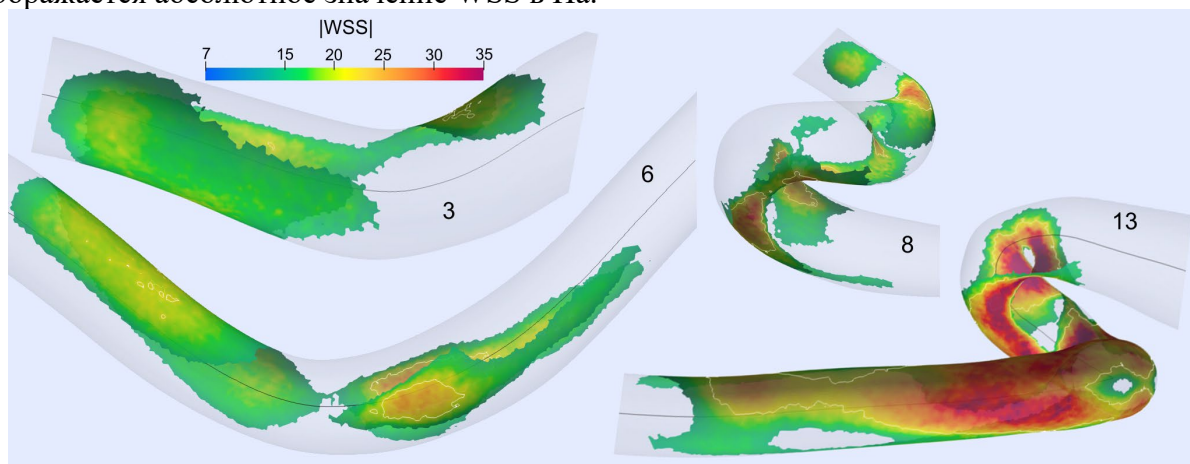


Рисунок 2. Критические зоны на пике своего развития для моделей 3, 6, 8, 13

Помимо показателя WSS_I, вычисляемого по формуле (1), для каждой области извитости методом постпроцессинга вычислялся показатель V_peak – пиковое значение скорости кровотока, наблюдаемое в ней в течение всего периода сердечного цикла. В таблице 1 приведены значения этих двух показателей для моделей с указанными номерами.

Таблица 1. Показатели WSS I (Па·см²·с) и V_peak (см/с) для построенных моделей

No	WSS I	V_peak	No	WSS I	V_peak
1	0,150	108	8	1,168	135
2	0,406	124	9	1,526	141
3	0,532	129	10	2,035	163
4	0,665	122	11	2,062	146
5	0,969	129	12	2,905	169
6	1,012	147	13	3,888	183
7	1,140	146	14	3,996	197

На основании полученных данных исследовалась корреляция показателей WSS_I и V_peak. Коэффициент r линейной корреляции Пирсона по представленной выборке оказался равным 0,939, доверительный интервал с уровнем значимости $p = 0.05$: [0,814; 0,941]. На рисунке 3 приведена диаграмма рассеяния для этой пары показателей. Пунктирная линия на рисунке – это график линейной регрессии с формулой $y = 18,31x + 115,69$.

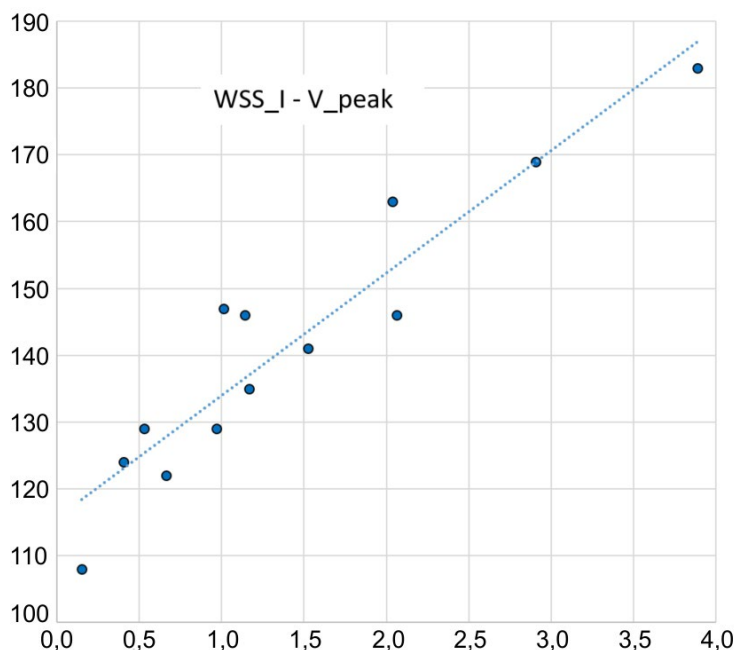


Рисунок 3. Диаграмма рассеяния для показателей WSS_I и V_peak

Таким образом на представленной выборке наблюдается тесная связь между гемодинамическим показателем WSS_I и скоростным показателем V_peak.

Литература и источники

1. Saba L, Sanfilippo R, Suri JS, et.al. Does Carotid Artery Tortuosity Play a Role in Stroke?// Can Assoc Radiol J. 2021 Nov;72(4):789-796. doi: 10.1177/0846537121991057.
2. Updegrave A., Wilson N.M., Merkow J., Lan H., Marsden A.L., Shadden S.C. Simvascular: An open source pipeline for cardiovascular simulation // Ann. Biomed. Eng. 2017. 45. DOI: 10.1007/s10439 -016-1762-8.
3. Клышников К.Ю., Овчаренко Е.А., Борисов В.Г. и др. Моделирование гемодинамики сосудистых протезов «КемАнгипротез» in silico // Мат. биол. и биоинф. – 2017. Т. 12, № 3. – С. 559-569, doi: 10.17537/2017.12.559.
4. Борисов В.Г., Захаров Ю.Н., Виноградов Р.А., Дербилова В.П., Хетеева Э.Э. Корреляция интегральных гемодинамических показателей кровотока в персонально-

специфических моделях каротидной бифуркации // Известия Алтайского государственного университета, 2025, № 1(141). С. 81-87 DOI: 10.14258/izvasu(2025)1-10.

5. Borisov V.G., Zakharov Y.N., Derbilova V.P., Vinogradov R.A., Ivanova N.V. The influence of inlet flow asymmetry on the carotid bifurcation hemodynamics // Journal of Physics: Conference Series 2024, 2701(1), 012010.

Научный руководитель – Борисов В.Г., к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ К ОЛИМПИАДАМ ПО МАТЕМАТИКЕ УЧАЩИХСЯ 7-8 КЛАССОВ ЧЕРЕЗ АДАПТАЦИЮ МЕТОДИКИ ХАЗАНКИНА

Алексеева Л.А.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

lubasabalina@yandex.ru

Аннотация: Статья "Оптимизация процесса подготовки к олимпиадам по математике учащихся 7-8 классов через адаптацию методики Хазанкина" исследует актуальную проблему совершенствования системы олимпиадной подготовки школьников. В работе представлен комплексный анализ современных педагогических подходов, который выявил существенные недостатки традиционных методов обучения. Основными проблемами являются: доминирование шаблонных подходов – ориентация на механическое запоминание алгоритмов при недостаточном внимании к развитию творческого математического мышления, недостаток внимания к нестандартным задачам – школьники теряются в условиях, требующих творческого подхода, отсутствие персонализации – стандартные программы не учитывают индивидуальные затруднения учеников, недостаток мотивации – ученики воспринимают олимпиады как стресс, а не как интеллектуальный вызов. Разработана инновационная программа подготовки, базирующаяся на адаптированной методике Р.Г. Хазанкина, российского педагога-новатора. Программа включает: систематизированный теоретический материал с акцентом на глубину понимания, а не заучивание формул, специализированный набор олимпиадных задач разного уровня с акцентом на нестандартные формулировки, постепенное усложнение, дифференцированные виды учебной деятельности.

Экспериментальная проверка эффективности предложенной методики проводилась на базе МБОУ "СОШ № 55" и включала четыре ключевых этапа диагностики: оценку исходного уровня подготовки, выявление индивидуальных затруднений учащихся, контроль усвоения теоретического материала и проверку сформированности навыков решения олимпиадных задач.

Результаты исследования демонстрируют значительное повышение эффективности подготовки: у учащихся отмечается более глубокое понимание математических концепций и существенное улучшение результатов на олимпиадах. Полученные данные подтверждают, что адаптированная методика Хазанкина является перспективным инструментом для модернизации системы олимпиадной подготовки в средних классах.

Ключевые слова: методика Хазанкина, адаптация методики, олимпиада по математике, подготовка к олимпиадам, решение олимпиадных задач.

Современное образование должно развивать логическое, алгоритмическое и эвристическое мышление, что критически важно для решения нестандартных задач и формирования критического мышления, особенно в олимпиадной подготовке.

. Проведенное исследование современного состояния олимпиадной подготовки по математике, основанное на анализе результатов последних лет и обзоре актуальных методических материалов для учащихся 7-8 классов, выявило существенные пробелы в формировании у школьников компетенций решения нестандартных задач. Традиционные подходы к подготовке демонстрируют ограниченную эффективность, поскольку преимущественно ориентированы на отработку алгоритмических навыков в ущерб развитию креативного математического мышления и способности адаптироваться к новым типам задач. Полученные результаты указывают на необходимость существенного пересмотра существующей системы подготовки к математическим соревнованиям.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации олимпиадной подготовки школьников в условиях возрастающих требований к качеству математического образования. Предлагаемая адаптация методики Р.Г. Хазанкина, российского педагога-математика, позволяет преодолеть ключевое противоречие между традиционными подходами к обучению и потребностями развития эвристического мышления обучающихся.

Подготовка учащихся 7-8 классов к олимпиадам по математике основана на методике Р.Г. Хазанкина и включает следующие виды занятий [2]:

1. Лекции;
2. Лекции по решению ключевых задач;
3. Практикум по распознаванию задач по ключевым;
4. Практические занятия по решению задач;
5. Практические занятия по решению творческих задач и задач высокого уровня сложности;
6. Урок консультация;
7. Урок зачет.

В рамках разработки методики подготовки к олимпиадам по математике для учащихся 7–8 классов был осуществлен системный подбор теоретического материала с учетом требований олимпиадных программ и возрастных когнитивных особенностей школьников. Теоретическая база включала ключевые разделы элементарной математики, наиболее востребованные на региональных и всероссийских олимпиадах:

- Арифметика и теория чисел;
- Алгебра;
- Геометрия;
- Комбинаторика и Логика.

На основе отобранного материала разработан комплекс заданий, структурированных по принципу возрастающей сложности:

Ключевые задачи – направлены на закрепление ключевых понятий и алгоритмов.

Задача 1. Сколько двузначных чисел можно составить из цифр 1, 3, 5, 7, 9, если цифры не повторяются? (Комбинаторика)

Задания повышенной сложности – требуют применения комбинированных методов и творческого подхода.

Задача 2. Сколько существует натуральных чисел от 1 до 1000, которые:

- 1) Делится на 3, но не делится на 5?
- 2) Делится на 4 или на 6, но не делится на 8? (Алгебра и теория чисел)

Олимпиадные задачи – моделируют типовые и оригинальные проблемы, встречающиеся в соревнованиях.

Задача 3. В треугольнике ABC проведены высоты AA_1 и BB_1 . Оказалось, что точка A_1 является серединой стороны BC, а точка B_1 - серединой стороны AC. Докажите, что треугольник ABC - равносторонний.

Для объективной оценки динамики развития математических способностей учащихся, были разработаны и апробированы:

Входная диагностическая олимпиада – позволила определить исходный уровень подготовки и выявить индивидуальные затруднения.

Повторная олимпиада (после прохождения курса) – направлена на оценку эффективности методики, включая усвоение теоретического материала и способность решать нестандартные задачи.

В рамках педагогического эксперимента была проведена апробация разработанной методики подготовки к олимпиадам по математике среди учащихся 7 класса МБОУ «СОШ № 55». Целью исследования являлась оценка эффективности предложенного подхода.

Методика и этапы апробации:

1. Констатирующий этап- проведение входной диагностической олимпиады для 15 учащихся.
2. Формирующий этап – реализация программы подготовки (1 занятие в неделю, 2 академических часа).

Ключевые элементы методики:

- Акцент на решении задач с постепенным усложнением;
- Групповые обсуждения и поиск множественных решений;

- Разбор типовых олимпиадных стратегий (инварианты, принцип Дирихле и др.).
3. Контрольный этап – проведение повторной олимпиады (аналогичной по структуре входной).

Сравнение результатов входной и повторной олимпиады представлены ниже (рис.1), где на горизонтальной оси указаны задачи разного уровня сложности, а на вертикальной оси – количество учеников.

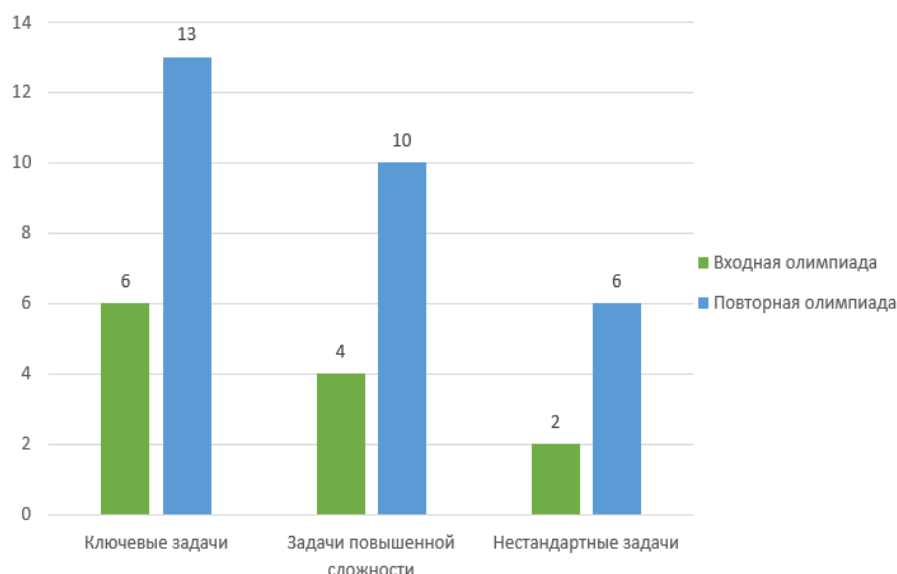


Рисунок 1. Результаты входной и повторной олимпиад

Методика показала статистически значимое улучшение результатов. Наибольший прогресс отмечен в умении применять комбинированные методы и уверенности при решении незнакомых задач.

Рекомендации: увеличить количество часов на разбор олимпиадных техник, включить индивидуальные траектории для наиболее мотивированных учащихся.

Данный подход обеспечивает системность подготовки, сочетая углубленное изучение теории с практической отработкой навыков решения олимпиадных задач. Результаты апробации подтверждают целесообразность применения данной методики в работе с учащимися, мотивированными на успешное участие в математических соревнованиях.

Методика Хазанкина — это эффективный инструмент для подготовки школьников к математическим олимпиадам. Она позволяет не только повысить уровень знаний, но и развить творческие и аналитические способности, умение решать нестандартные задачи. Это способствует формированию у учеников интереса к математике и исследованиям, что является важной задачей современного образования.

Литература и источники

1. 35-й Математический праздник 18 февраля 2024. Статистика. URL: https://olympiads.mccme.ru/matprazdnik/stat_24.html (дата обращения: 20.03.2025)
2. Зильберберг Н. И., Канунникова Г. А. Формы работы Р. Г. Хазанкина — учителя школы № 14 г. Белорецка. *Математика в школе* № 2 с. 18-22. 1986
3. Фридман Л.М. Теоретические основы методики обучения математике: Учебное пособие.— М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 248 с
4. Черных А.А. Формирование качеств мышления студентов, характерных для математической деятельности и необходимых для полноценной жизни в обществе. URL: <http://michas.narod.ru/Konferencia/Matematika/Chernih.doc> (дата обращения: 23.03.2025)

Научный руководитель – к.п.н., доцент Глухова О.Ю., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

АКТИВИЗАЦИЯ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЗАНЯТИЯХ ОНЛАЙН КУРСА И В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНИКА В КУРСЕ АЛГЕБРЫ

Альтман Л. В., Попапенко М. В.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

leonid8875@gmail.com

Аннотация: Настоящая работа посвящена исследованию проблемы активизации учебной деятельности обучающихся на занятиях онлайн курса в изучении элементов алгебры логики и использование электронных учебников на занятиях. Одна из основных задач школы построить учебный процесс таким образом, чтобы каждый из обучаемых осознал сам процесс учения и принимал в нем активное участие. Педагоги и исследователи отмечают, что учебная активность бывает внутренней и (мыслительной) и внешней (моторной), и именно активность является условием сознательного усвоения знаний [1]. Преподаватель управляет активностью в учебном процессе, помогая разрешить основное противоречие «активность преподавателя – пассивность обучаемого». Учебная активность обучаемого – индивидуальные действия направленные на приобретение знаний, умений, навыков [1]. В курсе алгебры можно выделить различные темы «Системы счисления», «Теория делимости», «Функции и графики», «Элементы теории логики» и другие которые выходят за рамки школьной программы и требуют дополнительного изучения. Онлайн курсы и электронные учебники позволяют: самостоятельно выбрать курсы для обучения; определить уровень обучения; выбрать время для просмотра лекций и выполнения заданий; реализовывать интерактивность и взаимодействие. Для активизации учебной деятельности обучающихся, необходимо правильно отобрать учебный материал, разработать задания, организовать учебный процесс, подобрать методы, приемы и средства активизации [6]. Активные методы обучения подразделяют на три основные группы: неимитационные методы, имитационные неигровые методы, имитационные игровые методы. В онлайн курсе наиболее удачно работают имитационные неигровые методы: вопрос – ответ, метод проектов, метод ключевых задач. Электронные учебники, использующие метод вопрос – ответ, позволяют организовать взаимодействие обучаемых с преподавателем.

Ключевые слова: активизация, онлайн курс, методы активизации, электронные учебники.

Цель работы: разработать онлайн курс «Элементы алгебры логики. Логические операции» с использованием методов активизации учебной деятельности.

Анализ научной, методической и учебной литературы по теме исследования показал, что нет однозначного определения активных методов обучения. В работе мы будем придерживаться определения «Активные методы обучения - способы активизации учебно-познавательной деятельности обучающихся, которые побуждают их к активной мыслительной и практической деятельности в процессе овладения материалом, когда активен не только преподаватель, но активны и сами обучающиеся» [1]. Анализ программ и школьных учебников Алгебры и математического анализа показал, что вопросы алгебры логики и логические операции по программе базового и профильного уровня не изучаются [2, 5]. Анализ и сравнение рабочих программ среднего общего образования по предмету информатика 10 класс на базовом и профильном уровне показал, что на любом уровне изучаются следующие вопросы: знать понятие высказывание, логическая операция, логическое выражение; умение записывать логические выражения с использованием дизъюнкции, конъюнкции и отрицания; определять истинность логических выражений, если известны значения истинности входящих в него переменных, строить таблицы истинности для логических выражений; записывать логические выражения на изучаемом языке программирования [3].

Онлайн курс «Элементы алгебры логики. Логические операции» рассчитан на 17 часов. Составлено тематическое планирование, подобран материал, разработаны методы активизации к некоторым разделам. Для организации обучения и создания курса выбрана

платформа Контур. Класс. На платформе можно проводить различные типы уроков, можно понять кто проходит обучение и оценивать активность, обучающимся не требуется специального программного обеспечения [5]. Так в одном из занятий по теме «Порядок составления таблиц истинности для логических функций (логических выражений)» активизация учебной деятельности происходит с использованием метода «Вопрос – ответ». Метод «Вопрос - ответ» хорошо работает на активизацию в электронном учебнике.

Пример 1. Построить таблицу истинности для логического выражения $a \wedge b \vee b$ [7].

Решение.

Вопрос. Определите количество строк, столбцов. Заполнить таблицу истинности.

Ответ. Строк – 4, столбцов – 4 (таблица 1).

Таблица истинности для логического выражения $a \wedge b \vee b$

a	b	$a \wedge b$	$a \wedge b \vee b$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	0
1	1	1	1

Пример 2. Построить таблицу истинности для логического выражения $a \wedge b \vee \neg b$ [7].

Вопрос. Определите количество строк, столбцов. Заполнить таблицу истинности.

Ответ. Строк – 4, столбцов – 5 (таблица 2).

Таблица истинности для логического выражения $a \wedge b \vee \neg b$

a	b	$\neg b$	$a \wedge b$	$a \wedge b \vee \neg b$
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	1

Созданный онлайн курс «Элементы алгебры логики. Логические операции» прошел апробацию. Трудностей при изучении материала у обучающихся не возникло. Высокий уровень активности, определяемый по скорости восприятия материала и уровню правильных ответов при выполнении заданий и решении тестов, дает уверенность в правильности выбранного направления и использования методов активизации в учебном процессе.

Литература и источники

1. Активизация учения школьников / Т.И. Шамова - Москва : Педагогика, 1982. - 209 с.
2. Алгебра и начала математического анализа. 10-11 классы. (базовый и углубленный уровни) - Алимов А.Ш., Колягин Ю.М. и др. – 7-е изд. – Москва : Просвещение, 2019. – 288 с.
3. Информатика. Босова Л.Л.. Информатика (базовый уровень), 10, 11 кл. – М, АО «Издательство «Просвещение». 2022. - 288
4. Математика. Алгебра и начала математического анализа; углубленное обучение. 10 класс. Мерзляк А.Г., Номировский Д.А., Поляков В.М.; под редакцией Подольского В.Е., Общество с ограниченной ответственностью Издательский центр "ВЕНТАНА-ГРАФ"; АО "Издательство "Просвещение". 2022. – 480 с.
5. Начало работы Контур. Класс – <https://kontur.ru/lp/class/onlayn-kursyboty-s-mywebinar/>
6. Романова, Н. Л. Онлайн-курсы как инновационная форма дистанционного обучения / Н. Л. Романова. — Текст : непосредственный // Педагогика высшей школы. — 2018. — № 2 (12). — С. 5-8.
7. Учебно-методический материал по информатике и ИКТ (8, 10 класс): Алгебра логики <https://nsportal.ru>

Научный руководитель – Глухова О.Ю., к.п.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРНЕТ-ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ**Антропов Д.Р.**ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
antropov.deni@yandex.kz

Аннотация: в статье рассмотрены современные интернет-инструменты для дистанционного обучения в вузах, проанализированы их преимущества и недостатки с точки зрения преподавателей и студентов. Особое внимание уделяется актуальным технологиям, таким как LMS-системы, видеоконференцсвязь и платформы для совместной работы. Также в статье предложены рекомендации по внедрению новых решений, способствующих повышению эффективности образовательного процесса.

Ключевые слова: дистанционное обучение, интернет-инструменты для обучения, LMS, онлайн-курсы.

Дистанционное обучение (ДО) становится неотъемлемой частью образовательной системы в вузах, особенно в условиях современной глобализации и цифровых трансформаций. Оно открывает новые горизонты для преподавателей и студентов, предоставляя доступ к знаниям вне зависимости от географического положения и временных ограничений. Большинство вузов активно внедряют дистанционные образовательные технологии, адаптируясь к современным условиям, где мобильность и доступность знаний играют ключевую роль. Основными преимуществами ДО являются гибкость расписания, возможность индивидуального подхода к обучению и экономия времени на посещение аудиторий. Однако успешное внедрение ДО требует использования эффективных интернет-инструментов, обеспечивающих высокое качество образовательного процесса, и сталкивается с такими недостатками, как отсутствие прямого взаимодействия между преподавателем и студентом, сложности в контроле успеваемости и необходимость высокой самоорганизации со стороны учащихся.

Цель работы заключается в анализе современных интернет-инструментов, используемых для организации дистанционного обучения в высших учебных заведениях. Работа направлена на исследование текущей ситуации в области дистанционного образования, выявление преимуществ и недостатков данного формата обучения как для преподавателей, так и для студентов. В рамках исследования будет проведен обзор существующих инструментов, применяемых педагогами для реализации образовательных процессов в онлайн-формате. Особое внимание уделено предложению новых или усовершенствованных решений, которые могли бы повысить эффективность и удобство использования дистанционного обучения в вузах.

Преподаватели используют различные интернет-инструменты для организации и поддержки учебного процесса. Среди наиболее популярных — системы управления обучением (Learning Management Systems, LMS), такие как Moodle или Blackboard. Эти платформы позволяют создавать курсы, загружать учебные материалы, проводить тестирование и отслеживать прогресс студентов. Видеоконференцсвязь, представленная сервисами вроде Zoom или Microsoft Teams, помогает организовать онлайн-занятия и семинары, обеспечивая взаимодействие в режиме реального времени.

Для повышения эффективности дистанционного обучения рекомендуется обратить внимание на следующие сервисы:

1. Готовые курсы.

Coursera — одна из крупнейших платформ онлайн-образования, предлагающая курсы от ведущих мировых университетов и компаний. Курсы охватывают различные дисциплины, включая компьютерные науки, бизнес, гуманитарные науки и многие другие. Курсы включают видеолекции, практические задания, обсуждения в сообществе и итоговую аттестацию. Многие программы завершаются выдачей сертификатов. Преподаватель может использовать фрагменты курсов Coursera для интеграции в свою учебную программу.

edX — некоммерческая платформа, основанная Гарвардским университетом и Массачусетским технологическим институтом (MIT). Предлагает высококачественные курсы от известных вузов и организаций, такие как Microsoft, IBM и др. Курсы включают видеоматериалы,

проверочные работы, форумы для обсуждений и возможность получения подтвержденного сертификата. Материалы часто предлагаются бесплатно, но сертификация требует оплаты. Преподаватель может выбирать отдельные блоки для включения в собственный курс.

Stepik — российская образовательная платформа, где представлено большое количество курсов по программированию, математике, физике и другим направлениям. Многие курсы разработаны ведущими вузами страны, такими как МФТИ, ВШЭ и СПбГУ. Stepik предлагает пошаговое обучение через небольшие видеоуроки, интерактивные задачи и тесты. Система поддерживает автоматическое оценивание результатов, что удобно для преподавателей. Курсы также можно настраивать под конкретные цели.

Udemy — крупнейший маркетплейс онлайн-курсов, созданный независимыми экспертами и инструкторами. Курсы варьируются от IT до творчества и бизнеса, причем большинство материалов предоставляется на английском языке. Преподаватели могут просматривать сотни тысяч различных курсов и выбирать наиболее подходящие для своего предмета. Некоторые курсы предлагают пожизненное обновление материалов, что делает их особенно полезными для долгосрочного использования.

2. Создание собственных курсов.

Google Classroom — бесплатная облачная платформа для учителей и учеников, разработанная Google. Она помогает организовать дистанционное обучение, предоставляя инструменты для создания классов, добавления заданий и отслеживания прогресса учащихся.

Особенности:

- интеграция с другими сервисами Google (Docs, Sheets, Forms) позволяет преподавателям легко делиться материалами и проверять выполненные задания;
- удобна для небольших групп и индивидуальных занятий.

Moodle — это открытая система управления обучением (Learning Management System, LMS), которую используют университеты, школы и корпоративные клиенты по всему миру. Это мощный инструмент для создания и администрирования онлайн-курсов.

Особенности:

- поддержка множества форматов контента (видео, тексты, тесты);
- встроенные форумы и системы оценок;
- преподаватели могут легко кастомизировать интерфейс и функции;
- благодаря открытому исходному коду;
- подходит для масштабируемых проектов.

iSpring Suite — это набор инструментов для быстрого создания электронных курсов прямо в PowerPoint. Программа добавляет к презентациям интерактивные элементы, такие как тесты, опросы и диалоги.

Особенности:

- интуитивно понятный интерфейс;
- совместимость с SCORM/LMS стандартами, что позволяет загружать созданные курсы на любые популярные платформы;
- идеально подходит для тех, кто хочет превратить обычные презентации в полноценные интерактивные уроки.

Canvas — коммерческое решение для управления обучением, которое активно используется школами, колледжами и университетами. Оно предлагает широкие возможности для настройки образовательного процесса.

Особенности:

- гибкая структура курсов, поддержка совместной работы, интеграция с внешними приложениями (Zoom, Google Docs и пр.);
- платформа ориентирована на создание динамичных и персонализированных учебных процессов.

Эти сервисы предоставляют разнообразные возможности для поиска готовых курсов и создания уникальных учебных программ, помогая преподавателям сделать образовательный процесс более эффективным и интересным.

Литература и источники

1. Фролова Н.А., Середа Е.Н. Интернет-технологии в образовании: учебник / Н.А. Фролова, Е.Н. Середа — М.: Издательство Юрайт, 2020. — 350 с.
2. Киселев Г.М., Бочкова Р.В. Информационные технологии в педагогическом образовании: Учебник для вузов / Г.М. Киселев, Р.В. Бочкова — М.: Академия, 2018. — 240 с.
3. Кузнецов Э.А., Лавровская О.Б. Онлайн-курсы и массовые открытые онлайн-курсы (МООС): Практика внедрения и опыт использования / Э.А. Кузнецов, О.Б. Лавровская — М.: Просвещение, 2018. — 192 с.
4. Попов А.В., Васильева Н.А. Анализ эффективности использования LMS-систем в российском высшем образовании / А.В. Попов, Н.А. Васильева Образовательные технологии и общество. — 2020. — Т. 23, № 2. — С. 55–67.
5. Коробков В.Л. Методология проектирования и реализации дистанционных образовательных курсов: Дисс. ... д-ра пед. наук / В.Л. Коробков — Новосибирск, 2019. — 352 с.

Научный руководитель – Саблинский А. И., к.т.н., доцент каф. фундаментальной математики (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

**ОРГАНИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ
В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ.****Антропова М.А.**ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
mashashishenko03@gmail.com

Аннотация: данная статья посвящена организации дистанционного обучения на уроках математики в школе. В работе рассмотрена современная ситуация с применением дистанционного обучения, проанализированы плюсы и минусы дистанционного обучения на уроках математики, изучены инструменты для организации дистанционного обучения, такие как образовательные платформы, онлайн-ресурсы, интерактивные приложения и системы видеоконференций.

Ключевые слова: дистанционное обучение, технологии электронного обучения.

Дистанционное обучение стало неотъемлемой частью современного образования. Появляются все больше различных технологий и инструментов, которые помогают проводить учителям уроки в дистанционном режиме с использованием виртуальных досок и графических редакторов для демонстрации решения задач, обеспечивать доступ к учебным материалам ученикам в любое удобное для них время. Не смотря на то что дистанционное обучение уже широко применяется в школах, оно требует дальнейшего изучения и поисков новых методов, которые бы помогли повысить результативность обучения.

Цель работы — разобраться, как организовать дистанционное обучение на уроках математики, так что бы повысить уровень заинтересованности и успеваемости учащихся.

К плюсам дистанционного обучения можно отнести:

1. Гибкость обучения, которая заключается в том, что каждый ученик может изучать материал в удобном для него темпе, останавливаясь на более трудных для него вопросах на необходимое количество времени. Так же он может заниматься в любое удобное для него время и сам регулировать продолжительность занятия, что помогает избежать перегрузки.

2. Персонализация, которая достигается благодаря разнообразию методов дистанционного обучения, среди которых ученик обязательно найдет наиболее подходящий для него, а учитель сможет адаптировать обучение под сильные и слабые стороны ученика.

3. Повышение вовлеченности, так как для многих учеников онлайн-формат оказывается более увлекательным, благодаря различным интерактивным элементам и более широкой возможности визуализации.

4. Удобство учителей, так как благодаря дистанционным технологиям они могут снизить время подготовки к уроку и больше времени и ресурсов потратить на организацию учебной деятельности.

Не смотря на все вышеперечисленные плюсы стоит отметить и минусы дистанционного обучения, к которым можно отнести:

1. Отсутствие непосредственного контакта между учителем и учениками.

2. Технические проблемы, такие как нестабильное интернет-соединение, недостаточное оборудование, могут помешать проведению занятия.

3. Недостаточный уровень цифровой грамотности: учитель может не иметь достаточного уровня подготовки для того, чтобы организовать дистанционное занятие, так же и для ученика недостаточный уровень цифровой грамотности может стать дополнительным барьером на пути к новым знаниям.

Для успешной организации дистанционного обучения на уроках математики необходимо использовать различные инструменты и технологии. Вот некоторые из них:

1. Образовательные платформы: Moodle — система управления знаниями, позволяющая организовать процесс электронного обучения от разработки онлайн курса до его реализации. Свободно распространяется по лицензии GNU GPL. Google Класс — это бесплатный набор инструментов для работы с электронной почтой, документами и хранилищем. Сервис разработан для преподавателей с целью организации занятия и эффективного учебного взаимодействия с учащимися. «Российская электронная школа» —

это полный школьный курс уроков от лучших учителей России; это информационно-образовательная среда, объединяющая ученика, учителя, родителя и открывающая равный доступ к качественному общему образованию независимо от социокультурных условий.

2. Онлайн-ресурсы: Math Playground — это бесплатный ресурс, в котором есть различные математические игры и упражнения, которые разбиты по уровню подготовки. МатБюро — на котором есть пошаговое решение математических задач. Школа Опойцева — Ютуб-канал, на котором есть множество понятных онлайн-лекций на разные математические темы. Brain Out Test — приложение, в котором собраны математические игры для тренировки навыка быстрого счета. Эврика! — сайт, где на старте ученику доступно 9 логических задач при решении 7 из них ученик получает доступ к более сложным головоломкам.

3. Интерактивные приложения: Приложения, такие как GeoGebra и Desmos, позволяют визуализировать математические концепции и выполнять интерактивные задания.

4. Системы видеоконференций: Zoom, Skype и другие системы видеоконференций позволяют проводить онлайн-уроки и поддерживать контакт между учителем и учениками.

Организовать урок с помощью вышеперечисленных инструментов, можно различными способами. Вот некоторые из них:

1. Организацию урока на образовательной платформе Moodle можно начать с подготовительного этапа, который будет включать в себя создание учебного модуля, где будет расположена теория (тесты, презентации, видео) и практика (задачи различной сложности, тесты). Далее ученики получают доступ к материалу через платформу самостоятельно изучают теорию и выполняют практику. В классе можно обсудить возникшие вопросы и вспомнить основные моменты. Для закрепления материала назначаем домашнее задание по пройденной теме.

2. Организация урока с помощью онлайн-ресурса Math Playground. Учителю на подготовительном этапе необходимо выбрать интересные игры или головоломки, соответствующие теме урока. В начале урока продемонстрировать несколько из выбранных задач на доске, объясняя принцип решения и обсуждая возникающие по ходу решения вопросы. После можно разделить класс на группы и каждой группе даем задачи различной сложности. Каждая команда самостоятельно пытаются решить задачи в своем темпе, соревнуясь друг с другом. В конце урока подводи итоги соревнования и обсуждаем наиболее интересные задачи, которые вызвали вопросы.

3. Организация урока с помощью интерактивного приложения GeoGebra можно начать с знакомства учеников с новой темой, рассказав, например, о свойствах параллелограмма. На следующем этапе в интерактивном приложении GeoGebra показываем, как меняется фигура при изменении параметров. Практическая часть урока, может заключаться в индивидуальной работе в GeoGebra, где каждый ученик, выполняя выданное задание создают свои модели и исследуют свойства фигуры. В заключении урока обсуждаем полученные результаты и делаем выводы.

4. Для организации урока с помощью системы видеоконференций Zoom необходимо создать виртуальную комнату и пригласить в нее учеников. Во время проведения онлайн-урока используем демонстрацию экрана для того, чтобы показать подготовленные ранее презентации по теме урока, графики для визуализации и решения задач. После пройденной теории открываем чат, чтобы ученики могли задать интересующие их вопросы. Далее можно провести устный опрос или тестирование через встроенный опросник и назначаем домашнее задание и отвечаем на оставшиеся вопросы.

Организация дистанционного обучения на уроках математики требует тщательной подготовки и использования современных технологий. Несмотря на определенные трудности, дистанционное обучение предоставляет множество возможностей для развития математических навыков и индивидуализации учебного процесса. Эффективное использование образовательных платформ, онлайн-ресурсов, интерактивных приложений и систем видеоконференций может значительно улучшить качество обучения и сделать его более доступным и увлекательным для учеников.

Литература и источники

1. Гриб А. В. Электронное обучение в школе: современные технологии и подходы / А. В. Гриб — М.: Академия, 2018. — 220 с.
2. Ляшенко Н. В. Методы дистанционного обучения в образовательном процессе / Н. В. Ляшенко — М.: Педагогическая пресса, 2020. — 250 с.
3. Осипова Е. В. Дистанционное обучение в системе общего образования: проблемы и решения / Е. В. Осипова — М.: Просвещение, 2021. — 300 с.
4. Савельев А. П. Педагогические технологии в онлайн-обучении / А. П. Савельев — М.: Академия, 2020. — 240 с.
5. Чекалина Н. А. Информационные технологии в образовании / Н. А. Чекалина — М.: Академический проект, 2019 — 195 с.

Научный руководитель – Саблинский А. И., к.т.н., доцент каф. Фундаментальной математики (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫМИ МЕТОДАМИ ПРОЦЕССА ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ОЖИЖЕНИЯ БИОМАСС ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БИОТОПЛИВА

Волкова А. А.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

aaav9414@gmail.com

Аннотация: Данная работа посвящена применению вероятностных методов для анализа данных при исследовании процесса гидротермального сжижения иловой биомассы сточных вод с целью повышения выхода биотоплива (биоугля и бионефти). Были рассмотрены основные факторы, влияющие на выход продуктов: температура, продолжительность процесса обработки и масса пробы. Исследование проведено без использования катализатора и растворителя; так как планировалось проведение анализа с учетом этих параметров на следующем этапе. Для анализа данных проведен дисперсионный анализ, применены непараметрические методы с использованием критерия Краскела–Уоллиса и медианный тест, и множественная регрессия. Установлено, что температура и масса навески оказывали значимое влияние на выход продуктов. Построены регрессионные модели с высокой степенью достоверности (R^2 до 0,96). Проведена проверка адекватности построенных моделей. Выявлены рациональные условия процесса, обеспечивающие максимальный выход целевых продуктов. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшей оптимизации технологии гидротермального сжижения с учётом дополнительных факторов.

Ключевые слова: гидротермальное сжижение, биоуголь, бионефть, оптимизация, дисперсионный анализ, регрессионный анализ.

Современное общество сталкивается с серьёзными проблемами в сфере энергетической безопасности, изменением климата и истощением традиционных источников энергии. Поиск возобновляемых источников энергии и разработки зеленых технологий позволяет сократить выбросы парниковых газов в атмосферу, и как следствие, снизить негативное влияние углеродного следа на окружающую среду [1]. Эти факторы стимулируют активный поиск устойчивых и экологически безопасных альтернативных источников энергии, среди которых биотопливо занимает одно из ведущих мест [2].

Процесс гидротермального сжижения биомассы рассматривается, как эффективная технология получения биотоплива, который позволяет перерабатывать влажное сырье без предварительной сушки, что значительно снижает энергозатраты и делает производство более экономически целесообразным. Однако, как и любой технологический процесс, гидротермальное сжижение требует оптимизации [3].

Существуют различные методы оптимизации процесса, среди которых одним из основных являются математические подходы, реализуемые с помощью специализированного программного обеспечения. Вероятностные методы анализа эмпирических данных, такие как дисперсионный анализ, метод инструментальных переменных, метод моментов и другие [4] позволяют эффективно контролировать качество продукции и отслеживать систематические отклонения в работе оборудования. Поэтому как разработка, так и оптимизация зеленых технологий остаётся актуальной задачей.

Целью работы являлось применение вероятностных методов при изучении процесса гидротермального сжижения биомассы для повышения выхода биотоплива.

Отметим, что биотопливо – это топливо, получаемое из биомассы органических материалов растительного или животного происхождения термохимическим и/или биологическим способами. Биотопливо классифицируется по агрегатному состоянию и по поколениям в зависимости от используемого сырья и технологий производства [5].

Гидротермальное сжижение ориентировано на производство жидкого топлива – бионефти, которое можно перерабатывать в биодизель или другие виды углеводородов. Однако в процессе может образовываться биоуголь, как побочный продукт [6].

На разных этапах исследования технологии получения биотоплива в качестве основных параметров рассмотрены время (t) и температура обработки (T), масса пробы (m), наличие

растворителя, катализатора. Для анализа использованы эмпирические данные выхода биоугля (m_u) и бионефти (m_n) (несколько строк которых представлены в таблице 1), полученные коллегами Балтийского Федерального Университета им. И. Канта (Калининград, Россия), в процессе разработки технологии гидротермального сжижения иловой биомассы сточных вод очистных сооружений г. Советска (Калининградская область) [3].

Таблица 1. Результаты экспериментального получения биоугля и бионефти при различных условиях гидротермально сжижения

t, мин	T, °C	m, г	Растворитель	Катализатор	m_u , %	m_n , %
5	260	10	—	—	39	5
10	260	10	—	—	34	8
20	260	2	—	—	20	15
20	260	30	—	—	42	8,33
30	240	10	—	—	55	36
90	240	10	—	—	54	6

При анализе данных использованы, как классический дисперсионный анализ (ANOVA), так и непараметрические его аналоги (критерии Краскела-Уоллиса и медианный тест) при выявлении значимого влияния факторов на целевую функцию. Для определения функциональной зависимости между выходом биотоплива и значениями количественных факторов найдена множественная регрессия. Результаты анализа обработаны с помощью программы Statistica 10.0 (StatSoft Inc., 2007, США).

С помощью критерия Фишера устанавливали значимость влияния изучаемых факторов на целевые функции. Подтвердить нормальность распределения для всех рассматриваемых выборок значений не удалось, поэтому вместо дисперсионного анализа использовали непараметрические анализы. Для подтверждения значимого влияния изучаемых факторов на целевые функции применяли критерий Краскела-Уоллиса и медианный тест для двух независимых выборок. Первичный анализ показал, что температура и масса навески оказывали значимое влияние на выход биотоплива, в то время как продолжительность — не во всех случаях, что требует большего детального изучения, особенно в случае выхода биоугля.

Для оценки взаимосвязей между исследуемыми параметрами и результатами процесса построена корреляционная матрица, представленная в таблице 2. По результатам анализа установлено, что выход биоугля и бионефти можно рассматривать, как независимые переменные. Температура, продолжительность обработки и масса пробы использованы в качестве аргументов целевых функций. Наибольшее влияние на выход биоугля оказывала температура, в то время как влияние других параметров менее выражено. Корреляции, значимые при уровне значимости $p < 0,05$, в таблице выделены жирным шрифтом.

Таблица 2. Корреляционная матрица

	T, °C	t, min	m, g	m_u , %	m_n , %
T, °C	1,000000	-0,086351	0,036638	-0,810543	0,227523
t, min	-0,086351	1,000000	-0,036281	0,134850	-0,117266
m, g	0,036638	-0,036281	1,000000	0,329859	-0,358296
m_u , %	-0,810543	0,134850	0,329859	1,000000	-0,422159
m_n , %	0,227523	-0,117266	-0,358296	-0,422159	1,000000

На первом этапе регрессионного анализа установлено, что продолжительность обработки статистически незначимо влияла на выход биоугля и бионефти, а выход бионефти не зависел от массы пробы. Коэффициенты детерминации ($R^2=0.7924$ и $R^2=0.1985$) указывали на то, что в процессе получения бионефти участвовали и другие параметры, первоначально не учтенные в нашем исследовании. Полученные при этом уравнения регрессии имели вид:

$$m_u = 338.42 - 1,21T + 0.03t + 0.66m, \quad (1)$$

$$m_n = -30.21 + 0.18T - 0.03t - 0.35m. \quad (2)$$

Для более точной оценки проведен полный факторный эксперимент 3^3 выхода биотоплива с варьированием всех параметров на трех уровнях, представленный в таблице 3.

Таблица 15 - Уровни вариации независимых параметров при многофакторном эксперименте по оптимизации процесса получения биотоплива

Параметр	Переменная	Уровень варьирования		
		-1	0	+1
Температура, °C	T	240	260	280
Продолжительность, мин	t	0	30	60
Масса пробы, г	m	10	20	30

Уравнения множественной регрессии с учётом парных взаимодействий и квадратичных членов позволяют описать поведение выхода продуктов с высокой точностью: $R^2 = 0.96$ и $R^2 = 0.82$ для выхода биоугля и бионефти соответственно. После упрощения модели получены следующие уравнения:

$$m_u = 29,978 - 5,428T + 22,600t - 1,761m - 5.608Tt + 4,867Tm - 1,325tm, \quad (3)$$

$$m_n = 7.241 - 1.078T + 5.494t - 2.206m - 1.317Tt + 1.917Tm - 1.642tm. \quad (4)$$

Анализ критических точек моделей (3)-(4) показал, что наибольший выход биоугля и бионефти достигался при $T=250 \pm 10$ °C, $t=45 \pm 15$ мин, $m = 20.0 \pm 5.0$ г и $T=255 \pm 15$ °C, $t=45 \pm 15$ мин $m = 15.0 \pm 5.0$ г, соответственно. При данных значениях переменных параметров экспериментально установленные значения выхода биоугля и бионефти составило 55,0 – 65,0 % и 12,0 – 16,2%, соответственно.

Проверка адекватности построенной модели с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) получила положительное подтверждение.

Анализ профилей желательности свидетельствовал, что максимальный выход биоугля 46,5 – 65,1 % может быть достигнут при температуре процесса 240-260 °C, продолжительности процесса 30-45 мин и массой пробы 10-20 г. Максимальный выход бионефти 11,8 – 18,6% - при температуре процесса 240 °C, продолжительности процесса 60 мин и массой пробы 10 г. Объединяя полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований для достижения наибольшего выхода биоугля можно рекомендовать следующие рациональные значения технологических параметров процесса $T=240$ °C, $t=60$ мин, $m=10$ г, для достижения наибольшего выхода бионефти - $T=240$ °C, $t=60$ мин, $m=10$ г.

Литература и источники

1. Ivanova, S., Zhidkova, E., Prosekov, A. Limiting the Carbon Footprint of an Enterprise: Calculation Methods and Solutions / S. Ivanova, E. Zhidkova, A. Prosekov. – Qubahan Academic Journal, 2023. – Vol 3. – № 4. – P. 51–61.
2. Ivanova, S.; Vesnina, A.; Fotina, N.; Prosekov, A. An Overview of Carbon Footprint of Coal Mining to Curtail Greenhouse Gas Emissions / S. Ivanova, A. Vesnina, A. Prosekov. – Sustainability 2022, Vol. 14. – № 22. – Article № 15135.
3. Орлов Н.И., Куликова Ю.В. Получение биотоплива из органических отходов методом гидротермального ожигения // ХимБиоSeasons 2024: сб. тез. докл. X юбил. Всерос. форума молодых исследователей, Калининград, 2024. – Калининград, 2024. – С. 248.
4. Низаметдинов, Ш. У. Анализ данных : учебное пособие / Ш. У. Низаметдинов, В. П. Румянцев. – М. : НИЯУ МИФИ, 2012. – 288 с.
5. Даргель, Р. С. Классификация видов биотоплива по поколениям / Р. С. Даргель, А. Н. Можайко // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. – Вып. 5. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 97-101.

6. Elliott, D.C. Review of recent reports on process technology for thermochemical conversion of whole algae to liquid fuels / D.C. Elliott. – Algal Research, 2016. – Vol. 13. – P. 255-263.
Научный руководитель – Иванова С.А., д.т.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

ИКТ-КОМПЕТЕНЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ДОСТИЖЕНИЯ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ**Гортэ Д.Д., Стафорова А.А.**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

rotanova.diana@mail.ru, anstaforova12@mail.ru

Аннотация: Настоящая работа посвящена исследованию роли информационно-коммуникационных технологий и ИКТ-компетенции в формировании метапредметных результатов при обучении математике. В ходе исследования были рассмотрены определения понятий метапредметных результатов, информационно-коммуникационных технологий и ИКТ-компетенций, а также их взаимосвязь с современными образовательными стандартами и требованиями федерального государственного образовательного стандарта. Поднят вопрос о влиянии цифровых технологий на развитие у учащихся универсальных учебных действий, таких как аналитическое мышление, работа с информацией и проектная деятельность, что особенно актуально в условиях активной цифровизации образования. Приводится обзор современных цифровых ресурсов (GeoGebra и Desmos), способствующих освоению абстрактных математических концепций через визуализацию, моделирование и автоматизацию вычислений, что значительно повышает наглядность, а также доступность учебного процесса на уроках математики. Акцентируется внимание на описании педагогического эксперимента, который был проведен с обучающимися десятых классов на уроках математики в разных образовательных учреждениях с использованием интерактивных методов и цифровых инструментов нового поколения. Результаты педагогического эксперимента продемонстрировали положительное влияние целенаправленного развития ИКТ-компетенций на достижение метапредметных результатов, включая повышение мотивации и самостоятельности учащихся в процессе обучения. Статья адресована студентам педагогических ВУЗов и педагогических направлений, учителям-предметникам, осуществляющим образовательную деятельность по дисциплинам алгебра и начала математического анализа, геометрия, вероятность и статистика в общеобразовательных школах, а так же всем неравнодушным к этому вопросу, поскольку поднимает важные аспекты современной дидактики и цифровой трансформации образования.

Ключевые слова: метапредметные результаты, ИКТ-компетенции, цифровые образовательные ресурсы, универсальные учебные действия, обучение математике.

В условиях современного информационного общества система образования сталкивается с новыми требованиями к подготовке выпускников школ. В федеральном государственном образовательном стандарте (ФГОС) акцентируется внимание не только на усвоении предметных знаний, но и на формировании метапредметных результатов, которые становятся фундаментом для непрерывного образования. Эти результаты включают:

- способность к самостоятельному приобретению знаний;
- навыки критического анализа информации;
- умение решать комплексные междисциплинарные задачи;
- готовность к проектной и исследовательской деятельности.

Математика как школьный курс обладает потенциалом для развития универсальных учебных действий, но, к сожалению, традиционные методы обучения часто оказываются недостаточно эффективными для реализации этого потенциала в полной мере.

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) выступают в качестве значимого ресурса модернизации процесса обучения математике. Формирование ИКТ-компетенций учащихся позволяет не только повысить эффективность усвоения предметного содержания, но и создать условия для достижения метапредметных результатов. В связи с этим возникает вопрос о роли ИКТ-компетенций в достижении метапредметных результатов, которые складываются из УУД в процессе обучения математике.

Целью работы является выявить характер влияния формирования ИКТ-компетенций для достижения метапредметных образовательных результатов при изучении математики.

В ФГОС среднего общего образования под метапредметными результатами обучения подразумевается сформированность у выпускников школ таких знаний, умений и навыков, которые позволяют им самостоятельно изучать различные предметы, свободно оперировать информацией, быть готовыми к продолжению обучения в профессиональных и высших учебных заведениях, а также к самостоятельной взрослой жизни. Всё это отражается в усвоении универсальных учебных действий. В образовательном стандарте они разделяются на коммуникативные, регулятивные и познавательные УУД:

1. Познавательные УУД разделяются на логические, исследовательские действия, а также работу с информацией;
2. Коммуникативные УУД предполагают умение аргументированно вести диалог;
3. Регулятивные УУД включают в себя способность к самоорганизации, самоконтролю, наличие эмоционального интеллекта [3].

Таким образом, на учителей школ возлагается задача сформировать у учащихся не только определенный перечень предметных умений (например, вычисление интеграла или знание теоремы), но и метапредметные умения. Метапредметные навыки намного важнее для дальнейшей практической жизни: самостоятельно находить и анализировать информацию; организовывать как свою индивидуальную деятельность, так и работать в команде; строить причинно-следственные связи, критически оценивать полученные в ходе исследования данные и многое другое [1].

Особую значимость эти требования приобретают в контексте математического образования, где такие разделы как математический анализ, стереометрия, теория вероятностей и математическая статистика традиционно вызывают затруднения у учащихся из-за высокого уровня абстракции. Здесь разрешить проблемную ситуацию могут помочь ИКТ и сформированность ИКТ-компетенций у обучающихся [2].

ИКТ-компетенции представляют собой интегративное качество личности, проявляющееся в готовности и способности использовать информационно-коммуникационные технологии для поиска и анализа информации, создания цифрового контента, безопасной коммуникации и решения учебных и профессиональных задач [4].

Именно информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) выступают на уроках математики как:

1. инструмент визуализации сложных математических концепций;
2. средство моделирования реальных процессов;
3. платформа для организации исследовательской деятельности;
4. ресурс формирования цифровой грамотности.

Овладение и применение ИКТ может дать обучающимся на примере сложных абстрактных математических понятий необходимые навыки и опыт для дальнейшей практической жизни, которые в будущем можно использовать в самых разных сферах. Формирование ИКТ-компетенций может позволить на уроках математики сформировать необходимые навыки для практического применения, что и требуют метапредметные образовательные результаты обучения.

Для того чтобы формировать ИКТ-компетенции для достижения метапредметных результатов на помощь учителю приходят современные цифровые ресурсы:

- GeoGebra – динамическая геометрическая среда, при помощи которой можно строить графики функций, изменять их параметры и следить за поведением графика, строить тела стереометрии, поворачивать их, давая обучающимся понимание того, что они не плоские, как это кажется на обычном чертеже.
- Desmos – математический калькулятор, позволяющий исследовать алгебраические функции, сложные уравнения и подкреплять числа реальными движениями графиков.

Для достижения цели исследования был поставлен педагогический эксперимент, в котором участвовали 40 обучающихся 10-х классов МБОУ «СОШ № 55» и ГБНОУ «Губернаторская кадетская школа-интернат полиции» г. Кемерово. На начальном этапе исследования была разработана модель формирования ИКТ-компетенций. Основная суть модели заключается в формировании по нескольким направлениям ИКТ-компетенций:

техническая грамотность, информационная грамотность, креативное применение технологий. Для достижения метапредметных результатов были проведены уроки математики в указанных образовательных учреждениях. С обучающимися была изучена тема «Решение задач на вычисление объёмов и площадей поверхностей многогранников (призмы, пирамиды)».

Этапы изучения:

1. демонстрация возможностей ИКТ для изучения математики (на примере GeoGebra);
2. постановка проблемных вопросов, требующих цифровых решений;
3. освоение базовых функций цифровых инструментов;
4. выполнение тренировочных заданий с постепенным усложнением;
5. решение реальных задач (анализ данных, математическое моделирование);
6. работа над междисциплинарными проектами;
7. анализ эффективности использования ИКТ;
8. самооценка и корректировка действий.

До и после проведенных занятий и практических работ по закреплению навыков была произведена оценка метапредметных результатов обучающихся с помощью диагностических заданий и рефлексивных анкет согласно кодификатору из федеральной образовательной программы среднего общего образования. Некоторые результаты диагностики представлены в качестве диаграммы ниже (рис. 1), где на горизонтальной оси отмечены общие показатели кодификатора, а на вертикальной оси – средняя оценка среди всех обучающихся в процентах.

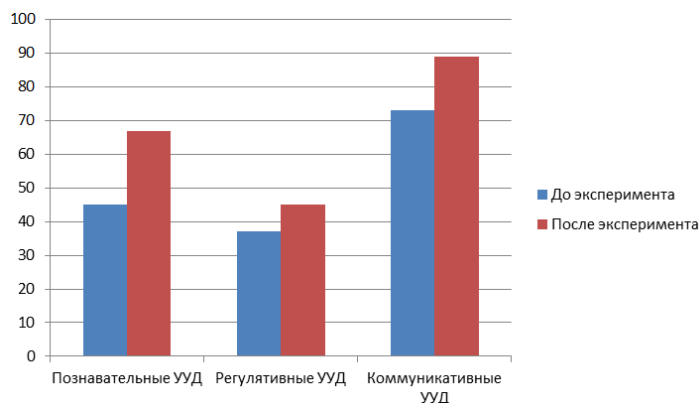


Рисунок 4. Результаты оценки метапредметных результатов

Проведенное исследование показало, что формирование ИКТ-компетенций в обучении математике не только упрощает понимание абстрактных тем, но и способствует эффективному формированию метапредметных результатов: критического мышления, работы с информацией и применения знаний на практике.

Литература и источники

1. Иванова, О.А. Обучение функциональной линии на уроках математики в 7-11 классах на основе метаметодического подхода: автореферат дис. Кандидата педагогических наук / Рос. Гос. Пед. Ун-т им. А.И. Герцена. Санкт-Петербург, 2013. – 23 с. – URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01005539747?page=1&rotate=0&theme=white> (дата обращения: 26.03.2025).
2. Тютерева, В.С. О формировании метапредметных результатов обучения математике старшеклассников в общеобразовательной школе / В.С. Тютерева – Текст: электронный // Вестник магистратуры. – 2019. – №4-2(91). – URL: <https://goo.su/MdKXMN> (дата обращения 26.03.2025). – Режим доступа: научная электронная библиотека Киберленинка.
3. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования. – URL: <https://kurl.ru/BZNqA> (дата обращения: 16.03.2025).
4. Хуторской, А. В. Дидактическая эвристика: Теория и технология креативного обучения / А. В. Хуторской. — Москва : Изд-во МГУ, 2013. — 416 с.

Научный руководитель – Русакова Н.А., к.п.н., доцент (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ПОСТРОЕНИЕ ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕГО ЗВЕНА
МЕТОДОМ СМИТА

Григорьева А. Е.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

annagri2022@mail.ru

Аннотация: Настоящая работа посвящена исследованию проблемы построения дискретной модели динамического звена, содержащего дифференцирующий множитель. Такого вида объект является разомкнутой передаточной функцией системы автоматического регулирования с использованием дифференциального регулятора. Применение дифференциального регулятора позволяет повысить качество регулирования, усилить быстродействие системы, он приводит к появлению прогнозирующих свойств. Построение дискретной модели такой системы позволит включить ее в замкнутый цикл регулирования в качестве цифрового двойника. На основании его можно проверять реакцию объекта на различные управляющие воздействия, что позволит избежать нежелательных ситуаций на производстве. В работе применяется метод Смита, основанный на использовании согласованного Z -преобразования, позволяющего преобразовывать нули и полюса непрерывной передаточной функции динамической разомкнутой системы в нули и полюса эквивалентной ей дискретной передаточной функции. Метод использует замену интеграла непрерывного преобразования Лапласа интегральной суммой, что представляет собой бесконечный степенной ряд по отрицательным степеням переменной z дискретного преобразования Лапласа, с последующим сворачиванием этого ряда. Получение дискретной передаточной функции в виде дробно-рационального выражения позволяет построить конечно-разностное уравнение переходной характеристики разомкнутой системы, что и является ее искомой дискретной моделью. Отличительные свойства метода Смита заключаются в получении дискретной модели, точно восстанавливающей непрерывную переходную характеристику системы при шаге дискретизации, равном единице. Недостаток метода заключается в ограниченности выбора величины шага дискретизации, что можно исправить, изменив масштаб оси. Достоинством является точное восстановление непрерывной характеристики, что позволяет рассчитывать поведение объекта регулирования по его дискретной модели.

Ключевые слова: передаточная функция, дифференцирующее звено, конечно-разностное уравнение, метод Смита, согласованное Z -преобразование.

Построение дискретной модели динамического объекта необходимо для включения ее в замкнутую систему автоматического регулирования этим объектом, с целью тестировать на этой модели применяемые к объекту управляющие воздействия. Наличие цифрового двойника, реагирующего на управляющее воздействие аналогично непрерывному объекту, поможет избежать аварийных ситуаций и техногенных катастроф на производстве.

Под дифференцирующим звеном [1, 2] в общем случае понимается объект, непрерывная передаточная функция (НПФ) которого имеет корень полинома числителя, равный 0. Пример такой передаточной функции выражается формулой:

$$G(s) = \frac{s^2 + 3s}{s^3 + 2s^2 + s + 1}. \quad (1)$$

Очевидно, что полином числителя НПФ (1) имеет два корня, один из которых равен 0.

Введение дифференцирующих звеньев в систему добавляет положительную фазу и, следовательно, повышает запас устойчивости системы, что дает возможность увеличить общий коэффициент передачи и тем самым улучшить точность управления. Кроме того, введение управления по производным позволяет системе чувствовать не только наличие ошибки, но и тенденцию к изменению ее величины, то есть делает работу системы с

«предвидением», что обеспечивает повышение быстродействия и снижение динамической ошибки системы, тем самым улучшая качество переходного процесса.

Рассмотрим разомкнутую систему автоматического регулирования (см. рис. 1) объектом первого порядка с НПФ вида:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}. \quad (2)$$

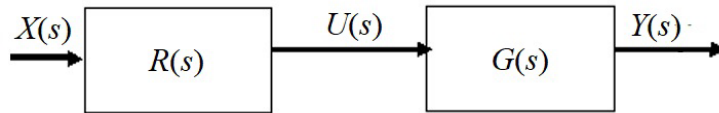


Рисунок 1. Схема разомкнутой системы регулирования

Пусть $R(s)$ – НПФ дифференциального (Д-) регулятора [1], который вырабатывает управляющее воздействие по принципу:

$$u(t) = K_D \frac{dx(t)}{dt}. \quad (3)$$

Включение в систему регулирования Д-регулятора приводит к тому, что объект реагирует не на изменение задающего воздействия $x(t)$, а на изменение его производной, то есть на тенденцию развития событий, поэтому обладает упреждающим, прогнозирующим действием. С его помощью можно ускорить реакцию объекта на задающее воздействие. В результате последовательного соединения НПФ объекта (2) и НПФ регулятора, вытекающей из (3) получаем НПФ разомкнутой системы:

$$W(s) = \frac{KK_D s}{Ts + 1}. \quad (4)$$

При подаче на вход НПФ (4) единичного ступенчатого воздействия, получим переходную характеристику [2] вида:

$$y(t) = \frac{KK_D}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right). \quad (5)$$

Применим метод Смита, впервые представленный в [1], примененный автором в работе [3] для получения дискретного аналога переходной характеристики (5).

Используя непрерывное преобразование Лапласа [2] получим изображение выходного сигнала:

$$Y(s) = \int_0^{+\infty} y(t) e^{-st} dt = \frac{KK_D}{T} \int_0^{+\infty} e^{-\frac{t}{T}} e^{-st} dt.$$

Заменим интеграл интегральной суммой, где Δ – шаг дискретизации:

$$Y(s) \approx \frac{KK_D}{T} \sum_{n=0}^{+\infty} e^{-\frac{n\Delta}{T}} e^{-sn\Delta}. \quad (6)$$

Выражение (6) является геометрической прогрессией. Найдем сумму ряда:

$$S = \frac{KK_D/T}{1 - Ae^{-\Delta s}}, A = e^{-\frac{\Delta}{T}} \quad (7)$$

После перехода в Z-плоскость, используя формулу согласованное Z-преобразование [3], получим:

$$Y(z) = \frac{KK_D/T}{1 - Az^{-1}} \quad (8)$$

ДПФ [1] принимает вид:

$$G(z) = \frac{KK_D(1 - z^{-1})/T}{1 - Az^{-1}} \quad (9)$$

Из (9) получим конечно-разностное уравнение, используя z^{-1} , как оператор обратного сдвига:

$$y[n] = Ay[n-1] + \frac{KK_D}{T}(x[n] - x[n-1]). \quad (10)$$

Сравним значения непрерывной модели (5) и дискретной модели (10), построенной при шаге дискретизации $\Delta = 1$. Положим параметры объекта и регулятора равными $K = 1$, $K_D = 2$, $T = 1$. В таблице 1 приведены значения непрерывной $y(t)$ переходной характеристики в точках $t = n\Delta$ и дискретной модели $y[n]$.

Таблица 1. Сравнение значений непрерывной и дискретной переходных характеристик

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$y(n\Delta)$	2	0,735759	0,270671	0,099574	0,036631	0,013476	0,004958	0,001824	0,000671
$y[n]$	2	0,735759	0,270671	0,099574	0,036631	0,013476	0,004958	0,001824	0,000671

Из таблицы видно, что ошибка моделирования не превышает 10^{-6} .

Реализованный в работе метод Смита, примененный для построения дискретной модели дифференцирующего звена первого порядка позволил восстановить дискретную модель переходной характеристики в удовлетворительной точности. Тот факт, что подобная точность моделирования достигается только при шаге дискретизации, равном 1, является недостатком метода. Данная проблема легко решается масштабированием временной оси. Несомненные достоинства метода получать точную дискретную модель непрерывного объекта, позволяют использовать данный метод для создания цифрового двойника объекта для включения его в систему автоматического регулирования.

Литература и источники

5. Smith J.M. Mathematical modeling and digital simulation for engineers and scientist. New York: Wiley, 1987. 271 p.

6. Макаров И. М., Макаров Б. М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал). 2-ое изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1982. 504 с., ил.

7. Гутова С. Г., Новосельцева М. А., Григорьева А. Е. Применение метода смита для построения дискретной модели карусели ферриса // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2024. 10-12 декабря 2024 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2024. – 481 с.

Научный руководитель – Гутова С. Г., к.т.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

**СОСТАВЛЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ЗАДАНИЙ ПО РАЗДЕЛАМ
СТЕРЕОМЕТРИИ «МНОГОГРАННИКИ. ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ»****Крестьяне М.В.**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

mkrestyane@mail.ru

Аннотация: Настоящая работа посвящена исследованию проблемы дифференциации в обучении старших школьников стереометрии. Важнейшая задача школы сегодня: научить обучающихся самостоятельно добывать знания и применять их на практике; способствовать формированию самостоятельности мышления обучающихся; подготовить учащихся к творческой деятельности. Спрос на индивидуализированный контент и мероприятия возлагает дополнительную нагрузку на преподавателей, поскольку им необходимо подготовить множество наборов ресурсов и выделить дополнительное время для планирования и оценки, тем самым бросая вызов принципам эффективности обучения [3]. Обучение по разделам «Многогранники. Тела вращения» включает разработку дифференцированных заданий на трех уровнях сложности и включение их в учебный процесс. Составлен сборник задач, разделённый по параграфам.

Одной из важных проблем, возникающих при организации дифференцированного обучения, является проблема определения возраста учащихся, в котором возможно полноценно проводить как внешнюю, так и внутреннюю дифференциацию. Для решения названной проблемы следует определить характерные черты личности, являющиеся базой для дифференциации, и степень их развития в том или ином возрасте. При этом следует учитывать, что в основе дифференцированного обучения лежит, прежде всего, учёт психологических особенностей учащихся, которые влияют на их учебную деятельность и от которых зависят результаты обучения. На самом деле, таких особенностей множество: специфичность всех познавательных процессов и памяти, некоторые свойства нервной системы, черты характера, темперамент, способности и изначальная одарённость, состояние здоровья и множество других. Понятно, что все их учесть почти невозможно, поэтому необходимо выделить те, которые подлежат учёту в первую очередь.

Ключевые слова: дифференцированное обучение, дифференцированный подход и дифференцированные задания.

Целью работы является составление заданий дифференцированного характера для учащихся 10-11 классов по разделам стереометрии «Многогранники. Тела вращения».

На основе анализа учебной и методической литературы по теме исследования было определено понятие дифференцированные задания: «**Дифференцированные задания — это система упражнений, выполнение которых поможет глубоко и осознанно усвоить изучаемый материал и выработать необходимый навык на его основе**» [3]. Анализ учебников для базового и профильного уровня авторов Алгебра и начала математического анализа, геометрия Л. С. Атанасяна [2] и Алгебра и начала математического анализа, геометрия А. Г. Мерзляка [4] показал, что в каждом из этих учебников есть и дополнительные материалы и что-то особенное по сравнению с другим. Все основные определения по разделам «Многогранники. Тела вращения» в данных учебниках вводятся строго логически, теоремы и определения сопровождаются чертежами и выкладками. Однако, в учебнике А.Г. Мерзляка в главе «Тела вращения» содержатся отдельные пункты с различными комбинациями тел вращения, что может быть полезно в сложных задачах.

Все задания, как по многогранникам, так и телам вращения дифференцированы по трём уровням сложности: базовый, средний (повышенный), высокий (нестандартные задачи), особенно интересные задачи разобраны и показано их решение. Решения и чертежи к ним выполнены в сервисе Geogebra [1]. Покажем особенность таких уровневых заданий.

Задание базового уровня (многогранники)

- Задание (распознавание): Даны изображения различных многогранников (рис. 1). Выберите среди них призмы. Укажите, какие у них основания и определите вид

призмы (прямая/наклонная, треугольная/четырёхугольная и т.д., правильная). Ответ подписать.

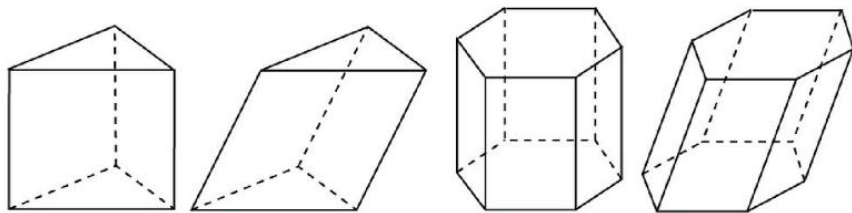


Рис.1

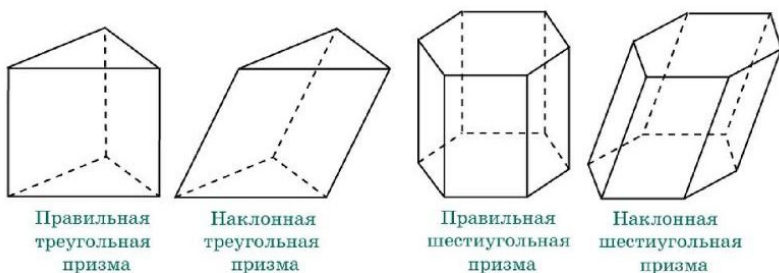


Рис.2 Ответы задание базового уровня (Многогранники).

Задание повышенного уровня (Тетраэдр).

- Задание (Вычисления): В тетраэдре ABCD известны длины рёбер: $AB=6$, $BC=8$, $AC=10$. Является ли грань ABC прямоугольным треугольником?

Решение:

Чтобы определить, является ли треугольник ABC прямоугольным, мы можем использовать обратную теорему Пифагора. Если квадрат длины самой длинной стороны равен сумме квадратов длин двух других сторон, то треугольник является прямоугольным.

В треугольнике ABC известны длины сторон: $AB = 6$, $BC = 8$, $AC = 10$.

Самая длинная сторона — AC, поэтому нужно проверить, выполняется ли равенство:

$$AC^2 = AB^2 + BC^2$$

$$\text{Подставим значения: } 10^2 = 6^2 + 8^2$$

$$100 = 100$$

Так как равенство выполняется, треугольник ABC является прямоугольным.

Ответ: да, грань ABC является прямоугольным треугольником.

Нестандартные задания (Тела вращения, конус).

- Задание (сечение): Через вершину конуса проведено диагональное сечение, представляющее собой равносторонний треугольник с основанием 8 см. образующая конуса равна 5 см. Найдите объём конуса.

Решение. Сделаем чертёж.

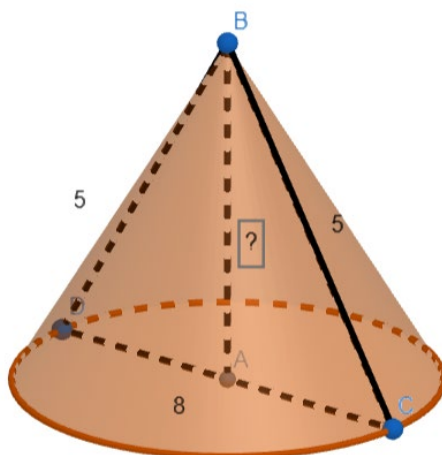


Рис. 3

Основание треугольника — 8 см, значит, диаметр основания конуса $d = 8$ см.

Радиус основания:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{8}{2} = 4$$

Высота конуса, радиус основания и образующая образуют прямоугольный треугольник, где образующая является гипотенузой. Используем теорему Пифагора:

$$h^2 + r^2 = l^2 \text{ (где } h \text{ — высота, } r \text{ — радиус, } l \text{ — образующая)}$$

$$h^2 = l^2 - r^2$$

$$h^2 = 5^2 - 4^2 = 25 - 16 = 9$$

$$h = \sqrt{9} = 3$$

Объем конуса вычисляется по формуле

$$V = \frac{1}{3} * \pi * r^2 * h \text{ (1)}$$

$$V = \frac{1}{3} * \pi * 4^2 * 3 = \frac{1}{3} * \pi * 16 * 3 = 16\pi$$

Ответ: Объем конуса равен 16π см³.

Проведенная апробация, подтвердила эффективность разработанного подхода дифференцированного обучения. Сборник задач, составленный по разделам «Многогранники. Тела вращения» в качестве дидактического средства, способствующего повышению интереса учащихся к предмету и улучшению усвоения материала, позволил выявить сильные и слабые стороны обучающихся. Эксперимент проводился на базе гимназии № 41 города Кемерово, в нем участвовали учащиеся 10 А (базовый уровень), 10 В (профильный уровень), 11А (базовый уровень). Всего в эксперименте участвовало 87 человек.

Рекомендации:

Сборник задач рекомендуется использовать в учебном процессе для 10-11 классов профильного уровня, если рассматривать все задачи, для базового уровня достаточно первых двух уровней.

Литература и источники

8. GeoGebra [Электронный ресурс] // 3D Calculator - GeoGebra : [сайт]. – URL: <https://www.geogebra.org/3d> (дата обращения: 12.03.2024).
9. Алгебра и начала математического анализа, геометрия / Л. С. Атанасян [и др.]. – 7-е изд. – Москва : Просвещение, 2019. – 288 с.
10. Магомедов, Н. М. Дифференцированный подход к обучению, воспитанию школьников: проблемы, перспективы : учебное пособие / Н. М. Магомедов. – 1-е изд. – Самара, 1993. – 251 с.
11. Мерзляк, А. Г. Алгебра и начала математического анализа, геометрия / А. Г. Мерзляк, Д. А. Номировский, В. М. Поляков. – 2-е изд. – Москва : Вентана-Граф, 2019. – 272 с.

Научный руководитель – Глухова О.Ю., к.п.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

**РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПОСОБИЯ «ЭЛЕМЕНТЫ
ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ 1
КУРСА МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ КЕМГУ**

Куницын М.Е.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

kunitsin.2003@mail.ru

Аннотация: На этапе обучения в вузе закладываются основы аналитического мышления, приобретаются умения и навыки строить математические модели и находить их решения. Для достижения этих целей было разработано учебно-методическое пособие «Элементы высшей математики в прикладных задачах для студентов 1 курса математических направлений КемГУ». Ключевой особенностью пособия является рассмотрение и решение прикладных задач, решаемых методами высшей математики, при прохождении учебной и научно-исследовательской практик. Темы прикладных задач связаны с базовыми разделами высшей математики: линейная алгебра, математический анализ, дифференциальные и интегральные исчисления, аналитическая геометрия и теория вероятностей. Теоретический материал сопровождается методическими указаниями по решению и разбору каждого типа задач из разделов высшей математики. Включено порядка 60 видов задач с подробными решениями и рекомендациями, и представлено большое количество вариантов задач по каждому из перечисленных разделов для самостоятельного решения. Пособие оформлено в системе компьютерной верстки LaTeX, которая позволяет четко структурировать разделы и темы, наглядно и профессионально представляет изображения формул, графиков, иллюстраций. Разработанные материалы были интегрированы в учебный процесс студентов при прохождении учебных практик на 1 курсе направлений «Математика» и «Математика и компьютерные науки» в КемГУ. Учебно-методическое пособие выступает в роли инструмента преподавателей для повышения качества образовательного процесса, а для студентов способствует применению полученных теоретических знаний на практике, что эффективно сказывается на обучении, мотивации и дальнейшем формировании профессиональных компетенций.

Ключевые слова: учебно-методическое пособие, прикладные задачи, высшая математика, учебная и научно-исследовательская практики, математические направления.

Целью работы является разработка учебно-методического пособия «Элементы высшей математики в прикладных задачах» для студентов 1 курса математических направлений КемГУ для прохождения учебной, научно-исследовательской практик.

При переходе от изучения математики в школе к высшей математике в Вузе, у студентов происходят ряд трудностей: материал абстрактен, увеличение объема информации и отсутствие связи теории с практикой. Недостаточная мотивация студентов объясняется тем, что восприятие высшей математики, кажется оторванной от реальных задач. Данное пособие направлено на преодоление этих проблем через теоретические основы элементов высшей математики с решением прикладных задач [1].

Важным этапом обучения студента становится учебная практика. Учебная практика позволяет закрепить теоретические знания через решение прикладных задач, формирует навыки работы с математическими инструментами и программным обеспечением. Развивает самостоятельность, знакомит с профессиональной средой [2].

Этапы учебной практики [3,4]:

- подготовительный – ознакомление с целями и задачами учебной практики;
- организационный – ознакомление с базой практики и рабочей средой, назначение руководителей;
- основной – выполнение поставленных задач;
- завершающий – подготовка отчета по практике и защита работы.

Результатом прохождения учебной практики становится развитие аналитического мышления студентов, подготовка к научно-исследовательской деятельности через теорию и практику.

Учебно-методическое пособие «Элементы высшей математики в прикладных задачах» позволяет помочь студентам 1 курса усвоить материал основных математических дисциплин через решения прикладных задач из разных областей науки и техники при прохождении учебной практики.

Особенность пособия заключается в разборе задач по темам высшей математики, содержание пособия сделано таким образом, чтобы студенты могли видеть практическую ценность изучаемых математических методов через реальные примеры, выраженные в прикладных задачах.

Разделы высшей математики, рассматриваемые в учебно-методическом пособии:

1) элементы линейной алгебры (матричные вычисления, решение систем линейных уравнений методом Крамера и методом Гаусса, векторная алгебра и геометрия);

2) элементы аналитической геометрии (уравнения плоскостей и прямых, уравнения окружности, эллипса, параболы, гиперболы в инженерных приложениях, кинематика и геометрия движения);

3) основы математического анализа (функции и их графики, пределы, дифференцируемость, экстремумы функций);

4) элементы дифференциального и интегрального исчисления (площадь и длина кривых, объемы тел вращения, площадь поверхности вращения и геометрические приложения);

5) элементы теории вероятностей (вероятность последовательных событий, математическое ожидание, теория игр, комбинаторика и симметрия).

Примеры прикладных задач [5]:

1. Проектируется водопроводная сеть, состоящая из четырех колец. Требуется выполнить внутреннюю увязку этой сети, то есть осуществить такое перераспределение расходов воды по участкам сети, чтобы выполнялись законы Кирхгофа: первый (алгебраическая сумма расходов воды в узлах сети должна быть равна нулю) и приближенно второй (алгебраическая сумма потерь напора в любом кольце должна быть равна нулю). Эта задача сводится к исследованию математической модели – системы четырех линейных уравнений относительно поправочных расходов воды x_1, x_2, x_3, x_4 соответственно для колец 1, 2, 3, 4 с конкретными данными:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 - x_3 + x_4 = 4, \\ 2x_1 - x_2 + 3x_3 - 2x_4 = 1, \\ x_1 - x_3 + 2x_4 = 6, \\ 3x_1 - x_2 + x_3 - x_4 = 0. \end{cases}$$

2. Материальная точка M двигалась под действием некоторой силы по окружности $x^2 + y^2 - 10x + 6y + 9 = 0$ против часовой стрелки. Действие силы прекратилось в момент, когда положение точки определялось координатами (2;1). Составить уравнение дальнейшей траектории движения точки M .

3. Вычислить приближенно увеличение объема газовой хлопной трубы высотой $H = 4$ м и радиусом основания $R = 20$ см при наложении на нее утепляющего слоя толщиной 1 см.

4. Поверхность нефтяного резервуара имеет форму поверхности вращения арки циклоиды $x = a(t - \sin t), y = a(1 - \cos t), t \in [0, 2\pi]$ вокруг оси Ox . Найти площадь этой поверхности.

5. Из хорошо перетасованной колоды в 52 карты, содержащей четыре туза, извлекаются сверху карты до появления первого туза. На каком месте в среднем появляется первый туз?

Учебно-методическое пособие «Элементы высшей математики в прикладных задачах» позволяет повысить качество образовательного процесса, убирает разрыв между абстрактным теоретическим материалом и практикой. Подготавливает будущих специалистов научной области и упрощает преподавание.

Литература и источники

1. Байбородова Л.В., Чернявская А.П. Методология и методы научного исследования: учебное пособие / Л.В. Байбородова, А.П. Чернявская. – Ярославль: РИО ЯГПУ, 2014. – 283 с.
2. Организация научно-исследовательской и учебно-исследовательской работы в профессиональных образовательных организациях среднего профессионального образования: сб. / сост. Н.М. Кисиева. – Биробиджан, 2018. – 32 с.
3. Организация исследовательской деятельности студентов: метод. реком. / сост. Т.А. Палагута. – Курск: ОБОУ СПО «КАТК», 2024. – 25 с.
4. Пастухова И.П. Основы учебно-исследовательской деятельности студентов: учеб. пособие для студ. учреждений средн. проф. образования / И.П.Пастухова, Н.В.Тарасова. — 2-е изд., перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. — 160 с.
5. Прикладные задачи по математике для студентов инженерных специальностей: практикум / сост.: Т.И. Бова, О.И. Кузьменко, И.И. Малахов. – Минобрнауки России, ОмГТУ, 2018. – 88 с.

Научный руководитель – Багина О.Г., к.ф-м.н., (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

ПОСТРОЕНИЕ И КОРРЕКТИРОВКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ МОДЕЛЕЙ СОСУДОВ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОЙ АНГИОГРАФИИ**Матинина Ю.В.**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Matinina04@mail.ru

Аннотация: Данная работа посвящена описанию методики построения и коррекции геометрической формы 3D-моделей кровеносных сосудов, основанных на данных компьютерной ангиографии. С помощью информативности КА-данных, предоставляющих трёхмерное изображение сосудистой сети, создаются точные виртуальные модели сосудов, так как с помощью рентгеновского излучения, КА-данные показывают особенности строения вен и артерий. Актуальность темы обусловлена широким применением этих моделей в медицине, в частности, при планировании хирургических вмешательств, разработке имплантов и проведении научных исследований. Современные методы визуализации сосудистой системы предоставляют большой объём информации, однако преобразование этих данных в точные и удобные для работы 3D-модели остается сложной задачей. Недостаточная точность и наличие артефактов в исходных данных ангиографии требует применение алгоритмов коррекции и сглаживания. С помощью алгоритмов, сочетающие в себе методы сортировки и обработки информации, методы построения paths-линий и сегментаций, а также методы моделирования, которые позволяют улучшить точность представления анатомических структур и повысить эффективность планирования медицинских процедур можно достичь правильно построенной геометрической формы сосуда.

Ключевые слова: сонная артерия, сегментация сосудов, область бифуркации.

Целью работы является построение сглаженной геометрической модели бифуркации сонной артерии для последующего численного моделирования кровотока в ней.

Исходными данными для построения геометрических моделей кровеносных сосудов служат результаты компьютерной ангиографии пациентов. По этим данным строятся 3D-модели сосудов, которые позволяют визуализировать, измерять и анализировать их геометрические характеристики. Алгоритм построения геометрических моделей кровеносных сосудов включает следующие шаги:

1. Подготовка и импорт входных данных пациента. На этом этапе необходимо из массива данных, о пациенте в DICOM формате, содержащем, как правило, разнородную информацию, выделить необходимую нам серию последовательных аксиальных сканов КТ ангиографии выбранного для исследования участка сосуда. Выделенный массив данных затем импортируется в приложение, в котором и осуществляется его дальнейшая обработка.
2. Планирование пути. На этом этапе в трёхмерном пространстве с помощью ортогональных двумерных сечений с некоторым интервалом, вручную проставляются метки в геометрических центрах аксиальных сечений выбранного для исследования сосуда. Эти метки затем используются приложением для построения path-линии (аппроксимаций осевой линии) исследуемого участка артерии в автоматическом режиме.
3. Сегментация. На этом этапе в автоматическом режиме производится сегментация сосуда, то есть распознавание и построение серии замкнутых 2D контуров, представляющих собой ортогональные сечения стенки сосуда.
4. Построение геометрической модели. На этом этапе геометрическая модель сосуда создается путем формирования поверхности, соответствующей группам 2D-сегментаций. Если сосуд имеет разветвление, то на этом этапе модели отдельных ветвей сосуда соединяются, образуя полную трехмерную модель исследуемого сосуда. На этом этапе необходима ручная обработка построенных сегментаций по разным причинам, в том числе для того, чтобы произошло корректное объединение частей модели в месте их слияния. После этого полная модель формируется автоматически.

5. Создание сеток. На основе геометрической модели создается тетраэдральная сетка конечных элементов с параметрами элементов, необходимыми для дальнейших численных расчётов кровотока.

Предварительная обработка и анализ DICOM-изображений осуществляются с использованием специализированного программного обеспечения ClearCanvas DICOM viewer [1], представляющего собой инструмент для визуализации и изучения медицинских изображений в формате DICOM. Медицинские изображения, как правило, характеризуются значительным объемом данных, что требует черновой обработки для оптимизации работы приложения ClearCanvas, так как зачастую данные содержат в себе большое количество ненужной для наших целей информации. В связи с этим возникает необходимость в разработке эффективных алгоритмов фильтрации файлов DICOM, позволяющих выделить полезную информацию и исключить из рассмотрения избыточные или неинформативные данные. Одним из подходов к черновой обработке является исключение файлов, отличающихся по размеру от основной группы, поскольку это может указывать на наличие файлов метаданных, артефактов сканирования или других типов данных. Существуют различные подходы к сортировке файлов, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками.

После отбора массива данных производится его предварительная обрезка с целью выделения области, содержащей необходимые нам участки сонных артерий. В связи с этим, выполняется обрезка массива данных до момента появления четкого контура сонных артерий, что позволяет уменьшить объем обрабатываемых данных и повысить эффективность дальнейших этапов обработки.

После отбора и просмотра исходных данных в приложении ClearCanvas, основная часть работы будет выполняться в приложении SimVascular [2]. Это приложение, используемое для создания персонализированных геометрических моделей сосудистой сети человека на основе медицинских 3D-изображений и выполнения численных расчётов кровотока в них методами вычислительной гидродинамики. В рабочую директорию этого приложения импортируются выбранный массив исходных данных, затем строятся path-линии и сегментации сосудов (рис. 1).

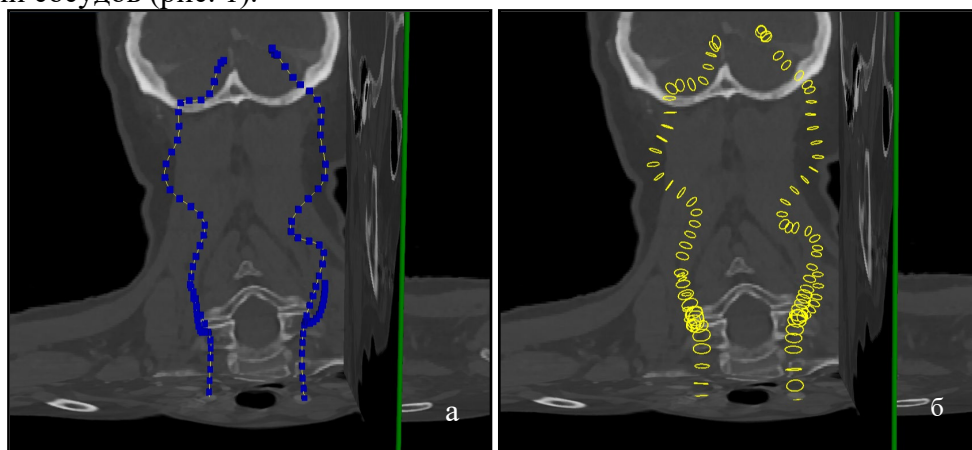


Рисунок 1. а) правая и левая path-линии, б) сегментации правой и левой сонных артерий

Далее выполняется пункт 4 списка, приведённого выше. В результате получается предварительная модель сосуда (рис. 2).

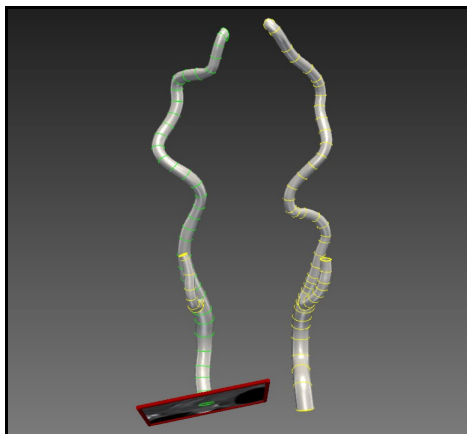


Рисунок 2. Предварительные модели правой и левой сонных артерий

Эти модели мы называем предварительными, потому что они нуждаются в сглаживании, в частности, в месте соединения ветвей артерий. Для сглаживания модели используется приложение MeshMixer [3] - это свободно распространяемое приложение от фирмы Autodesk, которое позволяет выполнять различные операции с файлами формата STL. Предварительная модель импортируется в MeshMixer и производится её сглаживание. Сглаживание производится в области разветвления сосуда (рис. 3) и, при необходимости, в других местах в случае наличия дефектов исходного изображения.

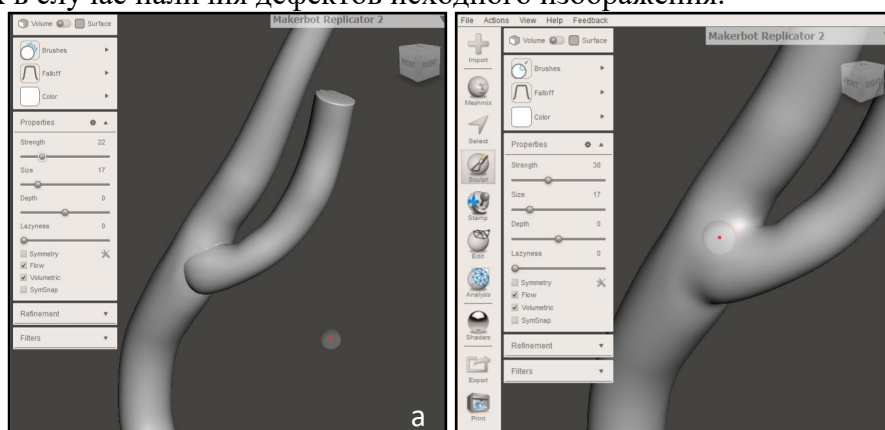


Рисунок 3 а) предварительная модель, б) модель, сглаженная в месте разветвления сосуда

После сглаживания модель импортируется обратно в SimVascular для создания входного и выходных сечений, построения тетраэдральной сетки и проведения численных расчётов. При необходимости для достижения нужной точности расчётов в отдельных областях сетка может измельчаться (рис. 4).

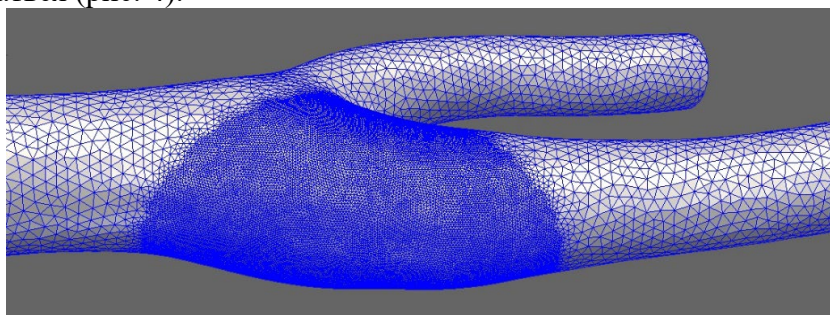


Рисунок 4. Тетраэдральная расчётная сетка с измельчением в области каротидного синуса

Литература и источники

1. Clearcanvas [Электронный ресурс] // [sourceforge.net](https://sourceforge.net/projects/clearcanvas): [сайт]. – URL: <https://sourceforge.net/projects/clearcanvas> (Дата обращения: 12.03.2024).
2. Simvascular [Электронный ресурс] // [simvascular.github.io](https://simvascular.github.io/documentation/quickguide.html): [сайт]. – URL: <https://simvascular.github.io/documentation/quickguide.html> (Дата обращения: 12.03.2024).
3. MeshMixer [Электронный ресурс] // meshmixer.softonic.ru: [сайт]. – URL: <https://meshmixer.softonic.ru/> (Дата обращения: 12.03.2024).

Научный руководитель – Борисов В.Г., к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ХОДА ПРИЁМНОЙ КАМПАНИИ КЕМГУ****Сергеев В.С.**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

vl05@ya.ru

Аннотация. Работа посвящена решению проблемы обеспечения безопасности информационной системы оперативного мониторинга хода приёмной кампании КемГУ.

Ключевые слова: информационная безопасность, защита данных, Power BI, ролевой доступ, модель угроз.

Внедрение платформ бизнес-аналитики (BI), таких как Power BI, обеспечивает эффективную разработку аналитических отчетов, предоставляющих актуальную информацию в оперативном режиме [1]. Однако обработка чувствительных данных сопряжена с существенными рисками: утечками информации, несанкционированным доступом и кибератаками. Данные риски усиливаются появлением дополнительных уязвимостей на трёх ключевых уровнях: при передаче данных между системами, в процессе их хранения и в механизмах управления доступом к информационным ресурсам.

Целью работы является разработка и имплементация эшелонированной стратегии безопасности информационной системы (ИС) оперативного мониторинга приёмной кампании КемГУ, объединяющей криптографическое шифрование данных, сетевую защиту и основанной на формализованном моделировании угроз.

ИС оперативного мониторинга приёмной кампании КемГУ реализует консолидацию и визуализацию данных для многомерного анализа набора абитуриентов. Система отслеживает ключевые показатели: динамику подачи заявлений, распределение баллов ЕГЭ и статусы зачисления [2]. Инциденты информационной безопасности (ИБ) могут нарушить целостность аналитических данных и функционирование всего процесса приёмной кампании, включая документооборот и взаимодействие с абитуриентами. Для минимизации рисков ИБ были реализованы следующие меры:

1. Шифрование данных

Применение криптографической защиты трансформирует модель угроз, нивелируя риски компрометации данных при несанкционированном доступе к физическим носителям или файлам баз данных. Технология Always Encrypted в SQL Server 2022 реализует сквозное шифрование чувствительных данных (контрольные цифры приёма, результаты ЕГЭ) на уровне столбцов.

Архитектура решения основана на двухуровневой иерархии ключей. Главный ключ столбца (СМК) защищает ключ шифрования столбца (СЕК) и хранится в защищённом хранилище сертификатов Windows. Для защиты СЕК технология использует асимметричный алгоритм RSA-OAEP с хеш-функцией SHA-256 [3]. Асимметричное шифрование RSA решает фундаментальную проблему криптографии - безопасное распределение ключей без необходимости организации защищенного канала [4], что является критичным аспектом в распределенных системах.

Непосредственное шифрование данных осуществляется с помощью алгоритма AEAD_AES_256_CBC_HMAC_SHA_256. В его основе лежит симметричный алгоритм AES-256, обеспечивающий высокую производительность при шифровании больших объемов данных, что делает его оптимальным для применения в СУБД.

В ИС используется случайный тип шифрования с динамической генерацией вектора инициализации, что исключает возможность анализа паттернов в зашифрованных данных. На рисунке 1 представлена конфигурация шифрования столбцов в таблицах с данными абитуриентов.

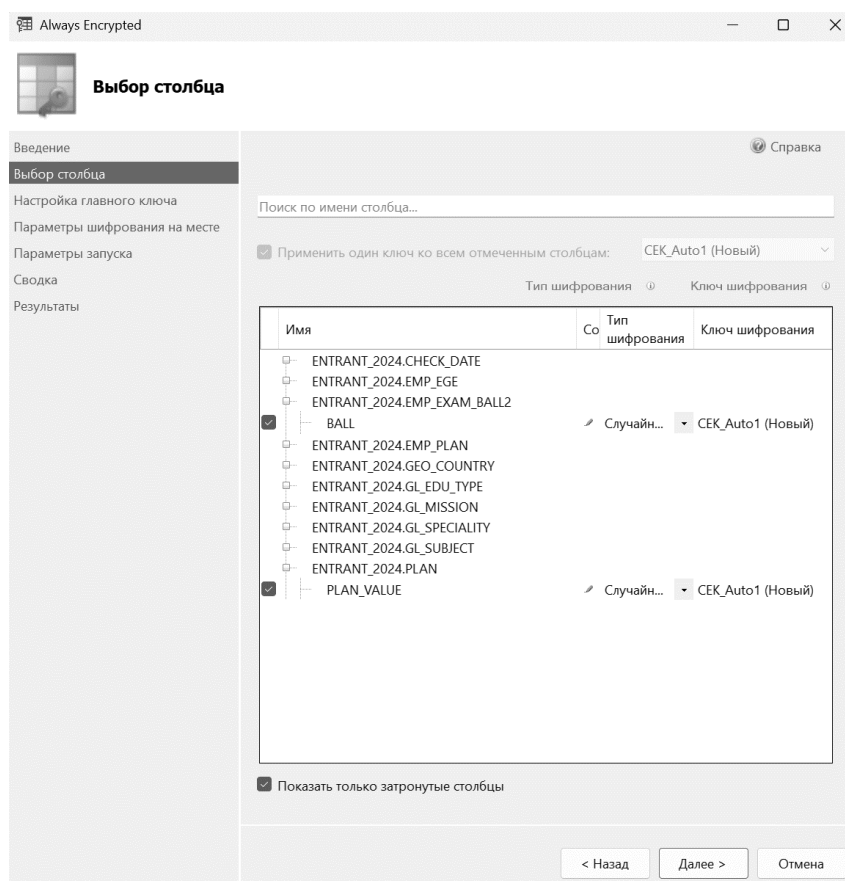


Рисунок 1. Конфигурация шифрования конкретных столбцов на примере таблиц с контрольными цифрами приёма и баллами абитуриентов

2. Сетевая безопасность

Для защиты передачи данных используется протокол TLS 1.3 с аутентификацией по X.509-сертификатам, обеспечивающий криптографическую целостность и конфиденциальность обмена информацией. Защита сетевого периметра реализована через статический межсетевой экран с политикой запрета по умолчанию и белым списком доверенных IP-адресов, существенно сокращая поверхность потенциальных векторов сетевых атак.

3. Управление доступом

Ролевая модель (RBAC) с детализацией прав для администраторов ИС, ректората и приёмной комиссии дополнена механизмом защиты на уровне строк (RLS) [5], ограничивающим видимость данных в отчётах Power BI. Инструмент поддерживает настройку фильтрации как с помощью графического интерфейса, так и через запросы DAX (рисунок 2).

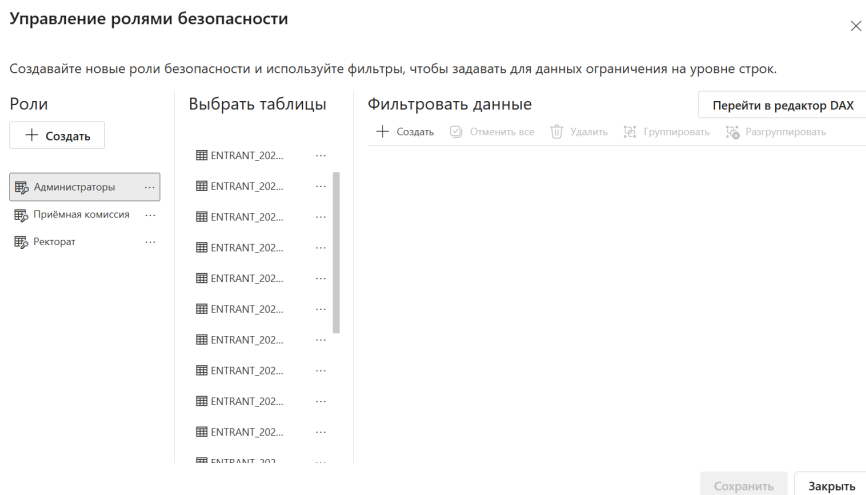


Рисунок 2. Интерфейс управления ролями безопасности Power BI

4. Анализ и моделирование угроз

На основе банка данных угроз ФСТЭК [6] проведено моделирование угроз безопасности системы с выявлением ключевых рисков, включая несанкционированный доступ, повреждение и утечку данных. Реализована формализованная модель безопасности, предусматривающая мониторинг и аудит действий пользователей, регулярную ротацию криптографических ключей, а также периодическое сканирование на наличие уязвимостей.

Внедрённые решения прошли тестирование в условиях, имитирующих реальные атаки. Проверка корректности работы RLS подтвердила, что пользователи получают доступ только к данным, соответствующим их роли. Шифрование с использованием Always Encrypted не нанесло значительный ущерб производительности аналитических запросов в Power BI. Применение межсетевого экрана обеспечило надёжную защиту сервера отчётов от несанкционированных подключений.

Разработанный комплекс мер обеспечил безопасность ИС без ущерба для её функциональности и удобства использования.

Дальнейшее развитие проекта предполагает внедрение SIEM-системы для автоматизации мониторинга инцидентов ИБ.

Литература и источники

1. Карабцев С.Н., Котов Р.М., Давзит И.П., Гуров Е.С. Поддержка принятия решений в управлении контингентом образовательного учреждения на основе Business Intelligence // Прикладная информатика. – 2022. – Т.17, №5. – С.125-142. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-5-125-142.

2. Сергеев, В. С. Информационная система оперативного мониторинга хода приемной кампании КемГУ / В. С. Сергеев, А. А. Буданцев // Фундаментальные и прикладные исследования в информатике и цифровизации : Материалы симпозиума XIX (LI) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 25 апреля 2024 года. –Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024.–С. 91-94.

3. Always Encrypted cryptography [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/security/encryption/always-encrypted-cryptography> (Дата обращения: 01.04.2025)

4. Сергеева, О. А., Кутовая, А. С. Основы криптографии: учебно-методическое пособие / О. А. Сергеева, А. С. Кутовая. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. – 160 с. – ISBN 978-5-8353-3120-8.

5. Row-level security (RLS) with Power BI [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/fabric/security/service-admin-row-level-security> (Дата обращения: 01.04.2025)

6. Банк данных угроз безопасности информации: [Электронный ресурс]. URL: <https://bdu.fstec.ru/threat> (Дата обращения: 01.04.2025)

Научный руководитель – Карабцев С.Н., к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

Аннотация: В данной статье представлена реализация алгоритма сжатия данных Хаффмана на языке программирования Python. Несмотря на то, что этот алгоритм был разработан еще в 1950-х годах, он сохраняет высокую актуальность в современных задачах компрессии данных, оставаясь ключевым компонентом многих распространенных форматов сжатия, таких как JPEG, PNG, ZIP, GZIP и DEFLATE. Алгоритм Хаффмана также интегрирован в аудио-кодеки MP3 и AAC, а также используется в комбинации с другими методами в более сложных системах сжатия. Целью исследования является разработка эффективной Python-реализации алгоритма Хаффмана с фокусом на оптимальное использование ресурсов машины, читаемый вид кода и высокую скорость выполнения. В работе детально описывается процесс реализации всех ключевых этапов алгоритма: анализ частотного распределения символов, построение бинарного дерева Хаффмана с использованием очереди с приоритетами, генерация оптимальных префиксных кодов и процедуры кодирования/декодирования данных. Экспериментальные результаты демонстрируют эффективность разработанной реализации на натурально-языковых типах входных данных. Практическая значимость работы заключается в предоставлении готового решения для задач компрессии данных, которое может быть легко интегрировано в различные Python-проекты, а также в образовательной ценности представленного материала для изучения основ теории кодирования и алгоритмов сжатия информации. Новизна работы заключается в адаптации алгоритма под исполнение интерпретатором языка Python: в работе используются библиотеки и структуры данных, которые обеспечивают быстрое и малозатратное, с точки зрения количества памяти, выполнение алгоритма Хаффмана.

Ключевые слова: алгоритм Хаффмана, сжатие данных, компрессия и декомпрессия, python, реализация алгоритма.

В эпоху экспоненциального роста объемов данных эффективное сжатие информации остается одной из фундаментальных задач компьютерных наук [1]. Алгоритм Хаффмана, предложенный Дэвидом Хаффманом в 1952 году, представляет собой элегантное решение для оптимального префиксного кодирования и является краеугольным камнем многих современных систем компрессии данных [2]. Язык программирования Python, благодаря своей выразительности и богатой стандартной библиотеке, предоставляет идеальную платформу для реализации и изучения алгоритма Хаффмана.

Для написания кода были изучены основные определения и понятия алгоритма Хаффмана. Алгоритм Хаффмана – адаптивный жадный алгоритм оптимального префиксного кодирования алфавита с минимальной избыточностью [3]. Основная идея алгоритма состоит в том, что наиболее часто встречающимся символам сопоставляются как можно более короткие коды и наоборот, самым редким символам из набора ставятся в соответствие наиболее длинные коды [4]. Каждый код, по условию Фано [5], имеет уникальный префикс, чем и обуславливается однозначность декомпрессии закодированного набора данных.

Теорема оптимальности алгоритма Хаффмана: Алгоритм Хаффмана создает код с минимальной средней длиной L среди всех возможных префиксных кодов для заданного распределения вероятностей [6-7].

Реализация алгоритма Хаффмана

Модель узла реализована с помощью класса «Node», который имеет атрибуты «freq» - статистическая частота символа; «char» - кодируемый символ; «left» и «right» - левая и правая ветви соответственно; метод «__lt__» который позволяет сравнивать узлы между собой. (Листинг 1)

```
class Node:
    def __init__(self, freq, char=None, left=None, right=None):
```

```

self.freq = freq
self.char = char
self.left = left
self.right = right

def __lt__(self, other):
    return self.freq < other.freq

```

Листинг 1. Модель узла

В реализации алгоритма построения дерева Хаффмана функция Counter из модуля collections [8] подсчитывает, сколько раз встречается каждый символ в строке s. Результатом является словарь, где ключ – символ, а значение – его частота. Функция heapify из модуля heapq преобразует список в кучу, где каждый узел с меньшей частотой имеет более высокий приоритет. Это значит, что при извлечении (heappop) будет возвращаться узел с наименьшей частотой. Пока в куче больше одного узла, извлекаются два узла с наименьшими частотами: они сохраняются в переменных left и right. Порядок извлечения гарантирует, что оба узла – наименее частые из оставшихся. Создаётся новый внутренний узел merged и помещается обратно в очередь. Цикл прекращается, когда в очереди остается один элемент. (Листинг 2)

```

def build_tree(s):
    heap = [Node(freq, char) for char, freq in Counter(s).items()]
    heapq.heapify(heap)

    while len(heap) > 1:
        left = heapq.heappop(heap)
        right = heapq.heappop(heap)
        merged = Node(left.freq + right.freq, left=left, right=right)
        heapq.heappush(heap, merged)

    return heap[0]

```

Листинг 2. Построение дерева Хаффмана

Алгоритм построения таблицы кодов реализует обход дерева Хаффмана в виде итеративного процесса с использованием стека (метод поиска в глубину, DFS). При этом по мере прохождения дерева к символам (листьям) присваиваются соответствующие коды, полученные путём добавления "0" при переходе влево и "1" при переходе вправо. В итоге для каждого символа формируется его префиксный код, который потом используется для кодирования исходных данных. (Листинг 3)

```

def build_codes(tree):
    codes = {}
    stack = [(tree, bytearray())]

    while stack:
        node, code = stack.pop()
        if node.char is not None:
            codes[node.char] = code
        else:
            stack.append((node.left, code + bytearray('0')))
            stack.append((node.right, code + bytearray('1')))
    return codes

```

Листинг 3. Итеративный обход дерева Хаффмана

При кодировании и декодировании, в угоду высокой скорости и малых затрат памяти, используется объекты класса bytearray и соответствующие им методы класса, которые призваны напрямую работать с битами в массиве, экономя при этом ресурсы машины.

Тестирование кода

Для теста был выбран текст повести А.П. Чехова «Дуэль»

Изначальный объем файла составил 349 840 байт (Рис. 1). После сжатия и преобразования в бинарный формат размер составил 119 769 байт. Коэффициент сжатия составил 65,76%.

Размер: 341 КБ (349 830 байт)

На диске: 344 КБ (352 256 байт)

Рисунок 2. Изначальный размер файла

Размер: 116 КБ (119 769 байт)

На диске: 120 КБ (122 880 байт)

Рисунок 3. Размер файла после сжатия

Временные затраты на сжатие файла оставили 0.034 с.

Временные затраты на восстановление файла составили 0.074 с. (Рис. 4)

```
Время, затраченное на сжатие файла: 0.0339970588684082
Время, затраченное на восстановление файла: 0.07350516319274902
```

Рисунок 4. Временные затраты алгоритма

Вывод. В данной работе была представлена оптимизированная реализация алгоритма Хаффмана на языке Python. Проведенное исследование подтвердило, что даже классические алгоритмы сжатия данных могут быть эффективно адаптированы к современным языкам программирования с сохранением их математической оптимальности.

Предложенная реализация использует преимущества Python, в частности, встроенные структуры данных, такие как очереди с приоритетами (heapq) и словари, что позволило достичь баланса между читаемостью кода и производительностью. Оптимизации, внесенные в алгоритм, включая эффективное построение частотной таблицы и оптимизированное формирование дерева Хаффмана, позволили сократить время выполнения на больших наборах данных без ущерба для степени сжатия.

Литература и источники

1. Глобальный кризис хранения данных. Почему места в хранилищах на всех не хватит // habr.com URL: <https://habr.com/ru/companies/first/articles/710838/> (дата обращения: 04.04.2025).
2. Ещё раз про алгоритм сжатия Хаффмана // habr.com URL: <https://habr.com/ru/companies/samsung/articles/771572/> (дата обращения: 04.04.2025).
3. Ерофеев Д. О. Алгоритм Хаффмана и новый метод его реализации // Наука и современность. - 2010. - С. 338-343.
4. Виноградова М.С., Ткачева О.С. Сжатие данных. Алгоритм Хаффмана // Modern European Researches. - 2022. - №3. - С. 60-69.
5. Условие Фано // academic.ru URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/694217> (дата обращения: 08.04.2025).
6. DAVID A. HUFFMAN A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes // Proceedings of I.R.E. - September 1952. - №9. - С. 1098-1101.
7. Thomas M. Cover, Joy A. Thomas Elements of Information Theory. - 2nd изд. - New York : City College of New York , 2006. - 542 с.
8. collections — Container datatypes // docs.python.org URL: <https://docs.python.org/3/library/collections.html> (дата обращения: 06.04.2025).

Научный руководитель – О.Г. Багина., к.ф.–м.н., (ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

КУРС ПО ВЫБОРУ «ПРАВИЛЬНЫЙ ПЯТИУГОЛЬНИК В ГЕОМЕТРИИ, ДЕКОРЕ И АРХИТЕКТУРЕ» ДЛЯ УЧАЩИХСЯ 8 КЛАССОВ**Плохих Е. С.**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

y-plokhikh@list.ru

Аннотация. Современная школа должна обеспечивать всестороннее развитие обучающихся. Один из важных элементов системы образования — это курсы по выбору, которые являются дифференциацией обучения по склонностям, интересам. Выбирать курсы учащимся придётся из тех, что предложит школа, поэтому общеобразовательные учреждения должны предоставить большое разнообразие курсов по выбору, как связанных с различными профессиями, так и углубляющих знания по учебным предметам.

Курс по выбору «Правильный пятиугольник в геометрии, декоре и архитектуре» позволит учащимся познакомиться с такими профессиями как архитектор и дизайнер, поможет развить чертёжные навыки и креативные способности (учащиеся смогут создавать уникальные проекты и сформировать собственный стиль). Курс по выбору обеспечит знакомство с такими понятиями как Золотое сечение, правильный многоугольник, правильный пятиугольник; расскажет о значении Золотого сечения и правильного пятиугольника в архитектуре и дизайне, практическом применении правильного пятиугольника в архитектуре и дизайне интерьера и экстерьера. Всё это расширит знания учащихся в предметной области «геометрия» и поможет с выбором будущей профессии. Организация курса по выбору строится с учетом возрастных особенностей учащихся 8 классов, должна быть грамотно спланирована. Курс должен проходить в дружественной, позитивной и комфортной атмосфере, быть связан с реальными профессиями, включать различные игры с элементами соперничества, учитывать интересы и увлечения учащихся. Важно презентовать материал привлекательно и ярко, соблюдая точность формулировок. Наконец, предлагаемый курс должен включать творческую и практическую деятельность учащихся.

Ключевые слова: курс по выбору, золотое сечение, правильный пятиугольник.

Целью работы является разработка курса по выбору «Правильный пятиугольник в геометрии, декоре и архитектуре» для учащихся 8 классов. Достижение цели предполагает - решение ряда **задач**. **Практическая значимость** заключается в разработке данного курса по выбору и апробация на базе МБОУ «СОШ № 92 с УИОП».

Курсы по выбору в общеобразовательной школе – это образовательные курсы, дающие возможность изучать предмет, который обучающиеся выбирают самостоятельно. Курсы по выбору также известны как "элективные" и "факультативные" курсы, они способствуют профессиональному и личностному развитию школьников. Для курсов по выбору, как отмечалось ранее, характерна связь с будущей профессиональной деятельностью. Важно понимать разницу между элективными и факультативами курсами. Факультативные и элективные курсы являются разновидностью профильной дифференциации. Однако, элективные занятия обязательны для посещения, неотъемлемой частью общего образования, факультативные курсы не обязательны для посещения учащихся [1, 2, 4].

Курс по выбору «Правильный пятиугольник в геометрии, декоре и архитектуре» рассчитан на 34 часа для учащихся профильных 8 классов, которые заинтересованы геометрией или такими профессиями как архитектор, дизайнер. Программа курса построена с учётом знаний учащихся по учебному предмету «Геометрия» и не дублирует его. Курс включает 5 разделов: Золотое сечение, Правильный пятиугольник в декоре, Правильный пятиугольник в архитектуре, Профессии архитектор, дизайнер, Правильный пятиугольник в геометрии.

Для каждого раздела был подобран соответствующий теоретический и задачный материал. Методы обучения: словесные, наглядные, практические. В качестве формы

контроля и оценки работы учащихся будет использоваться публичная защита созданного ими продукта

Публичная защита оценивается по критериям (5-ти бальная шкала): качество продукта; продуманность дизайна продукта; использование знаний, полученных на курсе; трудоёмкость продукта. Итоговая оценка за публичную защиту продукта считается как среднее арифметическое всех критериальных оценок. Допускается оценивание публичной защиты слушателями.

Оборудование, инструменты и принадлежности, необходимые для реализации курса: меловая доска, проектор (телевизор) и ПК, чертёжные принадлежности для меловой доски, цветная бумага, цветной картон, клей-карандаш, многослойный картон. Приведем примеры нестандартных задач курса.

Задача 1. Построить правильный пятиугольник, вписанный в окружность [3].

Дано: Окружность с известным положением центра.

Решение: (рис 1.)

- 1) Проведем диаметр АВ, затем поделим его на три равные части, две получившиеся точки назовём С и D;
- 2) Через точку D построим прямую перпендикулярную АВ, точки пересечения с окружностью назовем Е и F;
- 3) Проведем прямую через точки Е и С, на пересечении прямой с окружностью поставим точку G;
- 4) Проведем прямую через точки F и C, на пересечении прямой с окружностью поставим точку H;
- 5) Последовательно соединим точки В, Е, H, G, F.

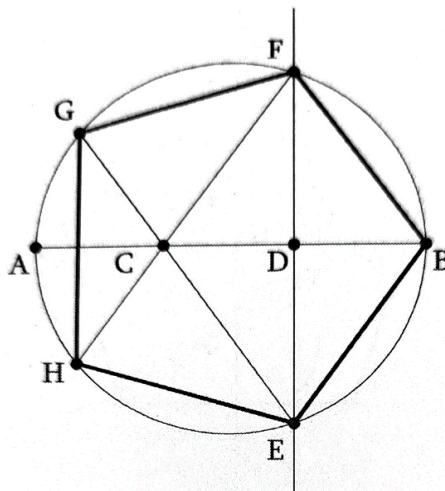


Рисунок 1. Построение правильного пятиугольника, вписанного в окружность

Задача 2. Построить правильный пятиугольник, описанный вокруг окружности [3].

Дано: Окружность с известным положением центра.

Решение: (рис 2).

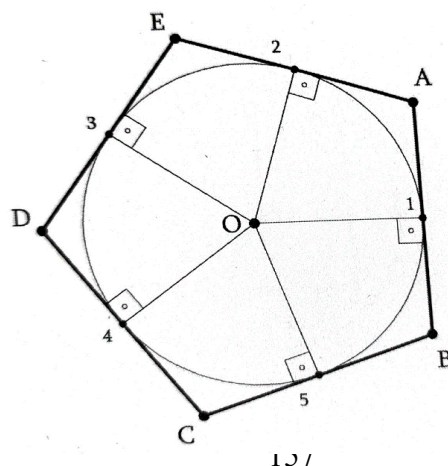


Рисунок 2. Построение правильного пятиугольника, описанного вокруг окружности

- 1) Проведем диаметр АВ, затем поделим его на три равные части, две получившиеся точки назовём С и D;
- 2) Через точку D построим прямую перпендикулярную АВ, точки пересечения с окружностью назовём Е и F;
- 3) Проведем прямую через точки Е и С, на пересечении прямой с окружностью поставим точку G;
- 4) Проведем прямую через точки F и С, на пересечении прямой с окружностью поставим точку H;
- 5) Точки В, Е, H, G, F разделили окружность на пять равных частей, переименуем эти точки в 1, 2, 3, 4, 5 соответственно;
- 6) Проведем из точки О к точкам 1, 2, 3, 4, 5 радиусы;
- 7) Построим перпендикуляры к радиусам, назовём точки пересечения соседних перпендикуляров А, В, С, D, Е;
- 8) Последовательно соединим точки А, В, С, D, Е.

Примечание: Можно заметить, что сначала мы повторили первые четыре пункта задачи 1, точки В, Е, H, G, F разделили окружность на пять равных частей.

Апробация данного курса проведена на базе МБОУ «СОШ № 92 с УИОП» в 8 классе. Она подтвердила правильность выбранной методики, обучающиеся показали хорошие результаты и представили проекты по теме «Орнамент из пятиугольника».

Литература и источники

1. Гусев, В. А. Теория и методика обучения математике: психолого-педагогические основы / В. А. Гусев. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2017. — 458 с. — ISBN 978-5-00101-490-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/94152> (дата обращения: 19.09.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Дербуш М. В., Скарбич С. Н. Особенности проектирования элективных курсов по математике в контексте смешанного обучения // Педагогическое образование в России. 2022. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-elektivnyh-kursov-po-matematike-v-kontekste-smeshannogo-obucheniya> (дата обращения: 25.10.2024).
3. Литвинов В. Н. Правильный пятиугольник: геометрия, декоративное искусство, архитектура. Изд. стереотип. — М. : ЛЕНАНД, 2022. — 108с.
4. Подходова, Н. С. Методика обучения математике : учебное пособие / Н. С. Подходова, Н. Л. Стефанова, В. И. Снегурова. — Санкт-Петербург : РГПУ им. А. И. Герцена, 2020. — 264 с. // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/252377> (дата обращения: 19.09.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Научный руководитель – Глухова О.Ю., к.п.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ УЧАЩИХСЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ОЛИМПИАДАМ И УРОКАМ ГЕОМЕТРИИ

Поздеева А.А., Назарова А.Д.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

al.546poz@gmail.com, nazarovaa056@gmail.com

Аннотация: В статье рассматривается процесс формирования познавательных действий учащихся в контексте подготовки к Олимпиадам и урокам геометрии. Особое внимание уделяется методическим подходам, которые способствуют развитию критического мышления, аналитических навыков и творческого подхода к решению геометрических задач. В современных образовательных реалиях ключевым моментом становится формирование у школьников критического мышления и умения самостоятельно решать проблемы. Анализируются эффективные стратегии преподавания, включая использование интерактивных технологий, групповых занятий и проектной деятельности, которые активизируют учебный процесс и повышают мотивацию учащихся. Геометрия является одной из ключевых дисциплин в математике, и ее понимание способствует формированию логического и пространственного мышления. Олимпиады по геометрии представляют собой уникальную возможность для учащихся углубить свои знания и развить навыки, которые могут быть полезны в дальнейшей учебе и профессиональной деятельности. Статья будет полезна педагогам, методистам и всем заинтересованным в улучшении качества математического образования.

Ключевые слова: познавательные действия, олимпиадные задачи, подготовка к олимпиадным задачам, критическое мышление, математический кружок, пространственное представление.

Актуальность данной работы заключается в том, что современные образовательные стандарты требуют более активного и самостоятельного подхода к обучению. Формирование познавательных действий учащихся в контексте подготовки к олимпиадам способствует реализации этих стандартов и помогает создавать условия для более глубокого и осмысленного обучения.

Целью работы является исследование и анализ различных методов и стратегий, которые способствуют формированию познавательных действий учащихся в контексте геометрии и подготовки к Олимпиадам.

По мнению Л.И. Боженовой, «под познавательными действиями понимают такие, которые обеспечивают познание – умственный творческий процесс получения и постоянного обновления знаний, необходимых человеку» [3, с. 9]. В исследовании мы исходили из того, что «познавательные учебные действия – это действия по владению способами решения проблем творческого и поискового характера; использованию информации для создания модели изучаемых объектов и процессов, схем решения задач учебных и практических задач; владению логическими действиями сравнения, анализа, синтеза, обобщения, классификации по родовидовым признакам, установлению аналогий и причинноследственные связей, построению рассуждений, отнесению к известным понятиям» [2, с. 24]

Подготовка к олимпиадам – это не просто участие в соревнованиях, а мощный инструмент для развития потенциала каждого ученика. На занятиях по математике нужно находить время для задач, способствующих развитию нестандартного мышления. Это могут быть задачи с избыточными данными, логические задачи, а также задачи, требующие креативного подхода к их решению. Обязательно важно применять различные методы обучения, такие как групповая работа, проекты и игровые формы обучения. Основные направления работы учителя на уроках по подготовке к олимпиадам [1, С. 108]:

Решение олимпиадных задач, которые связаны с темой урока, является важной частью процесса. Оно способствует развитию умственных качеств и приемов умственной

деятельности. Для повышения гибкости мышления на уроке могут быть использованы такие методы, как упражнения, включающие взаимно обратные операции, предложение решений задач несколькими способами и доказательства теорем различными методами. Также важно развивать способность переключаться с прямого хода мыслей на обратный.

Для углубления мышления предлагаются задания, направленные на выделение главного и второстепенного в задачах, определение существенных признаков понятий, а также на выявление ведущих закономерных отношений между явлениями и отделение важного от менее значимого.

Метапредметными результатами изучения становятся формирование учебных действий (УД).

К познавательным УД относятся: наблюдение и экспериментирование под руководством учителя, расширенный поиск информации с использованием библиотечных и интернет-ресурсов, выбор наиболее эффективных методов решения задач в зависимости от конкретной ситуации, анализ, сравнение, классификация и обобщение фактов и явлений, а также предоставление определений понятиям.

Учебный материал, а в первую очередь продуктивные задания, выходящие за рамки учебника, являются основным инструментом для формирования познавательных учебных действий.

Классификация олимпиадных задач по математике для учащихся 5-6 классов включает в себя несколько категорий, которые помогают развить ключевые навыки и логическое мышление. Ниже представлена адаптированная классификация:

- Классификация олимпиадных задач для 5-6 классов

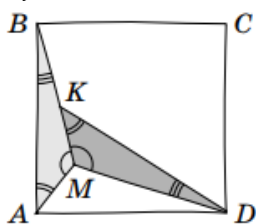
Геометрия

- Задачи на площади и периметры фигур (квадраты, прямоугольники, треугольники, круги)
- Простые задачи на объемы (куб, прямоугольный параллелепипед)
- Использование свойств углов и фигур (например, параллельные)
- Геометрические задачи: Они помогают развивать пространственное мышление и понимание свойств фигур.

Данную задачу мы взяли из «LXXXII Московской математической олимпиады», её составили при поддержке сервиса «Яндекс» и «Школы Лето»

Задача 1.

Два равных треугольника расположены внутри квадрата, как показано на рисунке. Найдите их углы.



Решение.

Заметим, что треугольник MAD тоже равен треугольнику MAB — по трём сторонам: сторона MA у них общая, $AD = AB$ как стороны квадрата, $MD = MB$ по условию (лежат напротив соответственных углов в равных треугольниках).

Значит, $\angle BAM = \angle MAD = \frac{90^\circ}{2} = 45^\circ$. В точке M сходятся три соответственных угла равных треугольников, поэтому $\angle AMB = \frac{360^\circ}{3} = 120^\circ$. Сумма углов треугольника равна 180° , значит, $\angle ABM = 180^\circ - 120^\circ - 45^\circ = 15^\circ$.

Ответ: $120^\circ, 45^\circ, 15^\circ$ [4, с. 7]

При решении данной задачи формируются такие познавательные УД, как умение структурировать знания, выведение следствий из условий, пошаговая запись решения

Список литературы

1. Аспекты и тенденции педагогической науки : материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, декабрь 2016).— СПб.: Издательский дом «Свое издательство», 2016.— 112 с.
2. Беглова Т.В., Битянова М.Р., Меркулова Т.В., Теплицкая А.Г. Универсальные учебные действия: теория и практика проектирования: науч.-метод. пособие / науч. ред. М.Р. Битянова. Самара: Издательский дом «Фёдоров», 2017. 304 с
3. Боженкова Л.И. Методика формирования универсальных учебных действий при обучении геометрии. 2-е изд. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. 208 с.
4. Математический праздник. [Электронный ресурс]. – М.: Открытое образование, 2019. – Режим доступа: <https://olympiads.mccme.ru/matprazdnik/image/19/book.pdf> (дата обращения: 09.04.2024).

Научный руководитель – Глухова О.Ю., к.п.н., доцент (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»)

СИМПЛЕКТИЧЕСКИЕ ОДНОРОДНЫЕ ПРОСТРАНСТВА ШЕСТИМЕРНЫХ НИЛЬПОТЕНТНЫХ НЕСИМПЛЕКТИЧЕСКИХ ГРУПП ЛИ

Чернова К.В.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

karina.chernova.2002@mail.ru

Аннотация: Настоящая работа посвящена исследованию однородных пространств несимплектических 6-мерных нильпотентных групп Ли. Классификация левоинвариантных симплектических структур на 6-мерных нильпотентных группах Ли хорошо известна. Из 34 классов изоморфных нильпотентных алгебр Ли только 26 классов допускают инвариантные симплектические структуры, а оставшиеся восемь классов представляют собой несимплектические группы Ли. При этом, только на трех из них существуют инвариантные комплексные структуры. В 1974 году Чу Вон-Яо показал, что каждая замкнутая вырожденная левоинвариантная 2-форма ω на группе Ли определяет симплектическую структуру на однородном пространстве этой группы Ли, когда в качестве группы изотропии выступает подгруппа Ли, соответствующая алгебре вырождения 2-формы ω на группе Ли. В данной работе исследованы замкнутые левоинвариантные 2-формы на всех восьми несимплектических 6-мерных нильпотентных группах Ли. Во всех случаях алгебры вырождения замкнутых 2-форм ω являются двумерными коммутативными. Найдены их присоединенные представления. Исследованы также однородные симплектические пространства, порожденные замкнутыми 2-формами. Найдены и изучены инвариантные геометрические структуры на однородных пространствах. Оказалось, что инвариантные метрики на однородных пространствах существуют только на четырех из восьми рассматриваемых однородных пространствах. При этом, инвариантные метрики являются псевдоримановыми. В случае существования инвариантной метрики вычислены ее геометрические характеристики. Инвариантные комплексные и паракомплексные структуры на однородных пространствах также существуют только в шести случаях из восьми. В каждом случае изучен вопрос согласованности (пара) комплексной структуры с симплектической структурой на однородном пространстве.

Ключевые слова: однородное пространство, нильпотентная группа Ли, симплектические структуры.

Целью работы является исследование геометрических структур на симплектических однородных пространствах несимплектических 6-мерных нильпотентных групп Ли.

Алгебры Ли несимплектических 6-мерных нильпотентных групп Ли в соответствии с классификацией [1] определены следующими скобками Ли:

$$\mathbf{g}_1: [e_1, e_3] = e_4, [e_1, e_4] = e_6, [e_2, e_3] = e_5, [e_2, e_5] = e_6.$$

$$\mathbf{g}_2: [e_1, e_2] = e_4, [e_1, e_4] = e_5, [e_2, e_4] = e_6.$$

$$\mathbf{g}_3: [e_1, e_2] = e_6, [e_3, e_4] = e_6.$$

$$\mathbf{g}_4: [e_1, e_2] = e_3, [e_1, e_3] = e_4, [e_1, e_4] = e_5, [e_2, e_3] = e_5, [e_3, e_4] = e_6, [e_2, e_5] = -e_6.$$

$$\mathbf{g}_5: [e_1, e_2] = e_3, [e_1, e_3] = e_4, [e_1, e_4] = e_5, [e_3, e_4] = e_6, [e_2, e_5] = -e_6.$$

$$\mathbf{g}_6: [e_1, e_2] = e_4, [e_1, e_3] = e_5, [e_1, e_4] = e_6, [e_3, e_5] = e_6.$$

$$\mathbf{g}_7: [e_1, e_2] = e_4, [e_2, e_3] = e_5, [e_1, e_4] = e_6, [e_3, e_5] = e_6.$$

$$\mathbf{g}_8: [e_1, e_2] = e_5, [e_1, e_5] = e_6, [e_3, e_4] = e_6.$$

На первых трех группах Ли указанного списка существуют инвариантные комплексные структуры, а на остальных – нет ни комплексных, ни симплектических структур. Исследование левоинвариантных геометрических структур на первых трех группах Ли указанного списка проведено в работе [2], а остальные пять групп Ли изучались в работе [3].

Исследование левоинвариантных замкнутых 2-форм на группах Ли и однородных пространствах проведено в работе [4]. Напомним, что если ω – левоинвариантная вырожденная замкнутая 2-форма на группе Ли G , то подпространство вырождения $\mathbf{h}_\omega = \{X \in \mathbf{g}: i_X \omega = \omega(X, *) = 0\}$ является подалгеброй. Алгебре $\mathbf{h}_\omega$ соответствует подгруппа Ли H_ω . Если

группа H_ω замкнута в G , то фактор-пространство G/H_ω является однородным пространством группы G и 2-форма определяет [4] инвариантную симплектическую форму на пространстве G/H_ω .

В данной работе исследованы инвариантные геометрические структуры на однородных пространствах всех групп Ли, указанного выше списка.

Рассмотрим подробнее первую группу Ли G_1 с алгеброй Ли $\mathfrak{g}_1$.

Инвариантные замкнутые и точные формы на G_1 . Пусть $\omega = w_{ij}e^i \wedge e^j$ – произвольная 2-форма. Инвариантные замкнутые формы на алгебре $\mathfrak{g}_1$ имеют вид:

$$\omega = e^1 \wedge (w_{12}e^2 + w_{13}e^3 + w_{14}e^4 + w_{24}e^5) + e^2 \wedge (w_{23}e^3 + w_{24}e^4 + w_{25}e^5) + e^3 \wedge (w_{34}e^4 + w_{35}e^5).$$

Алгебра $\mathfrak{h}_1$, на которой вырождается форма ω , порождается следующими векторами:

$$E_5 = \frac{w_{15}w_{35} - w_{25}w_{34}}{w_{14}w_{25} - w_{15}^2}e^1 - \frac{w_{14}w_{35} - w_{15}w_{34}}{w_{14}w_{25} - w_{15}^2}e^2 + e^3 + \frac{w_{12}w_{35} - w_{13}w_{25} + w_{15}w_{23}}{w_{14}w_{25} - w_{15}^2}e^5 - \\ - \frac{w_{12}w_{34} - w_{13}w_{15} + w_{14}w_{23}}{w_{14}w_{25} - w_{15}^2}e^6, E_6 = e^6.$$

Рассмотрим 1-форму $\theta = t_1e^1 + \dots + t_6e^6$. Ее внешний дифференциал легко вычисляется:

$$d\theta = e^1 \wedge (-t_4e^3 - t_6e^4) + e^2 \wedge (-t_5e^3 - t_6e^5).$$

Таким образом, пространство $Z^2(\mathfrak{g}_1)$ замкнутых левоинвариантных 2-форм определяется 8 параметрами и, следовательно, имеет размерность 8. Пространство $B^2(\mathfrak{g}_1)$ точных левоинвариантных 2-форм имеет размерность 3. Группа когомологий $H^2(\mathfrak{g}_1) = Z^2(\mathfrak{g}_1)/B^2(\mathfrak{g}_1)$ имеет размерность 5.

Пространство вырождения $\mathfrak{h}_1$ точной 2-формы $d\theta$ порождается векторами: $E_5 = [0, 0, -t_6, t_4, t_5, 0]$ и $E_6 = [0, 0, 0, 0, 0, 1]$.

Заметим, что вектор $E_6 = e_6$ является центральным. Легко видеть, что пространство $\mathfrak{m}_1$, дополнительное к $\mathfrak{h}_1$ и инвариантное относительно действия подалгебры $\mathfrak{h}_1$, порождается векторами $E_1 = [1, 0, 0, 0, 0, 0]$, $E_2 = [0, 1, 0, 0, 0, 0]$, $E_3 = [0, 0, 0, 0, t_6, -t_5]$, $E_4 = [0, 0, 0, t_6, 0, -t_4]$.

Перейдём к новому базису E_i . Получаем следующие скобки Ли алгебры Ли $\mathfrak{g}_1$: $[E_1, E_4] = t_6E_6$, $[E_1, E_5] = -E_4$, $[E_2, E_3] = t_6E_6$, $[E_2, E_5] = -E_3$.

В алгебре $\mathfrak{g}_1$ в новом базисе E_i присоединённое представление подалгебры $\mathfrak{h}_1$ определяется следующим образом:
 $ad_{E_6} = 0, ad_{E_5}(E_1) = E_4, ad_{E_5}(E_2) = E_3, ad_{E_5}(E_3) = 0, ad_{E_5}(E_4) = 0.$

Точная форма $d\theta$ в новом базисе будет иметь вид: $d\theta = -t_6^2(E^1 \wedge E^4 + E^2 \wedge E^3).$

Инвариантные структуры на однородном пространстве группы G_1 . Поскольку точные 2-формы $d\theta$ на группе Ли с левоинвариантной формой θ являются регулярными, то мы рассмотрим симплектические однородные пространства, порожденные вырожденной 2-формой $\omega_1 = d\theta$, вид которой найден в предыдущем разделе.

В данном разделе мы найдем инвариантные симплектические, (пара)комплексные и (псевдо)римановы структуры на однородном пространстве $M_1 = G_1/H_1$ группы G_1 . Мы предполагаем, что на $M_1 = G_1/H_1$ задана симплектическая структура Ω_1 левоинвариантной точной формой $\omega = d\theta$. $\Omega_1 = -t_6^2(E^1 \wedge E^4 + E^2 \wedge E^3).$

Инвариантные симплектические структуры. В соответствии с разложением $\mathfrak{g}_1 = \mathfrak{m}_1 \oplus \mathfrak{h}_1$, мы ищем сначала левоинвариантную замкнутую 2-форму на $\mathfrak{g}_1$ в матричном виде

$$\omega = \begin{pmatrix} \Omega & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \text{ где } \Omega = -w_{ij}E^i \otimes E^j, 1 \leq i, j \leq 4, \text{ является невырожденной 2-формой на } \mathfrak{m}_1,$$

удовлетворяющей условию $ad_{\mathfrak{h}_1}$ -инвариантности: $\omega(ad_Z(X), Y) + \omega(X, ad_Z(Y)) = 0$, $\forall X, Y \in \mathfrak{m}_1, \forall Z \in \mathfrak{h}_1$. Тогда форма Ω будет инвариантной симплектической структурой на M_1 .

Достаточно потребовать инвариантности ω относительно действия базисных векторов ad_{E_5} и ad_{E_6} . Поскольку вектор E_6 лежит в центре, то достаточно потребовать инвариантности только относительно ad_{E_5} . В результате получаем общий вид замкнутой формы ω в базисе E_i инвариантной относительно присоединенного действия алгебры $\mathfrak{h}_1$:

$$\omega = e^1 \wedge (w_{12}e^2 + w_{13}e^3 + w_{14}e^4) + e^2 \wedge (w_{23}e^3 + w_{13}e^4).$$

Тогда симплектические структуры на однородном пространстве G_1/H_1 имеют в базисе E_1, E_2, E_3, E_4 пространства $\mathfrak{m}_1$ следующий матрицы:

$$\Omega = E^1 \wedge (w_{12}E^2 + w_{13}E^3 + w_{14}E^4) + E^2 \wedge (w_{23}E^3 + w_{13}E^4).$$

Инвариантные комплексные структуры. Теперь будем искать инвариантную комплексную структуру $J = (\psi_{ij})$ согласованную с формой Ω_0 . В соответствии с разложением $\mathfrak{g}_1 = \mathfrak{m}_1 \oplus \mathfrak{h}_1$ рассматриваем также оператор $\tilde{J}$ на $\mathfrak{g}_1$, имеющую следующий блочный вид $\tilde{J} = \begin{pmatrix} J & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$, где J – это ПКС на $\mathfrak{m}_1 = T_0(G_1/H_1)$. Потребуем выполнения условия инвариантности: $J \cdot ad_Z = ad_Z \cdot J$, для любого $Z \in \mathfrak{h}_1$, условия согласованности $\Omega_0(X, JY) + \Omega_0(JX, Y) = 0$ и условия интегрируемости:

$$N_J(X, Y) = [\tilde{J}X, \tilde{J}Y] - [X, Y] - \tilde{J}[X, \tilde{J}Y] - \tilde{J}[\tilde{J}X, Y] \in \mathfrak{h}_1$$

Условие инвариантности относительно ad_{E_5} выполняется при следующих значениях параметров: $\psi_{14} = 0, \psi_{13} = 0, \psi_{24} = 0, \psi_{23} = 0, \psi_{33} = \psi_{22}, \psi_{44} = \psi_{11}, \psi_{34} = \psi_{21}, \psi_{43} = \psi_{12}$. Согласованность выполняется при следующих значениях параметров: $\psi_{22} = 0, \psi_{11} = 0, \psi_{21} = -\psi_{12}, \psi_{42} = \psi_{31}$. Далее решаем две системы уравнений: $J^2 = -1$ и $N_J = 0$. В результате получаем следующую инвариантную комплексную структуру на G_1/H_1 при следующих значениях параметров: $\psi_{12} = 1, \psi_{41} = -\psi_{32}$.

Инвариантные метрические структуры. Общий метрический тензор $g = g_{ij}e^i \otimes e^j$ на $\mathfrak{m}_1$ является инвариантным относительно действия $\mathfrak{h}_1$ при условиях: $g_{33} = 0, g_{44} = 0, g_{14} = 0, g_{23} = 0, g_{24} = -g_{13}, g_{34} = 0$.

Рассмотрим ассоциированную метрику $g_J(X, Y) = \Omega_0(X, JY)$ симплектической структуры Ω_0 и согласованной с ней комплексной структуры J :

$$g_J = t_6^2 \begin{bmatrix} \psi_{32} & -\psi_{31} & -1 & 0 \\ -\psi_{31} & -\psi_{32} & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad J = \begin{bmatrix} 0 & \psi_{12} & 0 & 0 \\ -\psi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \psi_{31} & \psi_{32} & 0 & -\psi_{12} \\ \psi_{41} & \psi_{31} & \psi_{12} & 0 \end{bmatrix}.$$

Теорема. Однородное пространство $M_1 = G_1/H_1$ допускает 2-параметрическое семейство G_1 -инвариантных кэлеровых структур (J, Ω_0, g_J) нулевой кривизны.

Литература и источники

- [1] Cordero, L. A., Fernández, M., Ugarte, L. Pseudo-Kähler metrics on six-dimensional nilpotent Lie algebras. J. of Geom. and Phys., 2004, Vol. 50, P. 115–137.
- [2] Smolentsev N. K., Chernova K. V. On left-invariant semi-Kähler structures on six-dimensional nilpotent nonsymplectic Lie groups. arXiv:2408.14733v2 [math.DG], 2024, 13 p.
- [3] Smolentsev N. K. Left-invariant almost para-complex structures on six dimensional nilpotent Lie groups. 2018, (arXiv:1801.07991, [math.DG]), 14 p.

[4] Chu Bon-Yao. Symplectic homogeneous spaces. // Trans. of the Amer. Math. Soc. — 1974. — Vol. 197, P. 154–159.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор. Смоленцев Н.К., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»

Научное издание

**Фундаментальные и прикладные исследования
в физике, химии, математике и информатике**

Материалы симпозиума XX (LII) Международной научной
конференции студентов, аспирантов и молодых ученых
«Образование, наука, инновации: вклад молодых
исследователей», посвященной 80-й годовщине
Победы в Великой Отечественной войне
(24 апреля 2025)

Выпуск 26

16 +

Материалы печатаются в авторской редакции

Подписано к использованию 21.08.2025. Заказ № 101.

Объем 3,64 Мб. Тираж 10 экз.

Кемеровский государственный университет,
650000, Кемерово, ул. Красная, 6.