

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Кемеровский государственный университет»  
(КемГУ)

**Симпозиум «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»

Выпуск 25

Об издании: 1, 2, 3.

18 апреля 2024, Кемерово

ББК 22+24+73(2Рос-4Кем)73я431

УДК 51+53+54+51+004

Ф 94

Печатается по решению редакционно-издательского 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 XIX (LI) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей» [Электронный ресурс] / сост. А.А. Звекон; Кемеровский государственный университет. – Электрон. дан. (объем 17,2 Мб). – Кемерово: КемГУ, 2024. – Вып. 25. –1 электрон. опт.диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. требования: Intel Pentium (или аналогичный процессор других производителей), 1,2 ГГц; 512 Мб оперативной памяти; видеокарта SVGA, 1280x1024 High Color (32 bit); 20 Мб свободного дискового пространства; операц. система Windows XP и выше; Adobe Reader. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8353-3138-3

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.

ISBN 978-5-8353-3138-3

УДК 51+53+54+51+004 ББК

22+24+73(2Рос-4Кем)73я431

© Авторы научных статей, 2024

© Кемеровский государственный университет», 2024

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; 17,2 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, 2024

© Кемеровский государственный университет», 2024

Об издании: 1,3.

Содержание

## Содержание

### ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ТЕОРИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ

<b>Аширов Мирлан Бакытбекович.</b> Особенности преподавания ”Тепловых явлений” в основной школе	7
<b>Гвоздикова Екатерина Викторовна.</b> Структура и оптические спектры NLO активного кристалла $\text{Sr}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$ .	11
<b>Кривоухов Илья Дмитриевич.</b> Проектная деятельность по физике в основной и средней школе	15
<b>Мелкозерова Екатерина Евгеньевна.</b> Влияние давления на структуру металл-органического каркасного кристалла MIL-53(Al)	18
<b>Мирзоян Моника Арменовна.</b> Исследование влияния давления на структурные и электронные свойства кристалла моногидрата $\alpha$ -лактозы	21
<b>Набеев Никита Юрьевич.</b> Метод компьютерного моделирования как способ повышения интереса к научной деятельности учащихся	24
<b>Огиенко Полина Александровна.</b> Использование Phet Interactive Simulation для визуализации построений в геометрической оптике	28
<b>Поломошнов Илья Алексеевич.</b> Методика получения каналов микронного размера для создания устройства по определению длины УНТ	31
<b>Руднев Павел Сергеевич.</b> Установка сбора грибов с применением машинного зрения	33
<b>Соколов Никита Алексеевич.</b> Применение микроконтроллера ARDUINO UNO	36
<b>Фейзуллаев Максим Алимурад оглы.</b> Виртуальные лабораторные работы по физике как средство мотивации и активизации учебной деятельности обучающихся	39
<b>Юровский Вячеслав Андреевич.</b> Численное моделирование движения математического маятника как исследовательская работа для учащихся	43
<b>Шамилова Рината Ибрахимовна.</b> Исследование зависимости упругих характеристик алмаза и кремния от температуры	47

### ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ

<b>Мертенс Максим Павлович.</b> Получение композиционного материала на основе поливинилового спирта и углеродных нанотрубок и исследование его свойств	51
<b>Лысенко Анастасия Анатольевна.</b> Исследование наноразмерных систем CuO-Ni И Cu-Ni в процессе термического воздействия при 523 К	54
<b>Фокеева Марина Павловна, Резвова Мария Александровна.</b> Получение и исследование свойств полидофаминовых покрытий на поверхности криогелей поливинилового спирта	58
<b>Гарифуллин Гайрат Вагизович.</b> Определение фенолов в объектах окружающей среды методом ВЭЖХ	62
<b>Чирикова Злата Сергеевна.</b> Определение полициклических ароматических углеводородов в снеговом покрове методом ВЭЖХ	64
<b>Романова Анастасия Евгеньевна, Ушакова Елена Сергеевна.</b> Разработка технологической схемы получения магнетитового ядра для применения в производстве сорбентов	66

## **ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

<b>Захарова Ксения Евгеньевна.</b> Влияние откола на скорость гидратации твердого тела	70
<b>Винодиктов Павел Олегович.</b> Мониторинг загрязнения воздуха углекислым газом	73
<b>Машкин Александр Николаевич.</b> Разделение спиртовой фракции производства капролактама методом фракционной перегонки	76
<b>Яковлев Сергей Андреевич.</b> Получение феррита меди из основного карбоната и оценка его применимости для каталитической очистки воды	79
<b>Гостева Татьяна Сергеевна.</b> Исследование диссоциации галловой кислоты методами УФ-вид спектроскопии	83
<b>Гусева Юлия Дмитриевна, Хобец Алёна Валерьевна.</b> Влияние электрического поля на водные растворы неорганических солей	85
<b>Рогалева Ульяна Алексеевна, Смолина Анна Андреевна, Ковалев Матвей Павлович.</b> Релаксация механической памяти в кристаллах азида серебра в электрическом п	87
<b>Земченков Данил Алексеевич, Дьяков Василий Михайлович, Карташев Дмитрий Денисович.</b> Управление долговременной стабильностью активных энергетических материалов	91
<b>Зинчук Оксана Максимовна.</b> Синтез наноструктурированных материалов на основе оксида цинка и исследование их фотокаталитических свойств	94
<b>Улмасов Бахтиер Бахромжонович.</b> Трансформации ГЦК-фазы в системе Fe–Pt при нагревании	98
<b>Журавлева Дарья Александровна, Галкина Елена Владимировна.</b> Кинетические закономерности лазерного инициирования тэна, содержащего наночастицы со структурой «ядро-оболочка»	102
<b>Цыганенко Ксения Игоревна, Андреева София Андреевна.</b> Получение наноразмерных полиметаллических порошков Fe-Co-Ni и изучение практически актуальных свойств	104
<b>Новиков Максим Сергеевич.</b> Получение электродных нанокомпозитов состава пористая углеродная матрица - оксид металла методом терморазложения соединений переходных металлов	107
<b>Акулова Инна Андреевна, Иванов Алексей Владимирович.</b> Способы получения феррита цинка	112
<b>Исина Карина Тыштыковна, Стасенко Алиса Андреевна.</b> Получение глицината меди механохимическим способом	114

## **ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА. МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ**

<b>Ломонова Полина Владимировна, Чушев Александр Викторович.</b> Электронные материалы «Олимпиадное программирование».	117
<b>Теплякова Дарья Вячеславовна, Чушев Александр Викторович.</b> Международные, аналитические задачи на платформе 1С	122
<b>Ануфриев Данил Алексеевич.</b> Численное решение задачи со свободной границей, возникающее при фильтрации на плоском фильтровальном элементе	125
<b>Алексеева Любовь Андреевна, Ротанова Диана Дмитриевна.</b> Междисциплинарные связи в решении нестандартных задач по математике и информатике	129
<b>Григорьева Анна Евгеньевна.</b> Применение метода Смита для построения	133

модели динамического звена 1 порядка	
<b>Земляков Виталий Николаевич.</b> Преемственность обучения информатике на уровне высшего, среднего профессионального образования и среднего общего образования	137
<b>Караулова Ксения Руслановна.</b> Расчет риска возникновения чрезвычайной ситуации при разгерметизации резервуара с метаном	140
<b>Кохась Марина Евгеньевна.</b> Решение «в целом» задачи коши для уравнения эйконала	143
<b>Куртукова Виктория Витальевна.</b> Программные средства как обучающие системы	147
<b>Кутовая Анастасия Сергеевна.</b> Комбинированный блочный алгоритм шифрования с открытым ключом на базе эллиптической кривой	151
<b>Малеев Дмитрий Алексеевич, Хетеева Элина Эльбрусевна.</b> Численное исследование характеристик вторичного течения в артериях с патологической извитостью	155
<b>Маслобоев Илья Алексеевич.</b> Расширение функциональности систем управления образовательным контентом	159
<b>Матвиенко Таисия Андреевна.</b> Организация исследовательской деятельности в 7-9 классах на тему «свойства биссектрис в равнобедренном треугольнике»	163
<b>Назарова Софья Вадимовна.</b> Применение шифра Виженера в олимпиадных заданиях по математике и криптографии для школьников	166
<b>Оптовец Арина Павловна.</b> Применение статистических методов для анализа данных внутренних аудитов	170
<b>Соколова Анастасия Юрьевна.</b> Левоинвариантные кэлэровы и полукэлэровы структуры на шестимерных неразрешимых группах Ли	174
<b>Степанова Анастасия Александровна.</b> Обучение школьников профильных классов теме «Многогранники» с использованием современных информационных технологий	178
<b>Чернова Карина Владиславовна.</b> Геометрические структуры на нильпотентных несимплектических группах Ли	182
<b>Роксина Екатерина Павловна.</b> Математическое моделирование распространения фронта низового пожара	186
<b>Носкова Софья Ивановна, Дербилова Виктория Павловна.</b> Исследование сеточной независимости численных расчётов вторичного течения в каротидном синусе	189
<b>Коробейникова Екатерина Дмитриевна.</b> Современные инструменты для разработки интерактивных обучающих материалов	193
<b>Волчанина Алина Васильевна.</b> Инструменты дистанционного обучения в высшей школе	197

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

УДК 53:372.853

## ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕМЫ «ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ» В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ

*Аширов М.Б.*

ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»

[ashirovmirlan956@gmail.com](mailto:ashirovmirlan956@gmail.com)

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются особенности преподавания тепловых явлений в школьной курсе физики, даны общие характеристики темы «Тепловые явления», показана важность изучения физики в наше время, через межпредметные связи подчеркивается важность углубленного изучения тепловых процессов для решения современных экологических и технических задач, обсуждается также значимость практических лабораторных работ и демонстрационных экспериментов для эффективного обучения школьников и развития их аналитических и практических навыков. Изучение тепловых явлений является важной частью курса физики в основной школе, где учащиеся начинают знакомиться с основными принципами теплопередачи и термодинамики. В данной работе рассматриваются основные концепции тепловых явлений, их значения и применения в повседневной жизни. Учащиеся осваивают понятия теплопроводности, теплоотдачи и теплоизоляции. Они узнают, что тепло — это форма энергии, которая может переноситься из одного объекта в другой различными способами, такими как проведение, конвекция и излучение. Дети изучают, как тепловое расширение влияет на размеры тел при изменении температуры. Изучение тепловых явлений в физике тесно связано с другими научными дисциплинами, такими как химия, биология и технология. Понимание основ теплопередачи и термодинамики способствует развитию межпредметных связей, которые оказываются полезными для учащихся. Химия: В рамках уроков химии учащиеся изучают тепловые реакции, в том числе эндотермические и экзотермические процессы. Знание о тепловых явлениях помогает понять, как тепловая энергия влияет на химические реакции и изменение состояния веществ. Биология: В биологии учащиеся изучают тепловые процессы в организмах, такие как терморегуляция и обмен теплом. Понимание тепловых явлений помогает объяснить, как живые организмы поддерживают постоянную температуру тела и адаптируются к изменениям окружающей среды. Технология: В контексте технологии изучается применение тепловых явлений в различных устройствах и системах, таких как отопление, кондиционирование воздуха, холодильные установки и тепловые двигатели. Понимание теплопередачи и термодинамики помогает учащимся понять принципы работы этих технологий. Межпредметные связи позволяют учащимся видеть целостную картину природных и научных процессов. Изучение тепловых явлений не только способствует формированию физической грамотности, но и развивает умение применять научные знания в реальной жизни и в других учебных предметах.

**Ключевые слова:** тепловые явления, методика преподавание физики, современное образование, современные технологии, роль физики, особенности тепловых явлений межпредметные связи.

Изучение физики остается крайне актуальным и важным в наше время по многим причинам. Физика способствует научному и технологическому прогрессу и формирует основы для решения сложных задач современности и будущего. Физика является основой для понимания мира вокруг нас — от макроскопических объектов, таких как планеты и звезды, до микроскопического мира атомов и элементарных частиц.

Современные технологии и инновации тесно связаны с физическими принципами. Разработка новых материалов, электроники, медицинского оборудования, энергетических систем и прочих технологий требует глубокого понимания физики.

Изучение физики развивает критическое мышление, логическое мышление и навыки решения проблем. Эти навыки ценны не только для научных и инженерных профессий, но и для успешной адаптации к изменяющемуся миру и развития личности. Изучение физики должно быть разносторонним и многообразным, потому что это позволяет лучше усваивать и понимать сложные концепции и законы природы. Когда мы говорим о теоретическом изучении, мы погружаемся в основные принципы и модели, которые объясняют физические явления. Это дает нам теоретическую базу для понимания, но для того чтобы убедиться в достоверности этих теорий и законов, необходимо проводить эксперименты. Эксперименты позволяют наблюдать реальные физические процессы и проверять наши гипотезы.

Визуализация играет также важную роль в изучении физики. Рисунки, диаграммы, модели и анимации помогают нам визуализировать абстрактные концепции. Например, модели позволяют нам изучать волновые процессы или электромагнитные поля, которые не видны невооруженным глазом. Интерактивные инструменты и анимации добавляют элемент интерактивности в процесс обучения. Они позволяют учащимся самостоятельно исследовать физические явления и взаимодействовать с ними, что способствует глубокому пониманию.

В целом, разнообразные методы изучения физики не только обогащают образовательный процесс, но и развивают различные навыки, такие как аналитическое мышление, визуализация, творческое мышление и применение знаний на практике. Это делает изучение физики более эффективным, интересным, применимым в различных областях жизни и научных исследований.

**Общая характеристика темы «Тепловые явления»:** первая тема курса физики 8 класса; в учебнике, время изучения: 19-24 ч. Главное внимание в базовом курсе физики обращается на выделение физических явлений и на их описание простейшими средствами. Поэтому характерным является название многих тем и явлений. Отсюда требование: явления должны быть хорошо показаны, выделены, свойства их описаны. Эксперимент присутствует на каждом уроке. В теме совершенствуются молекулярно-кинетические представления.

**Цели изучения темы.** При достижении познавательных целей ключевыми являются вопросы: «Что такое тепловое движение? Какие явления называют тепловыми? Что называют внутренней энергией? Как можно изменить внутреннюю энергию? Как определить количество теплоты, переданного от одного тела другому? В чем заключаются явления плавления (кристаллизации, испарения и др.)? Как изменяется вещество при переходе из одного агрегатного состояния в другое?».

При достижении целей рассматриваются вопросы: чем отличается тепловое движение от механического? Какова причина перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое? Каково значение тепловых явлений в природе, технике, быту? Как закон сохранения энергии подтверждает идею о неумираемости движения материи? В каких случаях испарение играет полезную роль? Каково значение явления конденсации (плавления и др.) в природе? Каковы причинно-следственные связи при демонстрации опыта?

**Особенности изучения тепловых явлений в школьной программе:**

1. *Визуализация и демонстрации.* Учитель использует различные демонстрационные эксперименты и модели, чтобы наглядно показать тепловые явления, такие как теплопроводность, конвекция и излучение. Это помогает учащимся лучше понимать абстрактные концепции через конкретные примеры.

2. *Практические опыты.* Проводятся практические опыты, включающие измерение теплопроводности материалов, температурных изменений и других параметров, связанных с теплом. Это позволяет ученикам самостоятельно исследовать тепловые явления и получать практический опыт.

3. *Использование примеров из повседневной жизни.* Учитель предлагает подумать учащимся на предмет связи изучаемых явлений с реальными ситуациями из повседневной жизни учеников. Например, объясняя теплопроводность, можно использовать примеры такие как распространение тепла через посуду или стены дома.



4. *Интерактивные учебные материалы.* С использованием современных технологий учитель может предоставлять интерактивные учебные материалы, такие как анимации, симуляции и виртуальные лаборатории. Это помогает ученикам лучше понимать сложные концепции и проводить виртуальные эксперименты.

5. *Обсуждение и объяснение концепций.* Важной частью изучения тепловых явлений является обсуждение и объяснение физических концепций учителем. Это помогает ученикам уяснить ключевые идеи и применить их к решению задач.

**Демонстрационные опыты** хорошо помогают ученикам закрепить теоретические знания:

1. *Демонстрация теплопроводности.* Учитель может продемонстрировать различия в скорости теплопроводности разных материалов. Например, можно использовать металлическую пластину, одну сторону которой нагревают, чтобы ученики увидели, как быстро тепло распространяется через материал.

2. *Измерение коэффициента теплопроводности.* В лабораторной работе ученики могут измерять коэффициент теплопроводности различных материалов. Это можно сделать, например, с помощью простого эксперимента с пластинами разных материалов и тепловым источником.

3. *Демонстрация конвекции.* Конвекцию можно продемонстрировать с помощью эксперимента с подогреванием жидкости в сосуде. Ученики увидят, как теплая жидкость поднимается, а холодная опускается, образуя циркуляцию.

4. *Изучение излучения тепла.* С помощью демонстрационных моделей или простых устройств (например, инфракрасной камеры или термометра) можно показать различия в излучении тепла различными объектами или поверхностями.

5. *Изучение тепловых процессов вещества.* Лабораторные работы могут включать изучение изменения температуры при нагревании или охлаждении различных веществ. Это позволяет ученикам понять теплоемкость и изменения фазы вещества.

**Межпредметные связи тепловых явлений** охватывают широкий спектр научных и учебных областей, что делает изучение теплопередачи особенно ценным:

-*Химия.* Тепловые явления существенно влияют на скорость химических реакций. Увеличение температуры повышает кинетическую энергию молекул, что способствует преодолению энергии активации и ускоряет реакции. Это принципиально важно при проектировании процессов синтеза в химической промышленности.

-*География.* Изучение тепловых явлений необходимо для понимания теплового баланса Земли и распределения тепла по поверхности планеты. Тепловой поток из Солнца и тепловые потоки между атмосферой, океанами и сушей определяют климатические зоны, погодные явления и изменения климата.

-*Биология.* Животные регулируют свою температуру с помощью физиологических механизмов, таких как потоотделение или дрожание мышц. Понимание тепловых процессов в организмах помогает объяснить, как животные адаптируются к различным климатическим условиям.

-*Технологии.* Научные основы работы тепловых электростанций, двигателей внутреннего сгорания, холодильных машин. Принцип работы солнечных панелей и калориферов основан на преобразовании солнечного излучения в электрическую и тепловую энергию. Это пример использования тепловых явлений в технологических процессах для получения возобновляемой энергии. Принципы теплообмена используются при разработке систем отопления, кондиционирования воздуха, теплообменников и холодильных установок. Понимание тепловых явлений необходимо для эффективного проектирования и эксплуатации таких систем.

-*Экология.* Температура оказывает влияние на распределение растений и животных, характеристики водных экосистем (например, тепловой режим водоемов) и процессы разложения органического материала. Изменения в температурных режимах могут существенно влиять на биологическое разнообразие и функционирование экосистем.

Почему важно ученикам привести такие связи с другими предметами и окружающим нас миром? Потому, что очень важно чтобы они тепловые явления которые изучают в школе связывали с животным миром, с технологиями и с природой. Чтобы они не только знали физические термины, определения и понятия, но и наука не была в отрыве от жизни.

Тепловые явления важная часть физики. Важно чтобы, ученики правильно поняли основные положения и что тепловые явления играют значимую роль в нашей повседневной жизни. Изучение тепловых явлений в школе имеет широкие приложения и практическую значимость, помогая учащимся расширить свои знания о мире и подготовиться к будущим научным и инженерным вызовам...

#### **Литература и источники**

1. Молекулярная физика и термодинамика методика преподавание. Бухарова Г.Д. Изд: ЮРАЙТ, 2024 - 221с.

2. Теория и методика обучения физике. Сауров Ю.А. , Уварова М.П. Издательство: ЮРАЙТ, 2024 - 290с.

3. Физика. 8 класс: учебник Перышкин А.В. / Издательство: Экзамен, 2022. -271.

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

**Аннотация:** NLO активные кристаллы применяются для генерации второй гармоники лазерного излучения в инфракрасном диапазоне. Они могут быть использованы для создания новых материалов с уникальными оптическими свойствами, таких как метаматериалы и метаповерхности. Нелинейно-оптические кристаллы (NLO) играют важную роль в преобразовании частоты и широко используются в различных приложениях, связанных с лазерами. Теория кристаллов NLO включает изучение их структуры и оптических свойств, таких как нелинейная восприимчивость, генерация гармоник и параметрическое преобразование частоты. NLO кристаллы имеют высокую оптическую нелинейность и способны генерировать вторую гармонику при воздействии на него лазерного излучения, поэтому широко применяются в квантовой электронике, оптике, медицине. Такими свойствами обладает кристалл  $\text{Sr}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$ , который был недавно синтезирован и пока имеются ограниченные экспериментальные исследования, а теоретические расчеты отсутствуют. Поэтому в настоящей работе рассчитаны из первых принципов теории функционала плотности с помощью пакета CRYSTAL параметры элементарной ячейки, спектры инфракрасного и комбинационного рассеяния этого кристалла. Для расчетов определены следующие функционалы: GGA: PBE, PBESOL, BLYP, глобальные гибридные: PBE0, B3LYP, который сочетает в себе 20% HF обмен у с обменно-корреляционным функционалом B3, гибридные функционалы с разделенными диапазонами: HSE06, HSESOL, с дисперсионной добавкой PBE-D3 и BLYP-D3. Показано, что структура симметрии  $P-62m$  является слоистой: два атома стронция и нитрогруппа  $\text{NO}_3$  располагаются в плоскости  $z=0$ , тогда как гидроксильные группы OH в плоскости  $z=c/2$ . В инфракрасном спектре самой интенсивной является мода  $\nu_3$ , образованная внутримолекулярными колебаниями в нитрат-иона. В рамановском спектре доминирует мода с числом  $3721.5 \text{ см}^{-1}$ , образованная колебаниями атомов водорода в группе OH.

**Ключевые слова:** Структура, кристаллы, инфракрасные спектры, рамановские спектры, компьютерное моделирование, теория функционала плотности

NLO активные кристаллы применяются для генерации второй гармоники лазерного излучения в инфракрасном диапазоне. Они могут быть использованы для создания новых материалов с уникальными оптическими свойствами, таких как метаматериалы и метаповерхности. Нелинейно-оптические кристаллы (NLO) играют важную роль в преобразовании частоты и широко используются в различных приложениях, связанных с лазерами [1]. Новый гидрат нитрата стронция  $\text{Sr}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$  был синтезирован гидротермальным методом [2]. Кристаллизуется в гексагональную кристаллическую систему с ацентрической пространственной группой симметрии  $P\bar{6}2m$  и имеет ширину запрещенной зоны 3,72 эВ. На основе первопринципных расчетов с использованием программы CRYSTAL исследованы параметры элементарной ячейки рассчитаны спектры инфракрасного и комбинационного рассеяния кристалла  $\text{Sr}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$ , произведен анализ сравнения результатов с экспериментальными данными.

### Метод расчета

В работе использовался метод компьютерного моделирования с применением теории Хартри – Фока (HF) и теории функционала плотности, который реализован в программном коде CRYSTAL [3]. Для расчетов определены следующие функционалы: GGA: PBE, PBESOL, BLYP, глобальные гибридные: PBE0, B3LYP, который сочетает в себе 20% HF обмен у с обменно-корреляционным функционалом B3, гибридные

функционалы с разделенными диапазонами: HSE06, HSE06, с дисперсионной добавкой PBE-D3 и BLYP-D3. Точность процедуры самосогласования составила  $10^{-9}$  а.е.

### Результаты и обсуждения

В процессе оптимизации геометрии кристалла были получены следующие параметры: постоянные решетки  $a$  и  $c$ , объем  $V$  и расстояния между атомами. В элементарной ячейке содержится один неэквивалентный атом Sr, два неэквивалентных атома  $O_1$  и  $O_2$  с расстоянием  $Sr - O_1 = 2.798 \text{ \AA}$ ,  $Sr - O_2 = 2.626 \text{ \AA}$  один неэквивалентный атом N и один неэквивалентный атом H. Длина связи  $N - O_1$  равна  $1.254 \text{ \AA}$ , а  $N - O_2 = 0.819 \text{ \AA}$ . Особенностью этих соединений является наличие двух функциональных групп: нитрогруппы  $NO_3$  и гидроксид  $OH^-$ , которые и образуют два слоя. Установлено, что наименьшее среднеквадратичное отклонение результатов расчета от экспериментального значения [3] получено для PBE0 и HSE06 функционала и оно составило 2.6%.

Для исследования сложных кристаллических систем широко используется ИК спектроскопия и комбинационное рассеяние (КР) света.

Валентное колебание гидроксидной группы наблюдается в диапазоне от  $3000$  до  $3600 \text{ см}^{-1}$ , в зависимости от прочности связи. Отклонение частоты колебаний на  $3600 \text{ см}^{-1}$  указывает на наличие водородных связей O-H. Для нитратной группы с симметрией  $D_{3h}$  характерные частоты колебаний составляют около  $E^*$   $1400 \text{ см}^{-1}$ ,  $A_1'$   $1050 \text{ см}^{-1}$ ,  $A''_2$   $830 \text{ см}^{-1}$  и  $E^*$   $720 \text{ см}^{-1}$ , где  $E^*$  и  $A''_2$  являются ИК-активными колебаниями. Спектр кристалла  $Sr_2NO_3(OH)_3$  показывает две отчетливые полосы с частотами колебаний  $3557$  и  $3534 \text{ см}^{-1}$ , которые могут быть отнесены к двум кристаллографически различным гидроксидным группам [3].

Таблица 1 – Расчет частот кристалла Sr<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>(OH)<sub>3</sub> в инфракрасном и комбинационном спектре

Неприводимые представления P <sub>6</sub> 2 m	ИК		КР	
	B3LYP	PBE0	B3LYP	PBE0
E''	-	-		169.2
	-	-	270.4	268.1
	-	-	437.4	584.0
E'	132.9	139.6	132.9	139.6
	170.7	172.1	170.7	172.1
	279.9	272.5	279.9	272.5
	310.8	303.8	310.8	303.8
	555.5	649.3	555.5	649.3
	737.6	726.2	737.6	726.2
	1568.0	1452.3	1568.0	1452.3
	3936.4	3866.5	3936.4	3866.5
A' <sub>1</sub>	-	-	235.5	234.2
	-	-	1164.1	1078.8
	-	-	3942.2	3871.7
A'' <sub>2</sub>	255.8	227.1	-	-
	816.3	806.1	-	-
	963.0	969.7	-	-

Таким образом, сравнивая теоретические данные и экспериментальные, можем сделать вывод о том, что результаты расчетов совпадают, значения практически одинаковые, это объясняет то, что данная компьютерная модель расчета может быть использована для дальнейших изучений свойств кристалла Sr<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>(OH)<sub>3</sub>.

В гидроксиде 7 оптических внутримолекулярных колебаний симметрии E' и A'<sub>1</sub>. В КР колебательная мода A'<sub>1</sub> с числом 3942.2 см<sup>-1</sup>, наоборот, является самой интенсивной - 100%, против 66.6% для E' с числом 3936.4 см<sup>-1</sup>. Именно эта очень большая интенсивность объясняет скудность спектра КР, где выделяется полоса ν<sub>1</sub> при 1164.1 см<sup>-1</sup> и ν<sub>4</sub> при 737.6 см<sup>-1</sup>.

В ИК самой интенсивной модой является ν<sub>3</sub> (1659.82 км/моль, 100%) и мода симметрии A'<sub>1</sub>2<sup>1</sup> с волновым числом 816.3 см<sup>-1</sup>, которая образована z-колебаниями атомов гидроксида с подавляющим вкладом в фононную плотность от водорода. Мода ν<sub>2</sub> той же симметрии имеет несравнимо меньшую интенсивность. Моды симметрии E', которые образуют три другие интенсивные в ИК полосы по мере убывания частоты относятся к вращению гидроксидной группы, трансляции OH и NO<sub>3</sub> и вклад стронция становится определяющим только для волнового числа 170.7 см<sup>-1</sup>.

Компьютерное моделирование структуры и колебательных спектров соответствует экспериментальным значениям, таким образом, эти методы могут использоваться для дальнейшего изучения свойств этих соединений.

#### Литература и источники

1. K. C. Senthil, E. Chinnakannu, M. Srinivasan, J. J. Gnanapragasam/ Recent Advances in Infrared Nonlinear Optical Crystal // Crystal Growth - Technologies and Applications. - 2022. DOI:10.5772/intechopen.108173
2. L.Lili, Y. Yun, L. Linping, Y. Zhihua, P. Shilie/ SrNO<sub>3</sub>(OH)·H<sub>2</sub>O: A new member in strontium nitrate hydrate family with a ultraviolet cut-off edge : Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – 695, 1719–1724. DOI:10.1016/j.jallcom.2016.11.001

3. **S. Dill, K. Gibson, J. Glaser, S. Tragl, H.-J. Meyer** /Synthesis and structure of the basic alkaline earth nitrates  $\text{Sr}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$  and  $\text{Ba}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$  // ChemInform, 2007. – 633(2), 274–279. DOI:10.1002/chin.200713020
4. **R. Dovesi, V. R. Saunders, C. Roetti, R. Orlando, C. M. Zicovich-Wilson, F. Pascale, B. Civalleri, K. Doll, N. M. Harrison, I. J. Bush, P. D'Arco, M. Llunell, M. Causà, Y. Noël, L. Maschio, A. Erba, M. Rerat and S. Casassa** / CRYSTAL17 User's Manual (University of Torino, Torino, 2017).

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

## ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ФИЗИКЕ В ОСНОВНОЙ И СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

*Кривоухов И. Д.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[ilya@krivoukhov.ru](mailto:ilya@krivoukhov.ru)

**Аннотация:** Формирование представлений о естественнонаучной картине и развитие навыков анализа становятся неотъемлемой частью физического образования. В работе представлен анализ различий между проектной и исследовательской деятельностью в контексте образования с целью уточнения концепций и предотвращения путаницы при выборе тем для проектов. Особое внимание уделяется разработке программы "Проектная и научно-исследовательская деятельность по физике" для учащихся основной и средней школы, подходящей для индивидуального занятия с учеником как на дому, так и в условиях дистанционного обучения. Проблема профессионального самоопределения выпускников обсуждается в контексте профориентационной работы школы, где проектная деятельность помогает выявить способности и особенности учеников, оказывая влияние на выбор будущей профессии. Авторы подчеркивают важность четкого различия между проектной и исследовательской деятельностью, а также различных требований к их организации и оценке результатов. В работе предлагается серия вопросов, направленных на уточнение целей, этапов работы, методов и критериев оценки, а также обсуждается поддержка, которую может предоставить учитель. Приводятся примеры проектной и научно-исследовательской работы для учащихся 7 и 9 классов, что помогает иллюстрировать различия и сходства между этими видами деятельности. В заключение, подчеркивается значимость осознанного различения и применения знаний о проектной и исследовательской деятельности как ведущей профессиональной компетенции учителя, так и метапредметной компетенции учащегося. Такие виды деятельности играют важную роль в освоении образовательной программы, способствуя развитию творческих способностей и получению новых знаний учащимися.

**Ключевые слова:** Проектная, исследовательская деятельность, образование, профориентация, ФГОС, учебный процесс, школьники

Формирование представлений о естественнонаучной картине – составная часть физического образования. Существует множество различных подходов исследователей и практиков на организацию проектной деятельности обучающихся. Чаще всего обращают внимание на отдельные проблемы при организации проектной работы и показывают применение конкретных положений к определённым условиям, возрасту детей, учебным предметам, видам их деятельности [1].

В работе проведен анализ различий между проектной и исследовательской деятельностью в контексте образования, чтобы помочь учителям и учащимся четче понимать эти концепции и избежать путаницы при выборе тем для проектов, учитывая их характер и особенности. Разработана программа «Проектная и научно-исследовательская деятельность по физике» для учащихся основной и средней школы. Программа подразумевает как индивидуальную работу учащихся, так и групповые проекты, подходит при реализации в условиях надомного или дистанционного обучения.

Проблема профессионального самоопределения актуальна, особенно для выпускников основной и средней школы. Школа должна помогать им сделать выбор образования и профессии с учётом способностей, и в этом помогает профориентационная работа [2]. А проектная деятельность развивает познавательные и коммуникативные навыки, а социально значимая деятельность позволяет выявить особенности характера и поведения ребёнка, что может пригодиться при выборе профессии [1].

ФГОС побуждает педагогов уже с начальной школы выстраивать систему проектного обучения. Введение в учебный процесс методов и технологий проектной деятельности должно помочь ученикам приобрести вышеперечисленные навыки. Предполагается, что,

выполняя проектную работу, школьники станут более инициативными и ответственными, повысят эффективность учебной деятельности, приобретут дополнительную мотивацию. Поэтому обретение опыта проектной деятельности является одним из требований ФГОС [2].

Исследовательская и проектная деятельность имеют много общего. Обе они являются самостоятельной и, следовательно, поисковой деятельностью школьников. Ключевое слово "поиск" (его синонимы: испытание, исследование, нахождение, обретение, открытие и другие) привело к смешению понятий "исследовать" и "проектировать". Проект – это деятельность для решения конкретной проблемы и достижения желаемого результата. Проектная деятельность обучающихся — совместная учебно-познавательная, творческая или игровая деятельность обучающихся, имеющая общую цель, согласованные методы, способы деятельности, направленная на достижение общего результата деятельности. Исследовательская же деятельность предполагает выполнение учебных задач, связанная с решением творческой, исследовательской задачи с заранее неизвестным решением и предполагающая наличие основных этапов, характерных для исследования в научной сфере.

В условиях обучения исследовательской и проектной деятельности необходимо четко различать эти виды деятельности и предъявлять разные требования к их организации. Также важно определить разные критерии оценки результативности каждого из этих видов деятельности.

Именно умение осознанно различать исследовательскую и проектную деятельность, а также применять знание этих различий на практике является ведущей профессиональной компетенцией учителя и метапредметной компетенцией учащегося [5].

Предложены вопросы для классификации проектов по основным признакам :

1. Какова цель работы: углубить понимание и развить навыки анализа (исследовательская) или реализовать проект или решить конкретную проблему (проектная)?

2. Какие этапы работы планируется провести: постановка проблемы, сбор и анализ информации, выработка выводов (исследовательская) или планирование, проектирование, реализация (проектная)?

3. Какие методы будут использоваться: наблюдение, эксперименты, анализ данных (исследовательская) или проектирование, моделирование, разработка конкретных решений (проектная)?

4. Критерии оценки работы: точность постановки вопроса, глубина анализа (исследовательская) или соответствие целям проекта, качество реализации (проектная)?

5. Какая поддержка будет предоставлена вашим учителем: разъяснения, предоставление примеров (исследовательская), организация совместных проектов (проектная)?

Рассмотрим примеры проектной и научно-исследовательской работ для учащихся 7 и 9 класса.

Проект: «Беспроводная передача электроэнергии через воздушные среды»

Задача — воссоздать упрощенный вариант беспроводного передатчика электромагнитной энергии, используя принципы электромагнитной индукции. Цель - экспериментальное получение электромагнитного излучения, добиться успешной передачи энергии от передатчика к приемнику и убедиться в возникновении электрического тока в приемнике. Для достижения цели проекта ученик теоретически изучил главу «Электромагнитное поле» из курса 9 класса, принципы работы транзисторов, а затем собрал и проверил электрическую цепь для передачи электромагнитной энергии.

Научно-исследовательская работа: «Звук можно увидеть».

В исследовательском проекте была рассмотрена важность звука в нашей жизни и предложен метод визуализации звуковых волн в твердом теле. Цель проекта - получение визуальной картины звуковых волн различных частот и выявление зависимости длины волны от длины резонатора. Методика включала использование поролон, бумаги и кристалликов марганцовокислого калия для визуализации звука. Результаты опытов подтвердили возможность получения визуальных картин звуковых волн, была получена зависимость длины волны от длины резонатора.



Таким образом, мы видим различие между проектной и исследовательской деятельностью. Научно-исследовательская и проектная деятельность играют важную роль в освоении общеобразовательной программы, получению новых знаний, способствуют творческому развитию учащихся.

#### **Литература и источники**

1. Байбородова Л. В. Проектная деятельность школьников в разновозрастных группах: пособие для учителей общеобразовательных организаций / Л.В. Байбородова. – М. : Просвещение, 2013. – 175с с.
2. Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС), URL: <https://fgos.ru/>
3. Байбородова Л. В., Серебренников Л. Н. Проектная деятельность как средство профессионального самоопределения школьников // Ярославский педагогический вестник. 2014. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektnaya-deyatelnost-kak-sredstvo-professionalnogo-samoopredeleniya-shkolnikov>.
4. Сергеев И.С. Как организовать проектную деятельность учащихся. Практическое пособие для работников школ / И.С. Сергеев. – москва : АРКТИ, 2020. – 80 с.
5. Уткина Т. В. Проектная и исследовательская деятельность: сравнительный анализ / Т. В. Уткина. – Челябинск : ЧИППКРО, 2018. – 60 с.

*Научный руководитель – к.х.н., доцент Швайко Ирина Львовна, ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

**ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКОГО  
КАРКАСНОГО КРИСТАЛЛА MIL-53(Al)***Мелкозерова Е.Е.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[katya.melkozerova.01@mail.ru](mailto:katya.melkozerova.01@mail.ru)

**Аннотация:** В настоящее время большой интерес в экспериментальном и теоретическом материаловедении вызывает новый класс гибридных функциональных материалов – металлоорганических каркасов (МОК). Особенности строения МОК обуславливают их характерные функциональные свойства: низкую плотность, высокую пористость в сочетании с дальним порядком в размещении пор фиксированного размера, наличие многочисленных открытых каналов, большую площадь активной поверхности и варьируемый размер пор, открывая перспективы для накопления газов, очистки и разделения жидкостей, катализа и др. В данной работе было исследовано влияния давления на кристаллическую структуру металл-органического каркасного кристалла MIL-53(Al). При оптимизации геометрии использовался обменно-корреляционный функционал PBE. В работе исследовано влияние давления на кристаллическую структуру металл-органического каркасного кристалла MIL-53(Al) при интервале от 0 до 0,03 ГПа. Параметр решетки  $a$  изменяется с 6,70272153 до 6,70040624 Å с увеличением давления  $p$  до 0,03 ГПа. Это говорит о том, что параметр решетки  $a$  сжимается на 0,0345 % при увеличении давления на 0,03 ГПа. Параметр решетки  $b$  резко возрастает при давлении 0,01 ГПа и постепенно увеличивается при увеличении давления  $p$  (отрицательная линейная сжимаемость). Данный параметр расширяется на 2,3% при увеличении давления на 0,03 ГПа. График зависимости объема элементарной ячейки  $V$  от давления  $p$  показывает уменьшение объема ячейки металлоорганического каркасного кристалла при увеличении давления. Кристалл претерпевает сжатие на 2,08 %. Таким образом, вычисленные зависимости параметров решетки от давления сообщают нам о том, что даже при относительно малых давлениях  $\sim 0,03$  ГПа металл-органический каркасный кристалл MIL-53(Al) ведет себя как своего рода «винный стеллаж» и демонстрирует сжатие в направлении оси  $a$  и отрицательную линейную сжимаемость вдоль оси  $b$ .

**Ключевые слова:** Кристалл, MIL-53(Al), давление, кристаллическая структура, отрицательная линейная сжимаемость

В настоящее время большой интерес в экспериментальном и теоретическом материаловедении вызывает новый класс гибридных функциональных материалов – металлоорганических каркасов (МОК) [1]. Особенности строения МОК обуславливают их характерные функциональные свойства: низкую плотность, высокую пористость в сочетании с дальним порядком в размещении пор фиксированного размера, наличие многочисленных открытых каналов, большую площадь активной поверхности и варьируемый размер пор, открывая перспективы для накопления газов, очистки и разделения жидкостей, катализа и др. Давление является важным фактором, влияющим на кристаллические структуры МОК. Понимание влияния давления на кристаллическую структуру MIL-53(Al) [2] имеет важное значение для оптимизации свойств и расширения его потенциальных применений. Компьютерное моделирование на основе квантово-механических расчетов в последние годы активно применяется для изучения влияния давления на структуру кристаллов. Поэтому **целью** настоящей работы являлось первопринципное исследование влияния давления на кристаллическую структуру металл-органического каркасного кристалла MIL-53(Al).

Первопринципные расчеты атомной структуры выполнены с помощью программы CRYSTAL [3]. В вычислениях использовались базисные наборы атомных орбиталей. При оптимизации геометрии использовался обменно-корреляционный функционал PBE [4]. При первопринципном определении кристаллической структуры допускалась релаксация всех атомов и параметров решетки согласно алгоритму BFGS [5].

На рисунке 1 показана оптимизированная кристаллическая структура MIL-53(Al), который имеет ромбическую структуру, характеризующуюся пространственной группой *Imma*. Отличие вычисленных параметров решетки от экспериментальных не превышает 5%.

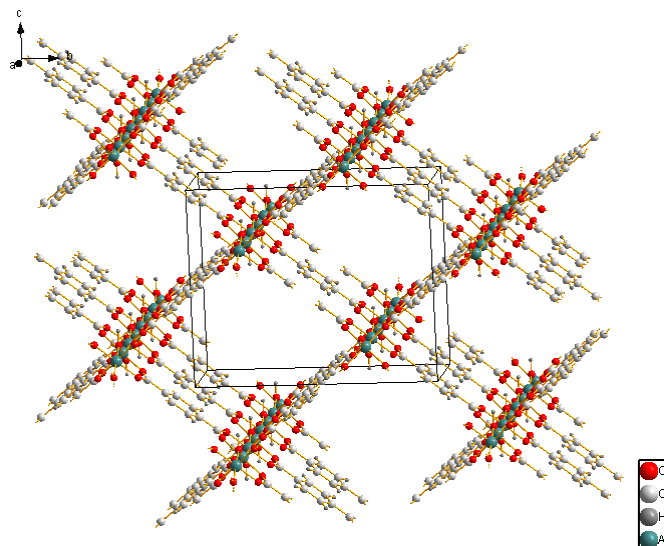


Рисунок 1. Кристаллическая структура MIL-53(Al)

На рисунках 2-5 показаны вычисленные зависимости параметров решетки и объема от давления. Параметр решетки  $a$  изменяется с 6,70272153 до 6,70040624 Å с увеличением давления  $p$  до 0,03 ГПа (рисунок 2). Это говорит о том, что параметр решетки  $a$  сжимается на 0,0345 % при увеличении давления на 0,03 ГПа. Из рисунка 3 видно, что параметр решетки  $b$  резко возрастает при давлении 0,01 ГПа и постепенно увеличивается при увеличении давления  $p$  (отрицательная линейная сжимаемость). Данный параметр расширяется на 2,3% при увеличении давления на 0,03 ГПа.

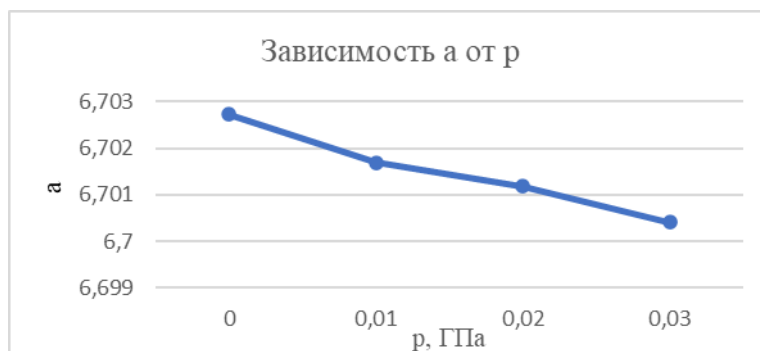


Рисунок 2. Зависимость параметра решетки  $a$  от давления  $p$

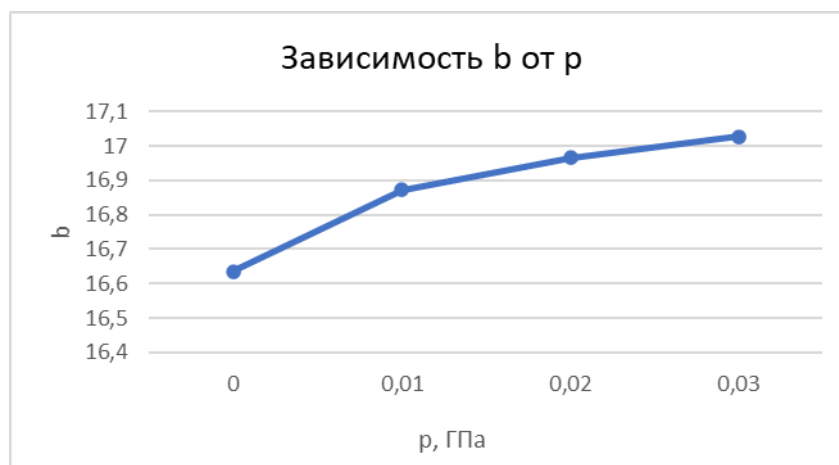


Рисунок 3. Зависимость параметра решетки  $b$  от давления  $p$

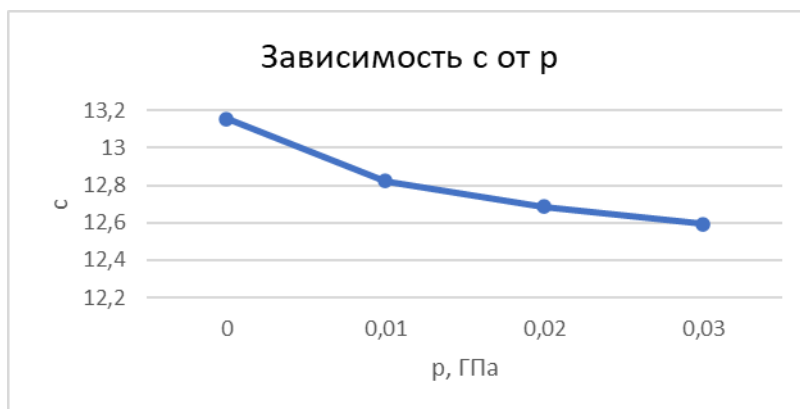


Рисунок 4. Зависимость параметра решетки  $c$  от давления  $p$

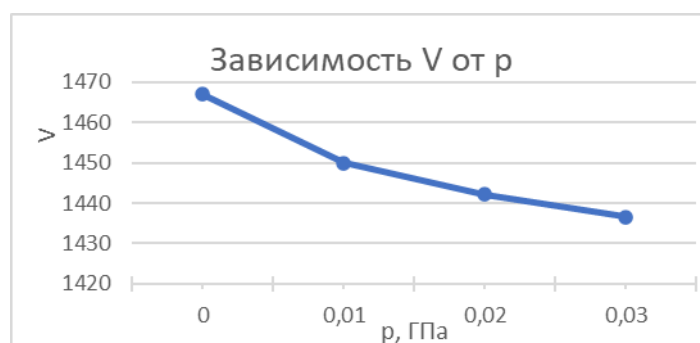


Рисунок 5. Зависимость параметра решетки  $V$  от давления  $p$

Рисунок 4 сообщает о резком сжатии параметра решетки на 4,3% с при увеличении давления  $p$  на 0,03 ГПа. График зависимости объема элементарной ячейки  $V$  от давления  $p$  показывает уменьшение объема ячейки металлоорганического каркасного кристалла при увеличении давления. Кристалл претерпевает сжатие на 2,08 %.

Таким образом, вычисленные зависимости параметров решетки от давления сообщают нам о том, что даже при относительно малых давлениях  $\sim 0,03$  ГПа металл-органический каркасный кристалл MIL-53(Al) ведет себя как своего рода «винный стеллаж» и демонстрирует сжатие в направлении оси  $a$  и отрицательную линейную сжимаемость вдоль оси  $b$ .

### Литература и источники

1. Бутова В.В., Солдатов М.А., Гуда А.А., Ломаченко К.А., Ламберти К. Металлоорганические каркасные структуры: строение, свойства, методы синтеза и анализа // Успехи химии. 2016. 85 (3) С. 280–307.
2. D.V. Korabel'nikov, Yu.N. Zhuravlev. Mater. Sci. Eng. B. 293, 116468 (2023)
3. Liu, Y., Her, J.-H., Dailly, A., Ramirez-Cuesta, A. J., Neumann, D. A., & Brown, C. M. (2008). Reversible Structural Transition in MIL-53 with Large Temperature Hysteresis. Journal of the American Chemical Society, 130(35), 11813–11818.
4. J.P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof. Phys. Rev. Lett. 77, 3865 (1996).
5. C.G. Broyden. J. Appl. Math. 6, 222 (1970).

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Корабельников Д.В., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛА МОНОГИДРАТА $\alpha$ -ЛАКТОЗЫ

Мирзоян М.А.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», АНО ПО «Колледж предпринимательских и цифровых технологий»

[monika.mirzoyan.2000@mail.ru](mailto:monika.mirzoyan.2000@mail.ru)

**Аннотация:** В настоящей работе изучены упругие свойства кристалла моногидрат  $\alpha$ -лактозы. Элементарная ячейка кристалла моногидрата  $\alpha$ -лактозы имеет симметрию  $P2_1$ . Данная форма отличается от кристалла  $\alpha$ -лактозы наличием молекул воды между молекулами лактозы. Таким образом, формируются дополнительные водородные связи. Изучение кристаллов, образованных из различных форм одной молекулы, представляет интерес, поскольку можно наблюдать изменения свойств кристаллов, вызванные изменениями структуры молекулы. Для вычисления полной энергии в рамках DFT был использован псевдопотенциальный подход с использованием базиса плоских волн. Для проведения вычислений использовался функционал Пердюю, Берка и Эрнцерхофа (PBE). Для расчетов использовались ультрамягкие псевдопотенциалы типа Рабе-Рапе-Каксираса-Джоаннопулоса. В данной работе для учета ван-дер-ваальсового взаимодействия между молекулами использовался метод vdW-DF2-B86R. Теоретические значения занижены по сравнению с экспериментальными данными. Данный факт связан с тем, что теоретический расчет соответствует  $T=0$  К, а экспериментальные значения измерены при  $T=150$  К. Таким образом, наблюдается хорошее согласие между экспериментальными и теоретическими значениями. Следовательно, вычислительная схема корректно описывает взаимодействия между молекулами в кристалле. Также в работе было исследовано влияние давления на структурные и электронные свойства кристалла, влияние давления на объем кристалла моногидрата  $\alpha$ -лактозы при интервале от 0 до 5 ГПа. Также исследовано влияние давления на ширину запрещенной зоны. Установлено, что давление 5 ГПа приводит к увеличению ширины запрещенной зоны с 8,05 до 8,107 эВ. Таким образом, кристалл моногидрат  $\alpha$ -лактозы является диэлектриком в интервале давлений 0-5 ГПа.

**Ключевые слова:** Кристалл,  $\alpha$ -лактоза, ширина запрещенной зоны, электронные свойства, давление

Механическая обработка в настоящее время используется для производства твердых фармацевтических препаратов и других химических продуктов, поэтому изучение механических свойств кристаллов лактозы представляет большой интерес.

В настоящей работе изучены упругие свойства кристалла моногидрат  $\alpha$ -лактозы. Элементарная ячейка кристалла моногидрата  $\alpha$ -лактозы имеет симметрию  $P2_1$  (рис.1). Данная форма отличается от кристалла  $\alpha$ -лактозы наличием молекул воды между молекулами лактозы. Таким образом, формируются дополнительные водородные связи. Изучение кристаллов, образованных из различных форм одной молекулы, представляет интерес, поскольку можно наблюдать изменения свойств кристаллов, вызванные изменениями структуры молекулы.

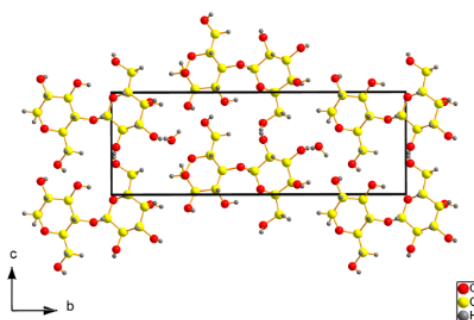


Рисунок 1. Элементарная ячейка моногидрата  $\alpha$ -лактозы

Для вычисления полной энергии в рамках DFT был использован псевдопотенциальный подход с использованием базиса плоских волн. Для проведения вычислений использовался пакет Quantum ESPRESSO (QE) с функционалом Пердю, Берка и Эрнцерхофа (PBE). Для расчетов использовались ультрамягкие псевдопотенциалы типа Рабе-Рапе-Каксираса-Джоаннопулоса. Кристаллические структуры были оптимизированы с помощью метода Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно (BFGS). Энергия обрезки плоских волн составляет 65 Ry. Использовалась схема Монкхорста-Пака с сеткой из k-точек  $3 \times 1 \times 2$ . Оптимизация завершалась, когда все компоненты всех сил стали меньше  $0,1 \text{ mRy (a.u.)}^{-1}$ . В качестве отправной точки использовались экспериментальные структурные данные. В недавней работе при исследовании кристалла  $\alpha$ -лактозы использовался метод DFT-D3(BJ) [1]. В данной работе для учета ван-дер-ваальсового взаимодействия между молекулами использовался метод vdW-DF2-B86R. Для проведения расчетов зонного спектра использовалась программа CRYSTAL14 [2]. Теоретические параметры решетки при 0 ГПа:  $a=4,697 \text{ \AA}$ ,  $b=21,385 \text{ \AA}$ ,  $c=7,723 \text{ \AA}$ ,  $\beta=106,341^\circ$ ,  $V=744,371 \text{ \AA}^3$ , экспериментальные параметры решетки при 0 ГПа:  $a=4,783 \text{ \AA}$ ,  $b=21,54 \text{ \AA}$ ,  $c=7,759 \text{ \AA}$ ,  $\beta=105,911^\circ$ ,  $V=768,85 \text{ \AA}^3$ . Теоретические значения занижены по сравнению с экспериментальными данными. Данный факт связан с тем, что теоретический расчет соответствует  $T=0 \text{ K}$ , а экспериментальные значения измерены при  $T=150 \text{ K}$ . Таким образом, наблюдается хорошее согласие между экспериментальными и теоретическими значениями. Следовательно, вычислительная схема корректно описывает взаимодействия между молекулами в кристалле. Также в работе было исследовано влияние давления на структурные и электронные свойства кристалла.

На рисунке 2 представлено влияние давления на объем кристалла моногидрата  $\alpha$ -лактозы. Сплошная линия соответствует теоретическому расчету. Теоретические параметры при 5 ГПа:  $a=4,419 \text{ \AA}$ ,  $b=19,742 \text{ \AA}$ ,  $c=7,448 \text{ \AA}$ ,  $\beta=104,503^\circ$ ,  $V=629,07 \text{ \AA}^3$ . Давление 5 ГПа приводит к тому, что объем уменьшается от 744,371 до 629,070  $\text{\AA}^3$ , что составило 15,5%.

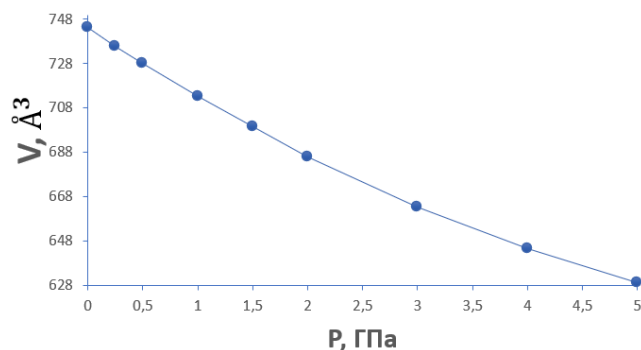


Рисунок 2. Зависимость объема от давления для моногидрата  $\alpha$ -лактозы

Определив кристаллическую структуру под давлением, можно исследовать влияние давления на электронную структуру кристалла моногидрата  $\alpha$ -лактозы. На рисунке 3 приведена зависимость ширины запрещенной зоны от давления. При отсутствии давления  $E_{\text{gap}}$  равна 8,095 эВ, при 5 ГПа  $E_{\text{gap}}$  равна 8,107, следовательно ширина запрещенной зоны увеличилась на 0,15%. Таким образом, кристалл моногидрата  $\alpha$ -лактозы остается диэлектриком.

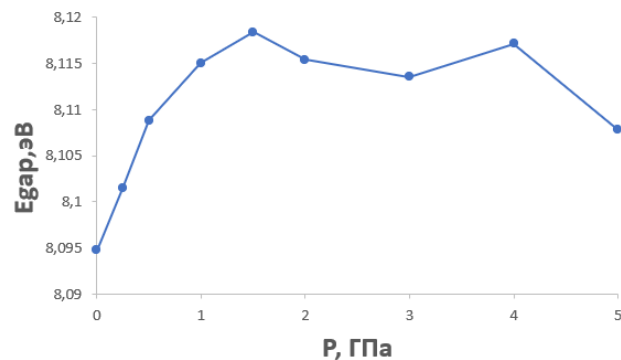


Рисунок 3. Зависимость ширины запрещенной зоны  $E_{\text{gap}}$  от давления P

В работе исследовано влияние давления на объем кристалла моногидрата  $\alpha$ -лактозы, а также на его ширину запрещенной зоны. Теоретические и имеющиеся экспериментальные данные имеют хорошее согласие между собой.

### Литература и источники

1. Fedorov I.A. Theoretical study of the interaction of lactose with collagen, the electronic and mechanical properties of crystalline lactose / Fedorov I.A., Voroshilin R.A., Prosekov A.Y. // Materialia – 2022. – V. 25 – pp.101537.
2. Dovesi, R. CRYSTAL14 User's Manual / R. Dovesi, V.R. Saunders, C. Roetti [et al.] // Torino: University of Torino. - 2014.

*Научный руководитель – к.ф.-м.н., Федоров И.А., кафедра теоретической физики ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*



## МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕРЕСА К НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ

*Набеев Н.Ю*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[nabeev024@mail.ru](mailto:nabeev024@mail.ru)

**Аннотация:** Научно-исследовательская деятельность учащихся — это процесс, в рамках которого учащиеся проводят исследования по различным темам с целью расширения своих знаний и развития навыков исследования. Эта деятельность позволяет учащимся глубже понять предмет, развить критическое мышление и самостоятельность, а также научиться применять полученные знания на практике. Быстрое развитие информационных технологий, появление новых образовательных стандартов, а также развитие научно-технического образования, все эти факторы показывают, что исследования в области: «Метод компьютерного моделирования как способ повышения интереса к научной деятельности учащихся» являются актуальными. Одним из немаловажных аспектов является визуализация простых моделей для представления и понимания структуры свойств твердых веществ. Опираясь на это условие, особое место занимают простые кристаллы. Целью работы является: «Изучение возможностей и преимуществ применения метода компьютерного моделирования в процессе обучения учащихся». При помощи программ CRYSTAL и CrystalMaker мы построили структуру кристалла MgO, а также смогли замерить углы между атомами и длину связи. При изучении темы по физике в 8 классе: «Основные положения молекулярной кинетической теории строения вещества» и с помощью простой визуализации мы можем подробнее и более наглядно рассмотреть структуру кристаллических соединений, тем самым повышая интерес к научно-исследовательской деятельности у учащихся.

**Ключевые слова:** Компьютерное моделирование, интерес к науке, научная деятельность, образовательный процесс, исследование, компьютерные технологии

Научно-исследовательская деятельность учащихся — это процесс, в рамках которого учащиеся проводят исследования по различным темам с целью расширения своих знаний и развития навыков исследования. Эта деятельность позволяет учащимся глубже понять предмет, развить критическое мышление и самостоятельность, а также научиться применять полученные знания на практике. Быстрое развитие информационных технологий, появление новых образовательных стандартов, а также развитие научно-технического образования, все эти факторы показывают, что исследования в области: «Метод компьютерного моделирования как способ повышения интереса к научной деятельности учащихся» являются актуальными. [1-3]

Одним из немаловажных аспектов является визуализация простых моделей для представления и понимания структуры свойств твердых веществ.[4] Опираясь на это условие, особое место занимают простые кристаллы.

**Целью работы** является: «Изучение возможностей и преимуществ применения метода компьютерного моделирования в процессе обучения учащихся».

При помощи программ CRYSTAL и CrystalMaker мы построили структуру кристалла MgO, а также смогли замерить углы между атомами и длину связи.

### **Моделирование MgO в программе Crystal и CrystalMaker**

На рисунке 1 мы строим ячейку для кристалла MgO



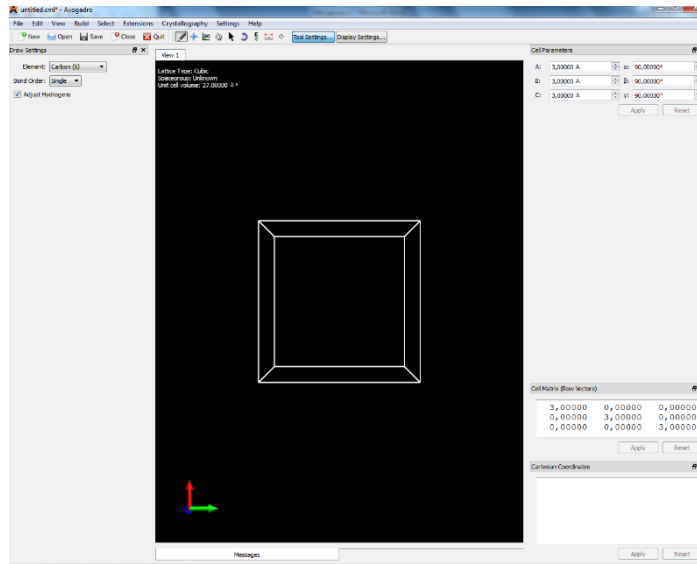


Рисунок 1. Ячейка кристалла

Видно, что ячейка кристалла имеет форму куба, грани которого равны 3.

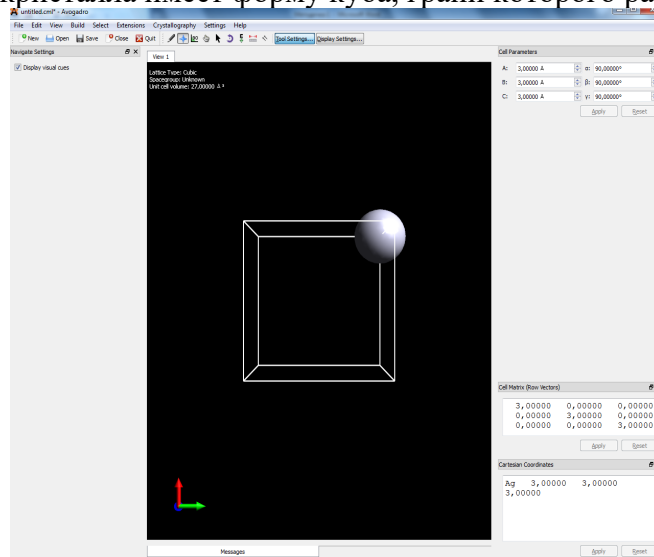


Рисунок 2. Рисование элемента в кристалле

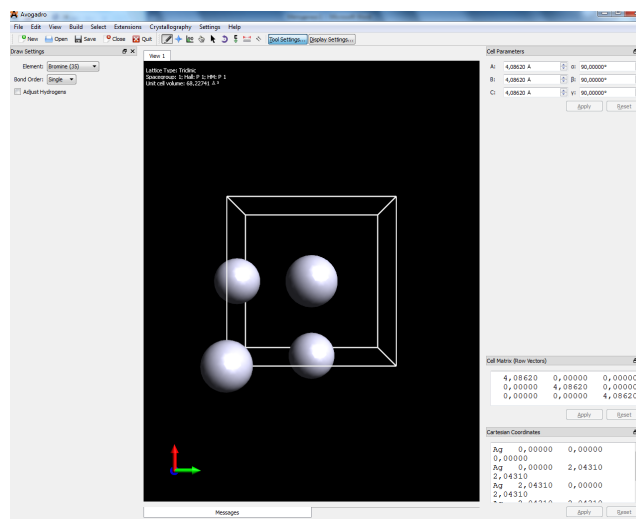


Рисунок 3. Кристалл MgO

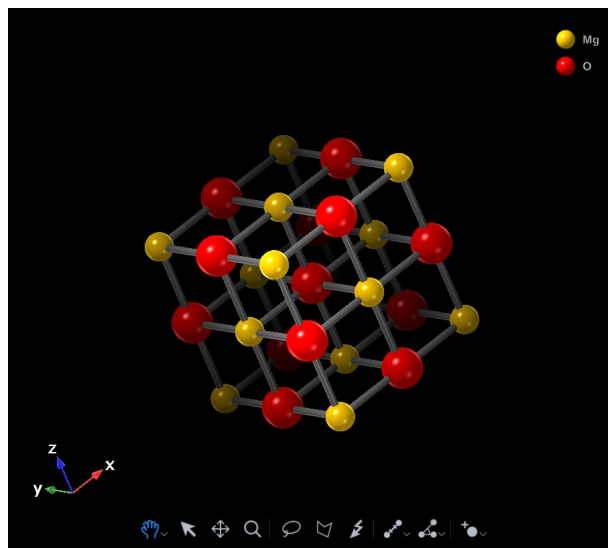


Рисунок 4. 3D модель MgO

Пример исследования длины связи и угла между атома представлен на рисунках 5 и 6.

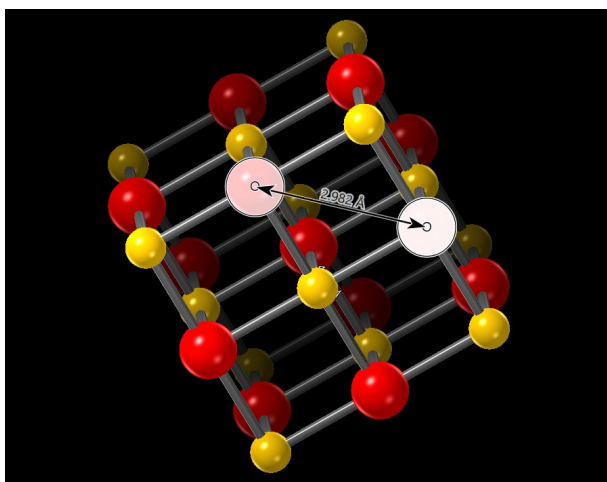


Рисунок 5. Исследование длины связи между атомами

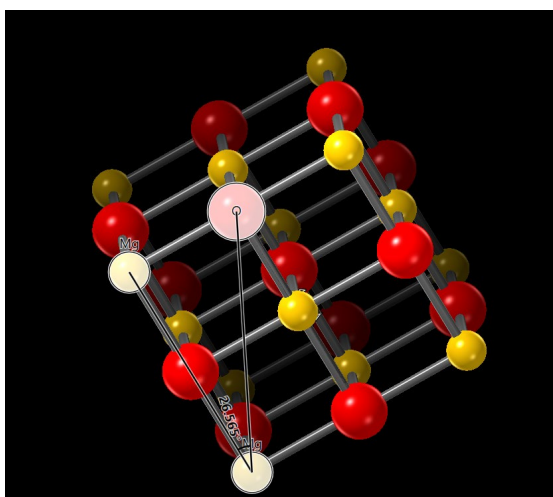


Рисунок 6. Исследование угла между атомами

При изучении темы по физике в 8 классе: «Основные положения молекулярной кинетической теории строения вещества» и с помощью простой визуализации мы можем подробнее и более наглядно рассмотреть структуру кристаллических соединений, тем самым повышая интерес к научно-исследовательской деятельности у учащихся.

### Литература и источники

1. Обухов, А.С. Развитие исследовательской деятельности учащихся / А.С. Обухов. - М.: Издательство «Прометей» МПГУ, 2016. 224 с.
2. Юрков Н.К., Якимов А.Н. Компьютерное моделирование и его роль в современном вузовском образовании/ ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, Россия.
3. Гальцева Л.А., Шатохина И.В. Метод моделирования: понятие, назначение, особенности использования в начальном образовании // Студенческий научный форум: электронный сборник статей по материалам LXVII международной студенческой научно-практической конференции. 2017.
4. Almasri, F. Simulations to Teach Science Subjects: Connections Among Students' Engagement, Self-Confidence, Satisfaction, and Learning Styles. *Educ Inf Technol* **27**, 7161–7181 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10940-w>

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PHET INTERACTIVE SIMULATION ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОСТРОЕНИЙ В ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКЕ

*Огиенко П.А.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

МБОУ СОШ № 80

[polinana1106@gmail.com](mailto:polinana1106@gmail.com)

**Аннотация:** Интерактивное обучение — это изначально разновидность активного обучения, которая переросла в отдельный метод. Взаимодействие происходит не только между учителем и учениками, но и между группами или отдельными обучающимися. В последние годы наблюдается рост использования интернет-приложений и мобильных технологий для визуализации сложных физических процессов. Это стало возможным благодаря развитию технологий трехмерной графики, которые позволяют создавать реалистичные и интерактивные модели различных явлений и объектов. Одним из примеров таких приложений является “Phet Interactive Simulation”, которое позволяет моделировать, определять и прогнозировать сложные физические процессы. С самого начала введения геометрии у детей возникает нежелание и непонимание в построениях и описательных частях практики в этом предмете. Когда геометрия вводится в физике 8 класса, то мотивированность и заинтересованность снижается. Вариантом решения данной проблемы является построение геометрических изображений в интернет-приложении, в котором отчетливо прослеживается зависимость параметров: фокусного расстояния, размера линзы и др. Также в процессе работы с этим ресурсом учащийся сам учится прогнозировать результат формирования изображения и, устанавливая причину получения того или иного оптического изображения. В целом, использование интернет-приложений для визуализации физических процессов является важным инструментом для обучения, исследования и понимания явлений в физике. PhET Interactive Simulations обладает рядом преимуществ среди которых интерактивность, улучшение понимания концепций, разнообразие тем, адаптивность к разным типам устройств, таких как смартфон, планшет, компьютер, повышение уровня вовлеченности учащихся, а самое важное помогает формированию критического мышления.

**Ключевые слова:** Визуализация, геометрическая оптика, интерактивные задания, мотивированность, построения в приложении.

Коренные изменения в приоритетах школьного образования привели к переходу от образования, направленного на получение теоретических сведений, основ, умений, навыков направленному на учет интересов и потребностей школьников. Согласно новым федеральным государственным образовательным стандартам (ФГОС) [1], смыслом современного образования является актуализация личности обучающегося, активизация его внутреннего потенциала не только в освоении конкретной учебной деятельности, но и в формировании образовательных результатов (мета предметных, личностных и предметных), имеющих значимость как для самого обучающегося, так и для окружающего его общества и мира в целом [2].

Интерактивное обучение — это изначально разновидность активного обучения, которая переросла в отдельный метод. Взаимодействие происходит не только между учителем и учениками, но и между группами или отдельными обучающимися. По-другому его называют «диалоговым обучением».

Интерактивное обучение подразумевает:

- активности и взаимосвязи, благодаря которым и педагог, и ученики вовлечены в процесс и ищут решения;
- равенство в общении, которое помогает открыто обсуждать возможные исходы;
- эксперименты, творческий подход.

В последние годы наблюдается рост использования интернет-приложений и мобильных технологий для визуализации сложных физических процессов. Это стало возможным благодаря развитию технологий трехмерной графики, которые позволяют создавать реалистичные и интерактивные модели различных явлений и объектов.

Одним из примеров таких приложений является “Phet Interactive Simulation”, которое позволяет моделировать, определять и прогнозировать сложные физические процессы [3]. С самого начала введения геометрии у детей возникает нежелание и непонимание в построениях и описательных частях практики в этом предмете. Когда геометрия вводится в физику 8 класса, то мотивированность и заинтересованность снижается.

Вариантом решения данной проблемы является построение геометрических изображений в интернет-приложении, в котором отчетливо прослеживается зависимость параметров: фокусного расстояния, размера линзы и др. Также в процессе работы с этим ресурсом учащийся сам учится прогнозировать результат формирования изображения и, устанавливая причину получения того или иного оптического изображения.

Такие приложения не только делают изучение физики более наглядным и понятным, но и позволяют проводить эксперименты и исследования прямо у себя дома, либо же в кабинете с непосредственным участием преподавателя. Кроме того, они могут быть использованы для обучения студентов и школьников, помогая им лучше понять и запомнить основные концепции и законы.

Однако, несмотря на все преимущества, такие приложения также могут иметь некоторые ограничения, связанные с точностью и детализацией моделей. Некоторые из них могут быть платными или требовать регистрации и наличия персонального компьютера с выходом в интернет.

Основанный в 2002 году Нобелевским лауреатом Карлом Виманом проект PhET Interactive Simulations в Университете Колорадо в Боулдере создает бесплатные интерактивные симуляции по математике и естественным наукам. Симуляции PhET основаны на обширных образовательных [исследованиях](#) и вовлекают учащихся в интуитивно понятную игровую среду, где учащиеся учатся посредством исследований и открытий. Сам интернет-ресурс устроен достаточно просто, помимо физики в нем можно провести эксперименты и по другим предметам: химия, математика, география, биология; суммарно представлено 166 интерактивных симуляций.

Для того, чтобы воспользоваться PhET Interactive Simulations для построения оптических рисунков нужно:

1. Зайти на сайт <https://phet.colorado.edu/>
2. Перейти к разделу «PHYSICS»
3. Далее геометрическая оптика: основы (Geometric Optics: Basics) (Рис 1.).

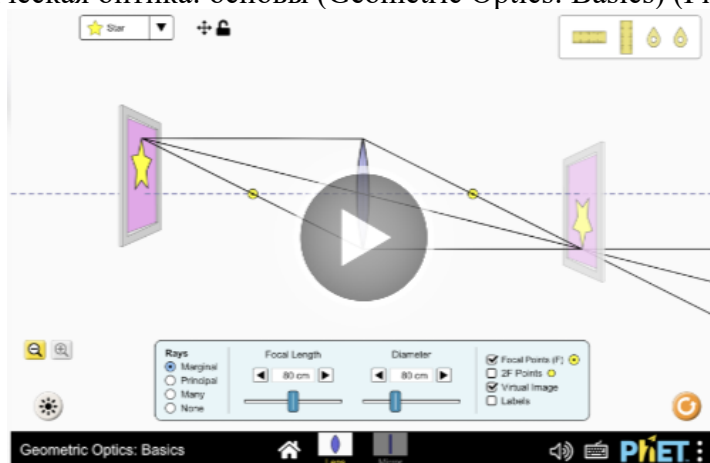


Рис 1.

4. Приложение предложит выбор между собирающей и рассеивающей линзой (Рис 2.).

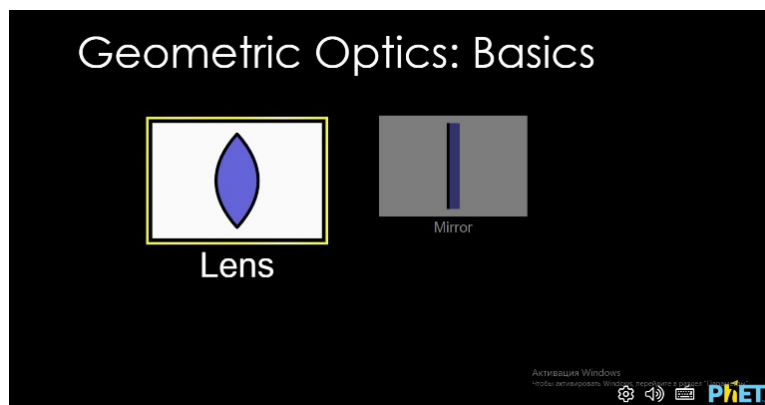


Рис 2.

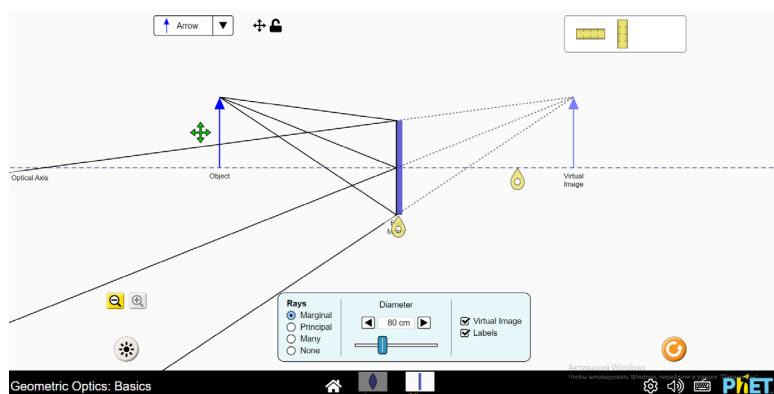


Рис 3.

На нижней панели можно выставлять параметры фокусного расстояния, размер линзы. Перемещать предмет относительно главной оптической оси, проследить ход лучей и многое. Другое(Рис 3.).

В целом, использование интернет-приложений для визуализации физических процессов является важным инструментом для обучения, исследования и понимания явлений в физике. PhET Interactive Simulations обладает рядом преимуществ среди которых интерактивность, улучшение понимания концепций, разнообразие тем, адаптивность к разным типам устройств, таких как смартфон, планшет, компьютер, повышение уровня вовлеченности учащихся, а самое важное помогает формированию критического мышления.

#### Литература и источники

1. Федеральный государственный образовательный стандарт. Код: 02-03-2017-529. Утвержден: Министерством образования и науки Российской Федерации. Дата утверждения: 10 апреля 2017 г.
2. Данильчук Елена Валерьевна, Куликова Наталья Юрьевна Интерактивные средства обучения как инструментарий современного педагога в формировании мета предметных образовательных результатов обучающихся // Известия ВГПУ. 2017. №8 (121).
3. <https://phet.colorado.edu/>

Научный руководитель – к.х.н., доцент Дягилев Денис Владимирович., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»

**МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ КАНАЛОВ МИКРОННОГО РАЗМЕРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ УСТРОЙСТВА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДЛИНЫ УНТ****Поломошнов И.А.**

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[polomoshnov.ilya@yandex.ru](mailto:polomoshnov.ilya@yandex.ru)

**Аннотация:** Однослойные углеродные нанотрубки образуют группу уникальных по своим свойствам материалов, которые в настоящее время привлекают пристальное внимание исследователей и разработчиков современных технологий. Одно из важнейших качеств для исследователя в однослойных углеродных нанотрубках, является их длина. На выходе из реактора однослойные углеродные нанотрубки представляют собой запутанные массивы, что затрудняет исследование длинны однослойных углеродных нанотрубок. В данной работе описана методика создания проводящей поверхности, разделенной непроводящими каналами различной ширины в микрометровом диапазоне, с использованием пленочных фоторезистов для многократного и быстрого определения длины пучков углеродных нанотрубок без применения дорогостоящего оборудования. Метод является новым и на данный момент имеется мало исследований на данную тему. Этот метод измерения длины углеродных нанотрубок основан на измерении зависимости электрического сопротивления сетки углеродных нанотрубок от расстояния между металлическими контактами (ширины канала) с использованием модели описания такой зависимости, учитывающей соотношение длины пучков углеродных нанотрубок и ширины каналов. Создание такого инструмента позволит удешевить и ускорить исследование углеродных нанотрубок и создания из них электрических приборов. Для создания подходящей структуры, в ходе исследования было установлено, что решение данной задачи может быть достигнуто с использованием методик, применяемых в микро- и нанoeлектронике, а именно с использованием фоторезиста, для создания микронных каналов на поверхности меди. Полученные структуры были измерены с применением микроскопа, что позволило оценить размеры каналов, которые составили от 5 до 10 микрометров. микрометров.

**Ключевые слова:** Измерение длинны УНТ, нанотрубки, наноматериалы

**Цель работы:** разработка инструмента, позволяющего быстро и качественно определять длину пучков углеродных нанотрубок (УНТ) без использования дорогостоящего оборудования.

Однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ) образуют группу уникальных по своим свойствам материалов, которые в настоящее время привлекают пристальное внимание исследователей и разработчиков современных технологий. Одним из перспективных направлений научных исследований является разработка технологий получения и использования тонких сеток на основе ОУНТ, свойства которых, усредненные по слою, хотя и уступают свойствам отдельных нанотрубок, являются достаточно стабильными и воспроизводимыми. Одним из важных характеристик, определяющих электрические и механические свойства материалов на основе сеток ОУНТ, является их длина. Как правило, в используемых методах получения ОУНТ, в том числе одностадийного аэрозольного CVD-синтеза ОУНТ [1, 2], позволяющей получать готовые к использованию тонкие слои ОУНТ непосредственно на выходе из реактора, продукты синтеза представляют запутанные массивы ОУНТ, что затрудняет определения длины отдельных ОУНТ или их пучков.

Недавно в работе [3] был предложен метод определения длины пучков ОУНТ на основе зависимости электрического сопротивления пленки из ОУНТ от расстояния между контактами в диапазоне 5-500 мкм.

Сложность использования предложенного метода состоит в создании каналов микронного размера, которые могут быть многократно использованы.

В этой связи в работе была использована техника фоторезиста, которая позволила создать каналы микронного размера.



Для создания малых каналов размера около 5 микрон был использован пленочный фоторезист, который был засвечен лазером в определенном интервале. Получившиеся каналы высотой приблизительно 4 микрона были получены при помощи проявителя  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и далее травления персульфатом. На предоставленных картинках (рис. 1) видно, что полученная методика позволяет получить микронных размеров и использовать их в качестве основы для создания прибора по определению длины УНТ.

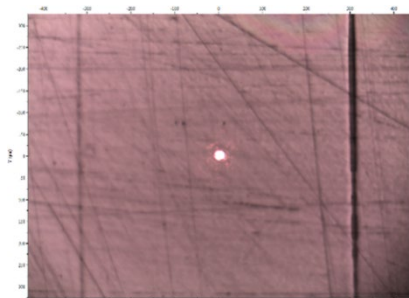


Рис. 1.  
Проекспонированный образец

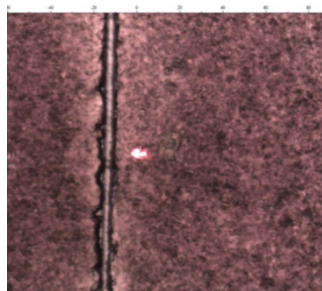


Рис. 2. Протравленный образец

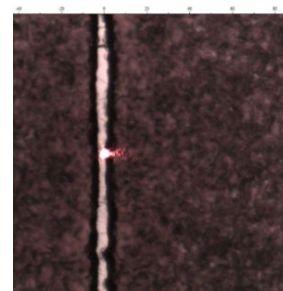


Рис. 3. Более глубокое травление

Оптические изображения каналов, полученных с использованием проявителя  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и травления персульфатом. Созданные подложки с каналами микронного размера (сравнимые с длиной пучков УНТ) позволяют проводить исследование зависимости электрического сопротивления пленок УНТ от расстояния между контактами и соответственно определять длину УНТ.

#### Литература и источники

1. S. D. Shandakov , M. S. Rybakov , A. V. Kosobutskii , O. G. Sevost'yanov , N. S. Zvidentsova , A. N. Gutov , M. V. Lomakin , and I. V. Anoshkin. Method Growth of SingleWalled Carbon Nanotubes by Ethanol–Ferrocene Aerosol Method. *Nanotechnologies in Russia*. (2012) 370
2. С.Д. Шандаков, А.В. Кособуцкий, О.Г. Севостьянов, М.В. Ломакин, М.С. Рыбаков, Д.М. Руссаков. Анализ эффективности CVD-синтеза углеродных нанотрубок аэрозольным методом на основе этанола. *Известия вузов. Физика* (2015) 136
3. A. Pavlov, D. Mitin, A. Vorobyev, S. Raudik, Y. Berdnikov, A. Mozharov, V. Mikhailovskii, D.V. Krasnikov, D.S. Kopylova, R. Polozkov, A.G. Nasibulin, I. Mukhin, Conductivity-based approach to estimate average bundle length in randomly oriented network of single-walled carbon nanotubes, *Appl. Phys. Lett.* 123 (2023), 011904

*Научный руководитель д.ф.-м.н., Шандаков С.Д., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*



**Аннотация:** Автоматизация процесса сбора грибов позволяет увеличить скорость их сбора и снизить участие человека в данном процессе. Одним из способов анализа роста грибов и нахождения созревших грибов является компьютерное зрение. Данный метод отличается простотой и точностью. Помимо повышения производительности труда, анализ грибного поля с помощью систем компьютерного зрения позволит производить мониторинг роста грибов, причём точность результатов такого мониторинга состоит и в чёткой периодичности проведения анализа, и в результатах анализа. Был разработан прототип установки сбора грибов и мониторинга их роста в условиях грибных ферм. Данный прототип состоит из рельсовой рамы, каретки с видеокамерой и манипулятором, микрокомпьютера и микроконтроллера в качестве главного и вторичного управляющих элементов соответственно. Каретка перемещается за счёт работы шаговых двигателей. Манипулятор для сбора грибов включает в себя клещевой захват и актуатор для изменения вертикального положения захвата. Движение челюстей клещевого захвата производится с помощью серводвигателя, передающего вращательный момент посредством зубчатых колёс. Нахождение начала координат производится путём поиска цветowych маркеров на снимках видеокамеры. Вычисление коэффициента перевода пикселей изображения в квадратные сантиметры площади осуществляется с помощью обработки снимка калибровочного объекта. Изображение грибного поля получается путём съёмки различных непересекающихся участков поля с последующей компоновкой сделанных снимков. Поиск созревших грибов производится путём обработки скомпонованного изображения грибного поля с вычислением диаметров шляпок из их площадей, принимая контуры шляпок окружностями.

**Ключевые слова:** Компьютерное зрение, программирование, грибоводство, автоматизация, роботизация

Автоматизация процесса сбора грибов позволяет увеличить скорость их сбора и снизить участие человека в данном процессе. Одним из способов анализа роста грибов и нахождения созревших грибов является компьютерное зрение. Данный метод отличается простотой и точностью. Помимо повышения производительности труда, анализ грибного поля с помощью систем компьютерного зрения позволит производить мониторинг роста грибов, причём точность результатов такого мониторинга состоит и в чёткой периодичности проведения анализа, и в результатах анализа.

**Целью работы** является создание прототипа установки визуального анализа грибного поля и автоматического сбора грибов с применением алгоритмов машинного зрения.

В ходе данной работы был разработан прототип установки мониторинга и сбора грибов (рис. 1). При создании прототипа были учтены результаты работ [1], [2], [3]. Прототип состоит из рельсовой рамы, в которой по двум статичным рельсам за счёт шаговых двигателей перемещается подвижный рельс, по которому в свою очередь движется каретка с камерой и манипулятором для сбора грибов.

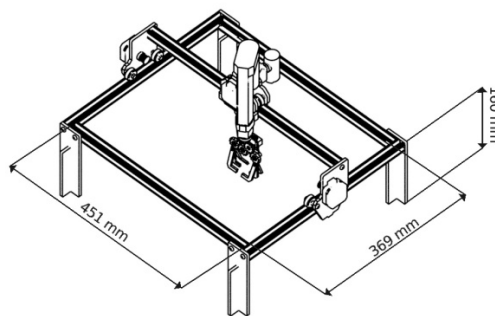


Рисунок 1. Схема установки сбора грибов

Для удаления грибов из земли и их перемещения создан клещевой захват (рис. 2), детали которого (крепление, челюсти и зубчатые колёса) изготовлены методом FDM 3D-печати. В движение челюсти клещевого захвата приводятся серводвигателем. Поднятие и опускание захвата происходит за счёт актуатора.

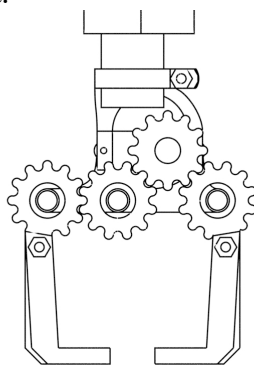


Рисунок 2. Схема клещевого захвата

Управление камерой осуществляется посредством микрокомпьютера Raspberry Pi 4 через сериальный интерфейс, тогда как управление шаговыми двигателями, актуатором и серводвигателем происходит посредством микроконтроллера Arduino Mega, подключённого к Raspberry Pi через сериальный интерфейс.

Для управления установкой мониторинга и сбора грибов на языке программирования Python 3.9.0 в операционной системе Raspberry Pi OS написана программа, имеющая оконный интерфейс (рис. 3). Дружественный интерфейс программы позволяет ввести и записать параметры, нужные как для сбора грибов, так и для мониторинга их роста. Параметры следующие: имя пользователя, дата, общее количество сканирований грибного поля, промежуток времени между каждым сканированием, единицы времени, вид грибов, минимальный диаметр шляпок созревших грибов.

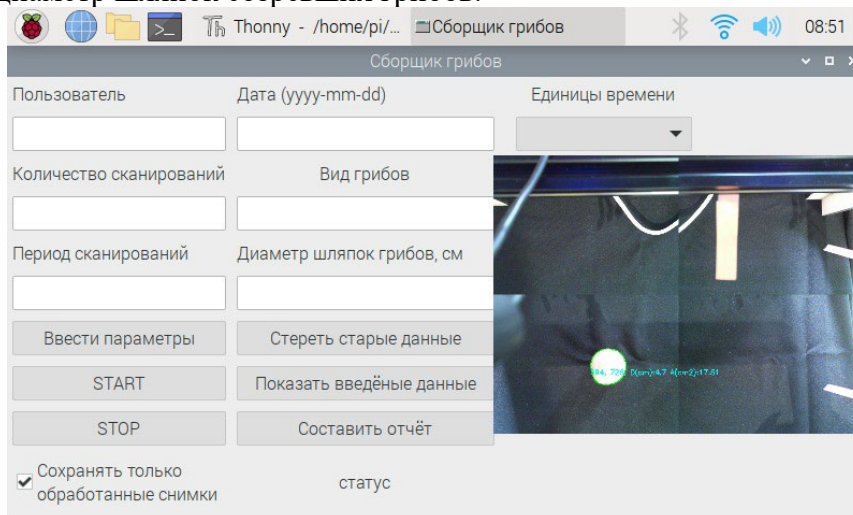


Рисунок 3. Главное окно программы мониторинга и сбора грибов

Для получения диаметра контуров шляпок грибов программа вычисляет коэффициент перевода пикселей в квадратные сантиметры, исходя из снимка калибровочного объекта с известной пользователю площадью. Контур калибровочного объекта на снимке определяется по диапазону значений оттенков серого (цветовое пространство grayscale). После определения данного коэффициента программа выполняет поиск начала координат для дальнейшего объезда грибного поля для его съёмки. В ходе данной процедуры производится фотографирование текущего участка грибного поля и поиск на фотографии горизонтального ориентира определённого цвета, закреплённого на подвижной части рельсовой рамы. Пиксели нужного цвета определяются по параметрам R, G, B (красный, зелёный, голубой) цветового пространства RGB. При отсутствии пикселей с R, G, B в заданных в коде программы диапазонах двигатель каретки с камерой и манипулятором делает один оборот, перемещая каретку на небольшое расстояние. После чего цикл повторяется, пока горизонтальный ориентир не будет обнаружен. Затем цикл повторяется для вертикального ориентира другого цвета, закреплённого на статичной части рельсовой рамы.

Определив начало координат, программа производит съёмку грибного поля. Всего производится четыре снимка, причём фотографируемые области не пересекаются друг с другом. По составленному изображению грибного поля выполняется поиск грибов нужного диапазона диаметров шляпок. Поиск происходит по тому же принципу, что и поиск контура калибровочного объекта. После нахождения созревших грибов происходит их сбор (удаление из земли и доставка до контейнера с последующим сбросом).

Таким образом, был разработан прототип установки сбора грибов и мониторинга их роста, проведены испытания прототипа. В ходе испытаний была обнаружена проблема искажения перспективы, ведущая к неточности определения координат созревших грибов. Данная проблема решена введением в функцию пересчёта пикселей в шаги двигателей новых переменных, отвечающих за величину искажения по горизонтали и вертикали.

#### Литература и источники

1. Rong, J.; Wang, P.; Yang, Q.; Huang, F. A Field-Tested Harvesting Robot for Oyster Mushroom in Greenhouse. *Agronomy*. – 2021. – V. 11. – P. 1210. – URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy11061210>
2. Reed, J., N.; Miles, S., J.; Butler, J.; Baldwin, M.; Noble, R. AE—Automation and Emerging Technologies: Automatic Mushroom Harvester Development. *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 2001. – V. 78. – № 1. – P. 15-23. – URL: <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0629>
3. Reed, J., N.; Tillett, R., D. Initial experiments in robotic mushroom harvesting. *Mechatronics*. – 1994. – V. 4. – № 3. – P. 265-279. – URL: [https://doi.org/10.1016/0957-4158\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0957-4158(94)90004-3)  
*Научный руководитель – к.т.н., доцент Шаврин В.А., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

**ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO MEGA2560 В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА НАГРЕВА ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ***Соколов Н. А.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[mio402@mail.ru](mailto:mio402@mail.ru)

**Аннотация:** Цель работы: Разработка системы мониторинга и управления с использованием ПИД-регулирования процесса нагрева индукционной установки на базе микроконтроллера Arduino Mega2560, а также выбор периферийных устройств для установки индукционной и исполнительных механизмов. 2. Задачи: - Выбор управляющего микроконтроллера, периферийных устройств (исполнительных механизмов, датчиков), среды разработки программного обеспечения на языке программирования C++. - Разработка программно-аппаратного комплекса, поддерживающего заданный температурный режим с использованием ПИД-закона регулирования. 3. Результаты работы: - Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга и управления индукционной установкой, обеспечивающего заданный температурный режим с использованием ПИД-закона регулирования. 4. Используемые периферийные устройства: - DS18B20: цифровой термометр для измерения температуры в диапазоне от -55°C до +125°C с программируемой точностью 9-12 бит. Для измерения температуры индукционной установки используются несколько термодатчиков DS18B20.- Жидкокристаллический дисплей LCD 16x2 на базе контроллера серии HD44780 для отображения информации (управляющих команд и температуры) в формате 2 строки по 16 символов. По составленному изображению грибного поля выполняется поиск грибов нужного диапазона диаметров шляпок. Поиск происходит по тому же принципу, что и поиск контура калибровочного объекта. После нахождения созревших грибов происходит их сбор (удаление из земли и доставка до контейнера с последующим сбросом). Таким образом, был разработан прототип установки сбора грибов и мониторинга их роста, проведены испытания прототипа. В ходе испытаний была обнаружена проблема искажения перспективы, ведущая к неточности определения координат созревших грибов. Данная проблема решена введением в функцию пересчёта пикселей в шаги двигателей новых переменных, отвечающих за величину искажения по горизонтали и вертикали.

**Ключевые слова:** Индукция, мониторинг, Ардуино, микроконтроллер

**Цель данной работы:** ознакомление, подготовка микроконтроллера Arduino Uno Mega2560, выбор периферийных устройств для **управления** установкой; исполнительных механизмов, датчиков, библиотек для них в среде языка программирования C++. Для дальнейшего применения собранной установки в системе мониторинга нагрева индукционной установки, с помощью ПИД регулирования.

Для осуществления цели необходимо выполнить следующие задачи: ознакомление, подготовка микроконтроллера Arduino Uno Mega2560, выбор периферийных устройств для управления установкой; исполнительных механизмов, датчиков, библиотек для них в среде языка программирования C++, разбор и изучение ПИД регулятора.

В работе описано управление периферийными устройствами с помощью "Arduino Uno Mega2560" и ПИД регулятором на примере цифрового термодатчика "DS18B20". Также представлено описание трёх составляющих ПИД регулятора и их определения, необходимые для раскрытия темы использования микроконтроллеров для автоматизации физического эксперимента. А именно, даны определения микрокомпьютера, микропроцессора, арифметико-логического устройства, устройства управления, коэффициентов.

В качестве периферийных устройств используются цифровой термодатчик DS18B20, LCD-дисплей 16x2, кулер и светодиод. Описаны их характеристики и приведены примеры их использования.

**Основные понятия**

Микроконтроллер – Микроконтроллер (сокращённо МК) по сути является микросхемой,

который состоит из:

Центрального процессора. В него входят блок управления, регистры, ПЗУ (постоянное запоминающее устройство).

Периферии, которая включает порты ввода-вывода, контроллеры прерываний, таймеры, генераторы различных импульсов, аналоговые преобразователи и подобные элементы. Зачастую микроконтроллер называют микропроцессором. Но это не совсем так. Последний осуществляет только определенные математические и логические операции. А в состав микроконтроллера входит и микропроцессор с другими элементами, являясь лишь частью МК.

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) производит арифметические операции, такие как: сложение, вычитание, умножение и т. д. Для выполнения этих вычислений АЛУ использует регистры, сумматор, полусумматор, мультиплексор или флаги. Флаги могут иметь значения переполнения, статуса, нуля, переноса и т. д. Устройство управления (УУ) отвечает за контроль над выполнением инструкций и их последовательностью. УУ получает инструкции от других устройств, переводит эти инструкции в специальный формат для доступа к расположению данных в памяти и для передачи команд АЛУ для выполнения того или иного действия по определённым инструкциям.

### ПИД регулятор

Прежде чем переходить непосредственно к пиду, очень важно понять и запомнить несколько базовых понятий, из которых состоит автоматическая система.

В первую очередь это **регулятор**, который всем заправляет и находится в центре системы. Регулятор в данном понимании – математический алгоритм или часть программы, которая крутится на микроконтроллере. Регулятор, как алгоритм, работает с обычными числами.

**Объект управления** – это любое техническое устройство, которым мы управляем, например печка или мотор. Управляющее устройство получает от регулятора **управляющий сигнал**, то есть конкретное число. Это может быть заполнение шим сигнала (способ управления подачей мощности к нагрузке.), от 0 до 255.

В объекте управления у нас стоит датчик, с которого регулятор получает управляемую величину, то есть текущий сигнал с датчика. Это – **обратная связь**, которая и даёт возможность системе точно поддерживать заданное значение. В случае с печкой это температура, а с мотором – частота оборотов. Ну и наконец регулятор получает **установку** (уставку), то есть число, к которому он должен привести текущее значение с датчика.

ПИД регулятор состоит из трёх составляющих: пропорциональной **P**, интегрирующей **I** и дифференцирующей **D**, формируется просто как сумма трёх значений, умноженных каждая на свой коэффициент. Эта сумма после вычислений становится управляющим сигналом, который подаётся на управляющее устройство, обозначили мы его как **output**.

$$\text{output} = P * kP + I * kI + D *$$

**kP**, **kI** и **kD** это и есть те самые коэффициенты, которые нужно настроить для работы ПИДа. Значения тут могут быть самые разные, от 0.001 до десятков и тысяч, это зависит от конкретной системы. Любой коэффициент может быть равен нулю, и в таком случае обнуляется вся его компонента. То есть регулятор можно превратить в П, PI, PD, и прочие сочетания. Этим ПИД и универсален.

Результаты измерений, и графики (рис. 1) при использовании ПИД для мониторинга нагрева индукционной установки при различных коэффициентах.



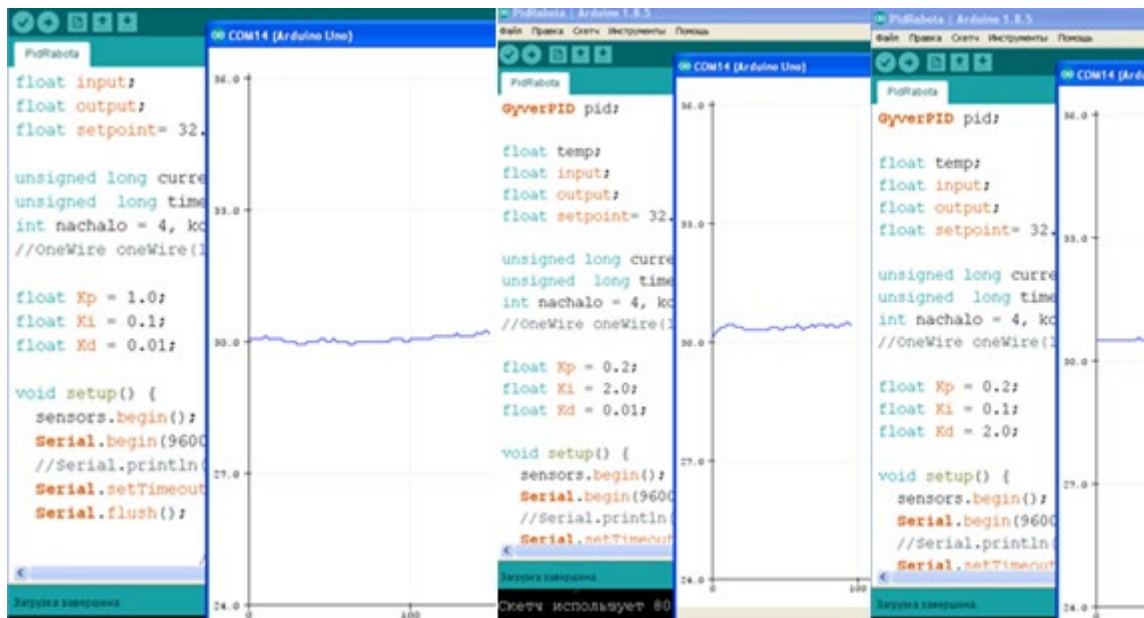


Рисунок 1. Графики ПИД регулирования при его различных значений коэффициентов

### Периферийные устройства

DS18B20 – это полноценный цифровой термометр, способный измерять температуру в диапазоне от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  с программируемой точностью 9-12 бит. Обмен информацией происходит с ведущим устройством (микроконтроллером или платой Arduino). Такой подход позволяет подключать к одной линии целую группу датчиков, вплоть до 264. В данном случае термодатчик DS18B20 будет использован для измерения температуры индукционной печи.

Дисплей LCD 16x2 построен на базе контроллера серии HD44780 и запитывается от 5В. Формат отображаемой информации — 2 строки по 16 символов; технология STN, Transflective, Positive; микроконтроллер управления — HD44780; интерфейс обмена данными параллельный, 8-бит; подсветка на основе светодиодов; угол обзора — 180 градусов; напряжение питания — 5 В; подстройка контраста — VLCD, с опорным напряжением 5 В. Этот жидкокристаллический дисплей может быть использован для вывода текущих значений температуры и времени её измерения.

### Литература и источники

1. Описание микроконтроллера Arduino Uno Mega2560 на официальном сайте Arduino URL: <https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560> (дата обращения 03.04.2024)
2. Лист данных цифрового термодатчика DS18B20. URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf> (дата обращения: 03.04.2024).
3. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ): что это такое и как она работает? URL: <https://www.analogictips.com/pulse-width-modulation-pwm/> (дата обращения: 03.04.2024).
4. Словарь компьютерных терминов. URL: The Tech Terms Computer Dictionary

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

**ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ КАК СРЕДСТВО  
МОТИВАЦИИ И АКТИВИЗАЦИИ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ****Фейзуллаев М.А.****ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,****МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 7»**[feizullaevmaxim@mail.ru](mailto:feizullaevmaxim@mail.ru)

**Аннотация:** Данная тема посвящена исследованию использования виртуальных лабораторных работ по физике в контексте их влияния на мотивацию и активизацию учебной деятельности учащихся. Целью настоящей работы является исследование эффективности виртуальных лабораторных работ, как средства положительно-действующего инструмента в учебном процессе. В работе рассмотрено, как виртуальные лабораторные работы по физике в учреждении общего среднего образования могут стимулировать познавательный интерес и повышать мотивацию учащихся к изучению предмета. В исследовании подчеркивается актуальность и важность лабораторных работ в естественно-научном школьном образовании. В одном из разделов анализируются теоретические основы мотивации и активизации учебной деятельности. Приведён обзор на педагогические труды, где изложены основные положения мотивации в учебной деятельности, также учитывается вопрос о создании проблемной ситуации на уроках физики во время проведения лабораторных работ. Представлены результаты одной из работ, направленной на изучение вопросов использования в школьном курсе физики виртуальных лабораторных экспериментов. В методической части описывается конкретная схема проведения одной из лабораторных работ по «Электрическим явлениям» на базе основной школы среди 8 классов. Далее приведены результаты исследования в виде таблицы, в которой отражено процентное содержание положительных оценок, с помощью которых можно оценить уровень мотивации, также уровень мотивации был оценен с помощью метода наблюдения. В заключительной части подводятся итоги исследования, а также говорится о качествах виртуальных лабораторных работ и формулируются рекомендации для педагогов и образовательных учреждений.

**Ключевые слова:** Виртуальные лабораторные работы, учебная мотивация, эффективность обучения, познавательная деятельность, обучающиеся, активизация учебной деятельности.

Лабораторные работы — это метод самостоятельного обучения, при котором учащиеся под руководством учителя и по заранее намеченному плану проделывают опыты или выполняют определённые практические задания и в процессе их выполнения воспринимают и осмысливают новый учебный материал [1].

Лабораторные работы играют важную роль в естественно-научном образовании, ведь самостоятельная часть практической деятельности является неотъемлемой и важной составляющей к расширению грани познаваемой темы, путём возникновения новых и новых вопросов при её выполнении. Хорошо известно, что важная часть заложения фундамента в образование человека — это научиться ставить конкретные вопросы. Также при их выполнении осуществляется развитие практических навыков работы с приборами и материалами; устанавливаются междисциплинарные связи, т.е. пересечение различных наук в одной точке; формируется должным образом критическое мышление, т.к. ведётся постоянная работа с информацией по анализируемой теме.

Актуальность работы заключается в том, что в современном мире происходит цифровизация образования, которая требует производство, хранение, переработку и реализацию информации, особенно высшей её формы — знаний. Наблюдается огромный рост интерактивных приложений, которые позволяют проводить виртуальные опыты в заранее заданных условиях, а также одно из качеств является выполнение работы в домашних условиях. Поэтому, невозможно представить текущее образование без

использования компьютеров, ведь используя данный аппарат, он позволяет расширить возможности познаваемого, и во много раз ускоряет процесс обучаемости.

Рассматриваемая тема «Виртуальные лабораторные работы как средство мотивации и активизации учебной деятельности обучающихся в физике» недостаточно раскрыта в современной литературе. Поэтому рассмотрим несколько научно-педагогических трудов, связанных с темой работы.

В одной из изученных работ [2] трактуется, что мотивация (от лат. *movēre* «двигать») – общее название для процессов, методов, средств, побуждения учеников к активной деятельности. Мотивацией управляют совместно учителя и ученики. Имея в виду учителей, говорим о мотивации обучения, а с позиции ученика следует вести речь о мотивации учения. Мотивация, как процесс изменения состоит из отношений личности, основывается на мотивах, под которыми понимаются конкретные побуждения, причины, заставляющие ученика учиться, действовать, совершать поступки. В роли мотивов выступают во взаимосвязи потребности и интересы, стремления и эмоции, установки и идеалы. Поэтому мотивы – это очень сложные образования. Автор утверждает, что мотивация обучения существует в зависимости от позиции —учителя или ученика. Основной акцент уделяется на то, что мотивация является процессуальными изменениями, которые основываются на мотивах. В тексте отмечается, что мотивы увеличиваются с потребностями и интересами, стремлениями и уверенностью, установками и идеалами. В целом работа представляет собой краткое, но информативное введение в концептуальную мотивацию.

Авторы работы [3] акцентируют своё внимание над созданием проблемной ситуации на уроках физики во время проведения лабораторных работ. Способом развития мышления школьников является метод проблемного обучения. При использовании этого метода у учеников развиваются разные виды мышления: теоретическое, критическое, логическое, творческое и др. Ключевой составляющей проблемного изучения является искусственно созданная в виде проблемы ситуация, с помощью которой активизируется мышление, направленное на пробуждение мыслей и на повышение познавательной потребности обучаемых в области конкретной науки. На уроках физики с этой целью можно использовать демонстрационный и мыслительный эксперимент, фронтальные опыты, экспериментальные задачи, специально выбранные факты из истории физики и др. Традиционные школьные лабораторные работы в школьном курсе физики являются примером репродуктивной и алгоритмической деятельности, где школьники воспроизводят ход работы, подробно описанный в учебнике, также предложен перечень необходимых приборов и материалов, и образец формы записи полученных данных. В работе говорится о том, что традиционные школьные лабораторные работы в физике часто представляют собой непродуктивную и методическую деятельность, где школьники воспроизводят методы работы, описанные в учебниках. Авторы обосновывают, что создание проблемной ситуации стимулирует развитие разных видов мышления и способствует усилению их мотивации к познанию предмета.

В статье [4] представлены результаты исследования, направленные на изучение вопросов использования в школьном курсе физики виртуальных лабораторных экспериментов. 70% из анкетированных респондентов-учителей считают, что применение виртуального лабораторного эксперимента способствует усвоению знаний изучаемого материала. Важно подчеркнуть, что 100% респондентов считают, что в процесс профессиональной подготовки учителей физики необходимо включить формирование компетенций по применению виртуального лабораторного эксперимента в школе.

Таким образом, проведенный выше обзор показывает, что тема в современной литературе описана хорошо, присутствуют множество теоретических аспектов по созданию мотивации в учебной сфере, но практических приёмов с помощью вспомогательного инструмента, как виртуальные лабораторные работы на положительный действующий результат в учебной деятельности, а также их реализация в педагогике учителей — мало.

Поэтому **целью настоящей работы** является исследование эффективности виртуальных лабораторных работ, как средства положительно-действующего инструмента в учебном процессе.



Виртуальные лаборатории предоставляют учащимся возможность выполнять эксперименты в виртуальной среде, где они могут наблюдать за процессом и анализировать результаты. Это помогает учащимся лучше понять физические явления и процессы, а также развить навыки работы с компьютером. Рассмотрим примерную схему проведения одной из лабораторных работ:

1. *Домашнее задание.* На уроке ученикам дается домашнее задание: перейти к сетевой версии лабораторной работы «Измерение силы тока амперметром». Сетевая версия представляет собой интерактивное учебное пособие разработано с учётом ФГОС ООО и примерных программ по физике основного общего образования [5].

2. *Выполнение лабораторной работы в классе.* Ученик после выполненной виртуальной лабораторной работы на уроке физики приступает к выполнению физического опыта, где должен убедиться, что результаты полученные в виртуальной лабораторной совпадают с результатами лабораторной выполненной в классе, далее педагог ставит следующую задачу, выдавая карточки с заданиями по теоретической и практической части выполненной работы. После учитель оценивает две работы, как домашнюю, так и классную работу.

Результаты исследования свидетельствуют, что виртуальные лабораторные работы являются активно действующим инструментом в целях повышения познавательного интереса к изучаемому предмету. Рассмотрим результаты, представленные в таблице 1. В таблице отображены данные исходящие из выполненных лабораторных работ по физике среди 8 классов по разделу «Электрические явления» [6], входящие в рабочую образовательную программу [7]. Среди участников исследования были 8 классы «Средней общеобразовательной школы №7», где классы «А» и «Б» выполняли оба вида работ, как виртуальную, так и традиционную лабораторную. В качестве сравнения пользы использования методики виртуальных лабораторных работ, другие два класса (8 «В», «Г») выполняли лабораторные работы в прежнем формате. Естественно, классы отличались по уровню освоения материала, заинтересованности в предмете и в выполнении поставленных задач, и для этого условились, что в каждой части параллели будет среднее количество учеников, у которых развита познавательная деятельность, а также присутствует слабая мотивированность к учёбе. Классы «А» и «Г» отличаются от других классов по динамике успеваемости в физике, где у первого — 76%, а у второго — 71%. Данные, приведенные в таблице, показывают процентное содержание положительных оценок восьмых классов, т.е. «4» и «5» или в словесном эквиваленте: «хорошо» и «отлично».

Таблица 1. Доля положительных оценок, %

Лабораторные работы	8 «А»	8 «Б»	8 «В»	8 «Г»
Виртуальная	91	64	-	-
Физическая	86	73	43	74

Наблюдения показывают, что большинство учеников работали с полной отдачей и проявляли инициативу в выполнении работы, также многие получали эмоциональное удовольствие от проделанной работы, это может свидетельствовать о том, что уровень активности на уроке возрос, а также обучающиеся стали более мотивированы на уроках физики. Из проведенного исследования можно сделать вывод, что виртуальные лабораторные работы эффективны в учебном процессе. Также виртуальные лабораторные работы могут быть особенно полезны в тех случаях, когда доступ к реальным лабораториям ограничен или невозможен, например, во время пандемии или при отсутствии необходимого оборудования. Они позволяют учащимся получить практический опыт и понимание концепций без необходимости физического присутствия в лаборатории. Результаты исследования могут быть полезны как для педагогов, так и для специалистов в области образования, стремящихся к оптимизации процесса обучения физике с использованием современных образовательных технологий.

### Литература и источники

1. Ширшова, Т.А. Лабораторные работы как средство мотивации и активизации учебной деятельности учащихся / Т.А. Ширшова, Т.А. Полякова // Омский научный вестник. – 2015. – № 4(141). – С. 188-190.
  2. Румбешта, Е.А. Активизация познавательной деятельности школьников при обучении физике / Е.А. Румбешта, Е.И. Жукевич, А.А. Власова // Научно-педагогическое обозрение. – 2021. – № 3(37). – С. 206-212.
  3. Ельцова, П. В. Проведение лабораторных работ по физике с использованием метода проблемного обучения / П.В. Ельцова, О.П. Мерзлякова // Формирование мышления в процессе обучения естественнонаучным, технологическим и математическим дисциплинам : материалы Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к юбилею Тамары Николаевны Шамало, Екатеринбург, 26–27 октября 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2020. – С. 82-85.
  4. Богатырева, Ю.И. О применении виртуального лабораторного эксперимента по физике в основной школе / Ю.И. Богатырева, Д.В. Шахаева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2016. – № 7(228). – С. 191-197.
  5. Интерактивные учебные пособия «ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ. ФИЗИКА» 8 класс [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://examen-media.ru/files/help/LR\\_Fiz\\_8.pdf](http://examen-media.ru/files/help/LR_Fiz_8.pdf)
  6. Перышкин, А.В. Физика. 8кл.: учебник / А.В. Перышкин. — М.: Дрофа, 2014. — 237 с.
  7. Федеральная рабочая программа основного общего образования по предмету «Физика» базовый уровень [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/20\\_ФРП-Физика\\_7-9-классы\\_база.pdf](https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/20_ФРП-Физика_7-9-классы_база.pdf)
- Научный руководитель – к.х.н., доцент Титов Ф.В., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА ДЛЯ УЧАЩИХСЯ****Юровский В.А.****ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»**[slavax002@gmail.com](mailto:slavax002@gmail.com)

**Аннотация:** В данной работе, рассматривается возможность численного моделирования движения математического маятника в рамках учебно-исследовательской деятельности для учащихся, на примере темы «Нелинейные колебания», с использованием современных программных средств. Основная цель работы – познакомить учеников с нелинейными процессами и дать им практический опыт использования компьютерного моделирования для изучения физических явлений. Использование современных математических пакетов позволяет учащимся сфокусироваться на целях исследования и снизить трудозатраты на разработку программ, что актуально для учащихся. В работе вводится понятие учебно-исследовательской работы, её цели и задачи. Описываются основные цели и задачи работы по численному моделированию явления. Приводится дифференциальное уравнение 2-го порядка для нелинейного и линейного маятника. Затем приведенное уравнение переписывается в виде эквивалентной системы из двух дифференциальных уравнений 1-го порядка, описывающих движение нелинейного математического маятника. В работе также кратко описаны основные функции среды Octave, которые используются для поиска численного решения системы дифференциальных уравнений и графического представления результатов. Результаты моделирования представлены в виде графика, иллюстрирующего зависимость угла отклонения и угловой скорости маятника от времени. Одной из полезных задач для учащихся, является задача определения периода колебаний при различных начальных углах отклонения. Это позволяет учащимся наглядно увидеть неизохронность нелинейного маятника. Приведен пример выполнения задания, а также описание полученных результатов. В заключении, описаны, какие знания должен получить учащийся в процессе выполнения работы, и подчеркивается их практическая значимость для дальнейшего применения в учебном процессе и дальнейшей научной деятельности.

**Ключевые слова:** Исследовательская деятельность учащихся, численное моделирование, нелинейный осциллятор.

Исследовательская деятельность учащихся по физике является эффективным инструментом развития их творческих способностей и критического мышления, способствует расширению общего кругозора и прививает интерес к научной работе. Основная цель учебно-исследовательской деятельности – образовательная, она направлена на углубление знаний и формирование исследовательского мышления [1]. В ходе работы над исследовательским проектом учащиеся учатся проводить наблюдения физических явлений, анализировать и интерпретировать полученную информацию, оформлять результаты в виде отчета, делать выводы. Они углубляют свои знания в конкретной области, изучая тему более детально, чем это заложено в учебной программе.

Учебно-исследовательская работа может познакомить учащихся с методами и техниками, используемыми в области исследовательской деятельности, в том числе некоторыми методами численного моделирования [2]. В представленной работе изучены возможности использования современных программных средств в учебно-исследовательской деятельности на примере темы «Нелинейные колебания». Изучение колебательных явлений играет важную роль в физике, так как они являются ключевыми для понимания многих физических процессов. Колебательные явления можно часто наблюдать в природе и технике, при этом школьные учебники ограничиваются описанием линейных колебаний. Это колебания, которые предполагают, что система ведет себя линейно, то есть реакция системы прямо пропорциональна воздействию. В реальности многие системы ведут себя нелинейно, что наиболее заметно при больших амплитудах колебаний. Увеличение амплитуды может привести к более сложному и интересному поведению системы.

Работа по численному моделированию обычно состоит из следующих задач. Выявление конкретной проблемы, которую планируется решить с помощью численного моделирования. Создание математической модели исследуемого объекта или процесса, отражающей его основные характеристики и законы. Разработка программного обеспечения для выбранного численного метода с целью решения исходной задачи. Запуск процесса численного моделирования и получение результатов. Анализ полученных данных, проверка их правильности и сопоставление с экспериментальными результатами или теоретическими вычислениями [3].

Рассмотрим задачу моделирования движения математического маятника в пренебрежении силами трения. Для численного моделирования движения математического маятника необходимо получить решение обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ) 2-го порядка [4]:

$$\ddot{\varphi} + (g/l) \sin \varphi = 0, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угол отклонения от положения равновесия,  $l$  – длина подвеса,  $g$  – ускорение свободного падения. Вследствие присутствия функции  $\sin \varphi$ , уравнение (1) является нелинейным, что не позволяет получить простое аналитическое решение, как в случае маятника линейного. Обозначим  $\omega_0^2 = g/l$  и перепишем уравнение (1) в виде эквивалентной системы из двух дифференциальных уравнений 1-го порядка:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = \omega, \\ \dot{\omega} = -\omega_0^2 \sin \varphi. \end{cases} \quad (2)$$

Решения системы (2) при различных заданных начальных условиях можно получить методом Рунге-Кутты с помощью математического пакета Octave, используя встроенную функцию `ode45`. Формат вызова функции `ode45` имеет вид «`[t, y] = ode45 (fun, trange, y0, ode_opt)`», где `fun` представляет строку, содержащую имя функции, определяющей ОДУ, параметр `trange` задает временной интервал, вектор `y0` содержит начальные значения угла отклонения и угловой скорости маятника. Четвертый аргумент `ode_opt` используется (опционально) для контроля погрешности, шага интегрирования и др. опции для решения ОДУ. Выходными параметрами для рассматриваемой задачи являются вектор-столбец `t` значений независимой переменной (времени) и матрица `y`, содержащая значения углов и скоростей в соответствующие моменты времени. Функция `plot` необходима для создания окна с простым графиком `x-y` по заданным координатам. Имеет множество модификаторов, таких как толщина линии, тип линии, маркеры точек, цвет линии.

С использованием языка программирования Octave была составлена программа, моделирующая движение линейного и нелинейного математического маятника. В ходе выполнения программы для маятника с  $l = 2$  м, выведенного из положения равновесия путем отклонения на угол  $30^\circ$ , были получены зависимости  $\varphi(t)$ ,  $\omega(t)$ , представленные на рис. (1).

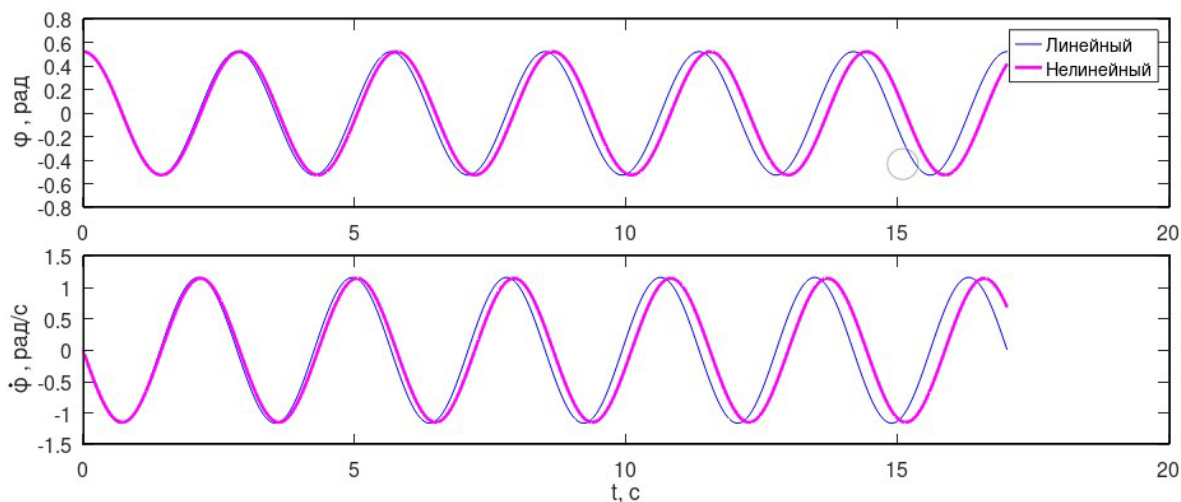


Рис. 1. Зависимости угла отклонения  $\varphi$  и угловой скорости маятника  $\dot{\varphi}$  от времени при начальном отклонении  $30^\circ$

Из рис. 1 учащийся может сделать вывод, что колебания нелинейного маятника отличаются от гармонических колебаний. Сравнивая полученные зависимости, можно отметить рост отличия в углах отклонения и угловой скорости линейного маятника от нелинейного, с течением времени. Это связано с тем, что при большем угле отклонения сила восстанавливающего момента у нелинейного маятника возрастает медленнее, чем у линейного, что увеличивает период его колебаний.

На основе полученного графика и составленной программы, учащимся в качестве задания предлагается рассчитать значение периода колебаний  $T$  при различных начальных углах  $\varphi_0$ , а затем построить соответствующий график зависимости  $T(\varphi_0)$ . Изменяя входные данные программы, можно также построить фазовый портрет нелинейного осциллятора. Пример выполнения этих заданий приведен на рис. 2.

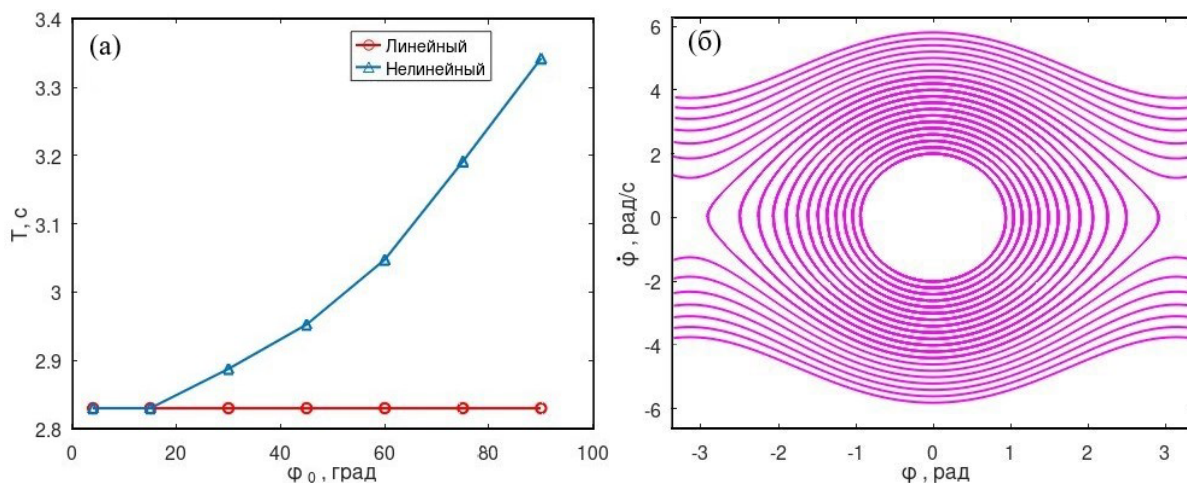


Рис. 2. (а) Зависимость периода колебаний  $T$  от начального угла отклонения  $\varphi_0$ .  
(б) Фазовый портрет нелинейного осциллятора

При увеличении начального угла отклонения нелинейного маятника (рис. 2(а)), его период увеличивается. Это явление связано с изменением восстанавливающего момента, когда маятник отклоняется от своего положения равновесия, он испытывает действие возвращающей силы, которая стремится вернуть его обратно. Возвращающий момент зависит от угла отклонения: для линейного маятника, чем больше угол, тем больше момент. В случае нелинейного осциллятора эта зависимость становится нелинейной, что приводит к увеличению периода колебаний с увеличением  $\varphi_0$ .

На фазовом портрете (рис. 2(б)) мы наблюдаем семейство замкнутых и незамкнутых кривых. Замкнутые кривые на фазовом портрете соответствуют колебаниям и при малых амплитудах близки по своей форме к эллипсам. В этом режиме движения материальная

точка осциллирует около положения равновесия, проходя через исходные значения координат и скоростей в каждом цикле колебаний. Незамкнутые кривые соответствуют режиму движения, в котором материальная точка вращается вокруг точки закрепления подвеса; система не возвращается к исходному состоянию и не проходит через исходные значения координат. Стоит отметить, что такой режим движения описывается только нелинейным уравнением; линейное ОДУ имеет только колебательное решение в виде гармонической функции. Две различные области на фазовом портрете разделяет кривая, проходящая через углы  $-\pi$  и  $\pi$  рад.

В ходе выполнения работы учащийся должен ознакомиться с материалом по теме «Нелинейные колебания», изучить вывод дифференциального уравнения для линейного и нелинейного маятника, рассмотреть метод численного моделирования движения маятника в среде Octave. Затем на основе изученного материала выполнить предложенные задания, построить и проанализировать временные зависимости и фазовые траектории, сделать вывод, что нелинейные колебания – это сложный процесс, зависящий от ряда параметров. Данная работа является примером того, как численные методы могут быть использованы для моделирования нелинейных колебаний. Полученные навыки учащийся сможет использовать не только при изучении физики, но и в других областях науки.

#### **Литература и источники**

1. Шабрыкина Н. С. Учебно-исследовательская работа старшеклассников по математике, физике, биологии (основы биомеханики). Пермь: Пушка, 2015. 54 с.
2. Рыжиков С. Б. Развитие исследовательских компетенций школьников при выполнении исследовательских работ по физике с использованием численного моделирования. М.: Школа Будущего, 2012. 232 с.
3. Вержбицкий В. М. Основы численных методов. М.: Высш. шк., 2002. 840 с.
4. Алдошин Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний. 2 изд. СПб.: Лань, 2022. 320 с.

*Научный руководитель – к. ф.-м. н., доцент Кособуцкий А. В., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗА И КРЕМНИЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Шамилова Р.И.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[rinata.shamilova@gmail.com](mailto:rinata.shamilova@gmail.com)

**Аннотация:** В представленной работе с помощью молекулярно–динамического моделирования производилось вычисление температурной зависимости упругих постоянных для кристаллов: алмаза и кремния с группой симметрии  $Fd\bar{3}m$ . Расчеты выполнены в программном пакете Lammps (Large–scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator) с использованием различных потенциалов межатомного взаимодействия: MEAM, EDIP, LCBOP, REBO, Tersoff (1988), его модификации Tersoff (1989), Tersoff (2003), Erhart–Albe в диапазоне температур от 25К до 600К, шаг по температуре составил 25К. Для вычисления упругих постоянных использовался код Айдана Томпсона (Aidan Thompson), поставляемый вместе с программным пакетом LAMMPS. Данный код включает в себя 13 процедур: первая – определение усредненных компонент тензора напряжений в равновесном состоянии. Далее для заданных деформаций проводятся расчеты шести компонент тензора напряжений, смещения происходит как в положительном, так и отрицательном направлениях вдоль выбранных деформаций. Расчеты по определению упругих постоянных происходили с использованием NVE ансамбля, температура в системе поддерживалась термостатом Ланжевена, шаг интегрирования по времени составил 1 fs (фемтосекунду), время моделирования – 100 000 временных шагов, усреднение компонент тензора напряжений производилось на последних 60 000 шагах. Основной код был дополнен блоком для нахождения равновесных параметров кристаллов при заданных температурах. Были получены зависимости упругих постоянных, коэффициента Пуассона, модулей объемного сжатия, Юнга, сдвига в приближениях Реусса, Фойгта и Фойгта–Реусса–Хилла от температуры, проведено сравнение полученных значений с экспериментальными данными. Показано, что в данном диапазоне температур не все потенциалы обеспечивают удовлетворительное поведение температурной зависимости упругих характеристик. Наиболее приемлемым оказался потенциал на основе метода погруженного атома (MEAM).

**Ключевые слова:** Алмаз, кремний, потенциалы взаимодействия, молекулярная динамика, математическое моделирование.

С помощью молекулярно–динамического моделирования производилось вычисление температурной зависимости упругих постоянных для кристаллов: алмаза и кремния с группой симметрии  $Fd\bar{3}m$ . Этот метод представляет собой эффективный инструмент для предсказания свойств, дополнения экспериментальных данных и изучения процессов в различных молекулярных системах.

В данной работе исследовались наиболее распространенные потенциалы взаимодействия, с целью выявления наиболее подходящих для описания температурной зависимости упругих характеристик алмаза и кремния. Все расчеты были выполнены в программном пакете LAMMPS [1-2] (Large–scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator) в диапазоне температур от 25 К до 600 К, шаг по температуре составил 25К. В процессе моделирования тестировались следующие потенциалы межатомного взаимодействия: MEAM [3], EDIP [4], LCBOP [5], REBO [6], Tersoff (1988) [7], его модификации Tersoff (1989) [8], Tersoff (2003) [9], Erhart–Albe [10].

Для вычисления упругих постоянных использовался код Айдана Томпсона (Aidan Thompson), поставляемый вместе с пакетом LAMMPS. Данный код включает в себя 13 процедур: первая – определение усредненных компонент тензора напряжений в равновесном состоянии. Далее для заданных деформаций проводятся расчеты шести компонент тензора напряжений, смещения происходит как в положительном, так и отрицательном направлениях вдоль выбранных деформаций. Расчеты по определению упругих постоянных происходили с



использованием NVE ансамбля, температура в системе поддерживалась термостатом Ланжевена, шаг интегрирования по времени составил 1 fs (фемтосекунду), время моделирования – 100 000 временных шагов, усреднение компонент тензора напряжений производилось на последних 60 000 шагах.

Поскольку перед вычислением упругих постоянных необходимо привести систему в состояние, при котором отсутствуют какие-либо напряжения в кристалле, в данный код был встроен предварительный блок для нахождения равновесных параметров исследуемого кристалла при заданной температуре. Расчет происходил с использованием NPT ансамбля, время моделирования – 300 000 временных шагов, на последних 200 000 шагах производилось вычисление средних равновесных параметров решетки. Для контроля корректности проведенных вычислений, также вычислялись средние давление и температура в системе. После этого кристалл трансформировался в соответствии с найденными структурными параметрами.

Графическое представление полученных результатов для алмаза представлено на рисунке 1. Видно, что потенциалы LCBOP и REBO приводят к неверной зависимости упругих постоянных от температуры: для LCBOP  $C_{44}$  и  $C_{12}$ , а для REBO  $C_{12}$  увеличиваются с ростом температуры. Для потенциалов MEAM, Tersoff (1989) и Tersoff (2003) эти зависимости носят убывающий характер, однако убывание  $C_{11}$  и  $C_{44}$  происходит гораздо быстрее, чем показывают экспериментальные данные [11]. Потенциалы Tersoff (1989) и Tersoff (2003) лучше описывают температурную зависимость для  $C_{11}$ , относительные погрешности составляют менее 5%, однако для  $C_{44}$  и  $C_{12}$  они больше 8%, что существенно выше, чем при использовании потенциала MEAM (таблица 1).

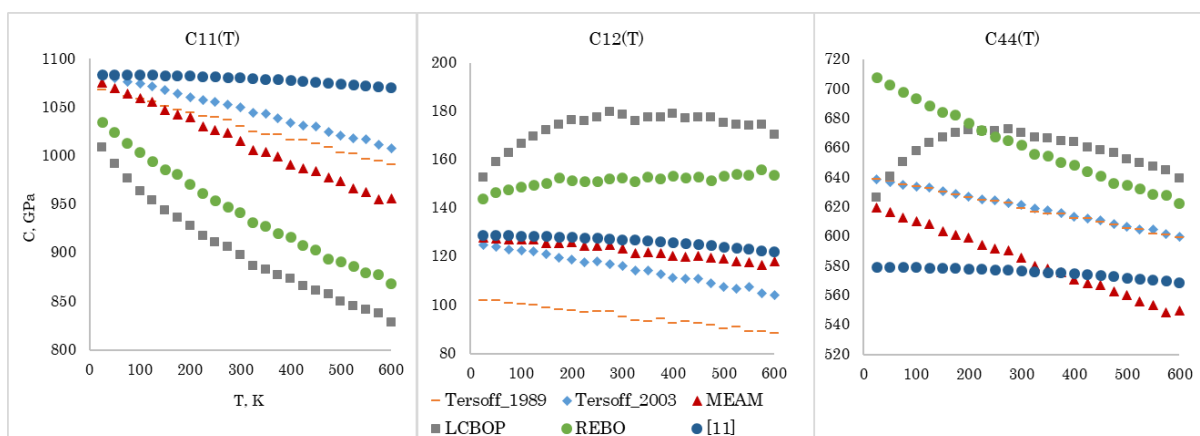


Рисунок 6. Температурная зависимость упругих постоянных алмаза

Для кремния результаты вычислений представлены на рисунке 2. Для потенциала EDIP значение упругой постоянной  $C_{11}$  хорошо согласуется с полученными в эксперименте [12], однако при этом  $C_{12}$  заметно увеличивается с ростом температуры, так что этот потенциал не подходит для определения температурной зависимости. Для Tersoff (1988) значения  $C_{11}$  и  $C_{44}$  существенно отличаются от приведенных в [12]. Здесь для определения температурной зависимости лучше подходят потенциалы Erhart–Albe и MEAM, однако относительная погрешность при определении  $C_{44}$  с использованием потенциала Erhart–Albe больше, чем у потенциала MEAM (таблица 1).



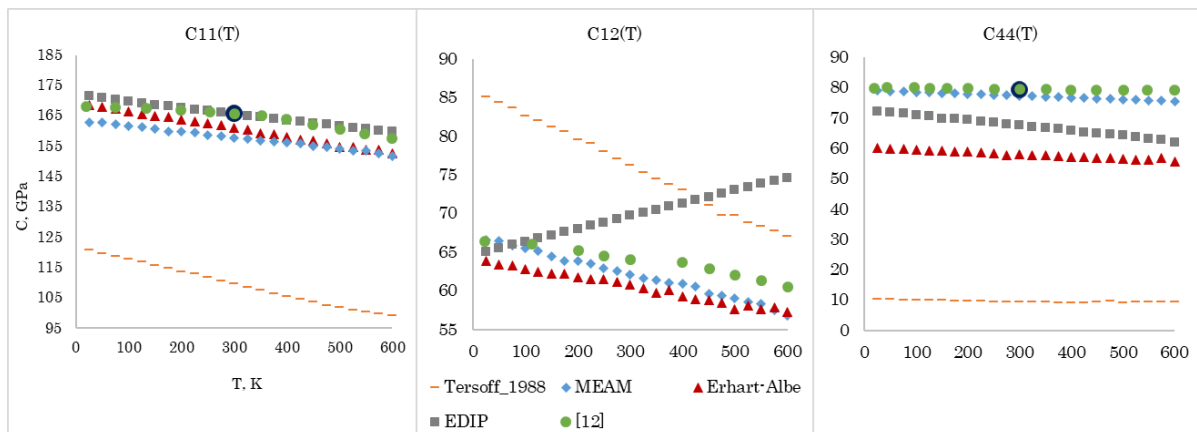


Рисунок 7. Температурная зависимость упругих постоянных кремния

В таблице 1 произведено сравнение вычисленных в этой работе упругих постоянных с экспериментально определенными в работах [11, 12].

Таблица 1. Сравнение рассчитанных упругих постоянных (ГПа) для алмаза и кремния с экспериментально определенными в работах [11, 12] при температуре  $T = 300$  К

	Алмаз			Кремний		
	[11]	MEAM	Tersoff (2003)	[12]	MEAM	Erhart-Albe
$C_{11}$ , ГПа	1080.4	1015.8 $\delta = -6\%$	1049.7 $\delta = -3\%$	165.8	157.2 $\delta = -5\%$	160.3 $\delta = -3\%$
$C_{12}$ , ГПа	127.0	123.1 $\delta = -3\%$	116.2 $\delta = -9\%$	64.1	62.1 $\delta = -3\%$	60.8 $\delta = -5\%$
$C_{44}$ , ГПа	576.6	585.6 $\delta = 2\%$	621.4 $\delta = 8\%$	79.5	77.4 $\delta = -3\%$	58.1 $\delta = -27\%$

Для потенциалов, описывающих удовлетворительное поведение зависимости упругих постоянных от температуры, были рассчитаны модули объемного сжатия  $B$ , сдвига  $G$  в приближениях Реусса, Фойгта и Фойгта–Реусса–Хилла, Юнга  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$ .

Таблица 2. Расчетные и экспериментальные значения упругих характеристик алмаза и кремния

Алмаз, $T=300$ К						
	$B$ , ГПа	$G_V$ , ГПа	$G_R$ , ГПа	$G_H$ , ГПа	$E_H$ , ГПа	$\nu_H$
[11]	444.8	536.6	532.0	534.3	1144.6	0.07
Tersoff (2003)	439.8 $\delta = -1\%$	570.8 $\delta = 6\%$	559.7 $\delta = 5\%$	565.2 $\delta = 6\%$	1187.1 $\delta = 4\%$	0.05
MEAM	437.7 $\delta = -2\%$	552.8 $\delta = 3\%$	543.3 $\delta = 2\%$	548.0 $\delta = 3\%$	1160.0 $\delta = 1\%$	0.06
Кремний, $T=300$ К						
[12]	98.0	68.1	64.9	66.5	162.6	0.2
MEAM	94.0 $\delta = -4\%$	65.6 $\delta = -4\%$	62.1 $\delta = -4\%$	63.8 $\delta = -4\%$	156.2 $\delta = -4\%$	0.2
Erhart-Albe	94.2 $\delta = -4\%$	54.9 $\delta = -19\%$	54.6 $\delta = -16\%$	54.8 $\delta = -18\%$	137.7 $\delta = -15\%$	0.3

Согласно полученным данным, наиболее удачным потенциалом для описания упругих характеристик монокристаллических алмаза и кремния является потенциал на основе метода погруженного атома (MEAM).

### Литература и источники

1. A. P. Thompson, H. M. Aktulga, R. Berger, D. S. Bolintineanu, W. M. Brown, P. S. Crozier, P. J. in 't Veld, A. Kohlmeyer, S. G. Moore, T. D. Nguyen, R. Shan, M. J. Stevens, J. Tranchida, C. Trott, S. J. Plimpton. LAMMPS - a flexible simulation tool for particle-based materials modeling at the atomic, meso, and continuum scales. // *Comp Phys Comm.* — 2022. — V. 271. — P. 10817.
2. LAMMPS Molecular Dynamics Simulator. — URL: <https://www.lammps.org> (online; accessed on Jan. 24, 2024).
3. B.-J. Lee. A modified embedded atom method interatomic potential for silicon // *Calphad.* — 2007. — V. 31, Is. 1. — P. 95–104.
4. J. F. Justo, M. Z. Bazant, E. Kaxiras, V. Bulatov, S. Yip. Interatomic Potential for Silicon Defects and Disordered Phases. // *Phys. Rev. B.* — 1998. — V. 58, Is.5. — P. 2539–2550.
5. J. H. Los, A. Fasolino. Intrinsic long-range bond-order potential for carbon: Performance in Monte Carlo simulations of graphitization // *Phys. Rev. B.* — 2003. — V. 68, Is. 2. — P. 024107.
6. D. W. Brenner, O. A. Shenderova, J. A. Harrison, S. J. Stuart, B. Ni, S. B. Sinnott. A second-generation reactive empirical bond order (REBO) potential energy expression for hydrocarbons // *J. Phys.: Cond. Matter.* — 2002. — V. 14, Is.4. — P. 783–802.
7. J. Tersoff. New empirical approach for the structure and energy of covalent systems // *Phys. Rev. B.* — 1988. — V. 37, Is. 12. — P. 6991–7000.
8. J. Tersoff. Modeling solid-state chemistry: Interatomic potentials for multicomponent systems // *Phys. Rev. B.* — 1989. — V. 39, Is.8. — P. 5566–5568.
9. J. Nord, K. Albe, P. Erhart, K. Nordlund. Modelling of compound semiconductors: analytical bond-order potential for gallium, nitrogen and gallium nitride. // *J. Phys.: Cond. Matter* — 2003. — V.15, Is. 32. — P.5649–5662.
10. P. Erhart, K. Albe. Analytical potential for atomistic simulations of silicon, carbon, and silicon carbide. // *Phys. Rev. B.* — 2005. — V. 71, Is. 3. — P. 035211.
11. G. Gao, K. Van Workum, J. David Schall, J.A. Harrison. Elastic constants of diamond from molecular dynamics simulations. // *J Phys.: Cond. Matter.* — 2006. — V. 18, Is.32. — P. S1737-S1750.
12. [Z. Liu. Temperature-Dependent Elastic Constants and Young's Modulus of Silicon Single Crystal. // Proc. MEDSI20, Chicago, IL, USA. — 2021. — P. 324-326.](#)

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

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

*Мертенс М.П.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[Mertens\\_mp@gkl-kemerovo.ru](mailto:Mertens_mp@gkl-kemerovo.ru)

**Аннотация:** Значительный интерес в настоящее время вызывают полимерные нанокompозитные материалы, в которых в качестве нанонаполнителей используют углеродные нанотрубки. Одним из них является нанокompозит на основе поливинилового спирта. Введение углеродных материалов в полимер может способствовать значительному увеличению электропроводности, что позволит существенно расширить области применения поливинилового спирта. В работе рассматривается получение композиционного материала на основе поливинилового спирта и углеродных нанотрубок. В качестве наполнителей полимерной матрицы были исследованы оригинальные, окисленные в смеси азотной и серной кислот и модифицированные поливиниловым спиртом углеродные нанотрубки. В качестве растворителей были использованы дистиллированная вода или смесь дистиллированная вода/диметилсульфоксид в соотношении 5:1. Показано, что оригинальные нанотрубки плохо распределяются в полимерной матрице, как при использовании воды, так и в диметилсульфоксиде. Функционализация их поверхности кислородсодержащими группами незначительно улучшает этот процесс. Относительно хорошего распределения углеродных нанотрубок удается добиться после проведения их функционализации поливиниловым спиртом при помощи реакции этерификации. При этом лучшие результаты получаются, если использовать в качестве растворителя диметилсульфоксид. Для полученных образцов материала были определены прочность и электропроводность. Установлено, что введение углеродных нанотрубок в поливиниловый спирт во всех случаях приводит к увеличению электропроводности материала, при этом, чем больше концентрация трубок, тем больше электропроводность. Но при этом высокие концентрации углеродных нанотрубок значительно уменьшают прочность, что, вероятно, связано с ухудшением их распределения в полимерной матрице.

**Ключевые слова:** Полимерные композиты, поливиниловый спирт, углеродные нанотрубки, функционализация нанотрубок.

В последние годы значительный интерес ученых вызывают полимерные нанокompозитные материалы. Целью исследований, проводимых в этой области, является создание материалов, обладающих новыми или улучшенными характеристиками. Это может быть достигнуто путем введения в полимерную матрицу наночастиц. Ассортимент используемых для этих целей нанонаполнителей в настоящее время очень широк. Это наночастицы металлов, наноглины, нановолокна, фибриллы, нанопроводники и нанонити. Введение даже очень малых количеств таких наполнителей может заметно изменить свойства полимера, такие как электропроводность, теплопроводность, механические характеристики, химическую и термическую устойчивость и т.д.

Очень популярными в качестве нанонаполнителей являются углеродные наноматериалы, особенно углеродные нанотрубки (УНТ). Уникальные свойства таких нанокompозитов в настоящее время позволяют создавать новые материалы для разработки и производства современной медицинской техники и машиностроительной продукции в промышленных масштабах. Свойства нанокompозитов, в несколько раз превышающие свойства материалов традиционной технологии, обеспечивают работоспособность передовых конструкций новой техники – термоядерного реактора, искусственного сердечного клапана, традиционных

элементов современной техники и прочее. Уже сейчас существует множество различных по составу композитов с добавкой нанотрубок и их состав напрямую зависит от назначения материала. [1]

Многообещающим полимерным материалом является поливиниловый спирт (ПВС), который широко используется в медицине, топливных элементах, оптических волноводных датчиках, датчиках влажности, поляризаторах и голографических решетках, а также в качестве материала диэлектрического слоя в органических тонкопленочных транзисторах [2]. Поливиниловый спирт обладает отличными адгезионными, эмульгирующими и пленкообразующими свойствами, высокой прочностью на растяжение и гибкостью. Кроме того, он является биосовместимым материалом и был предложен в качестве биоматериала, который пригоден для имитации тканей и сосудов. Однако, он имеет плохие проводящие свойства, что ограничивает его применение. Наличие электропроводности позволило бы использовать его в таких областях, как системы сбора биосигналов или доставка лекарств [3].

Целью настоящей работы стало получение композиционного материала на основе поливинилового спирта и углеродных нанотрубок и исследование его физико-механических характеристик.

Для проведения исследований полученного композита на электропроводность, прочность и упругость необходимо было подготовить образцы в виде тонких пленок толщиной не более 0,1 мм. Для этого готовили 6% раствор ПВС в растворителе при постоянном перемешивании и нагревании на водяной бане при 90°C в течение 1,5 часов. К полученному раствору добавляли предварительно приготовленную путем перемешивания и обработки ультразвуком дисперсию нанотрубок в растворителе. В качестве растворителей были использованы дистиллированная вода или смесь дистиллированная вода/ДМСО в соотношении 5:1. Готовую смесь выливали на подложку и оставляли до высыхания на воздухе. Затем исследовали физико-механические свойства полученных пленок. Прочность на разрыв измеряли при помощи модифицированной разрывной машины РМБ-30, толщину пленок определяли при помощи микрометра на пластометре, электрическое сопротивление измеряли при помощи тераомметра Е6-13А.

В работе был использован линейный ПВС с молекулярной массой 146,000-186,000 Да и степенью гидролиза ацетатных групп 99% (Sigma Aldrich, США). В качестве углеродных наноматериалов применяли оригинальные одностенные углеродные нанотрубки (производитель Aldrich), окисленные одностенные УНТ и УНТ, модифицированные поливиниловым спиртом. Оригинальные УНТ плохо диспергируются в использованных растворителях. Модифицирование нанотрубок является одним из наиболее перспективных способов улучшения качества их диспергирования в органических растворителях. Поэтому для улучшения распределения УНТ в полимерной матрице предварительно проводили их окисление в смеси азотной и серной кислот (рис. 1) по описанной методике [4]. Прививка таким образом карбоксильной группы на поверхности УНТ должна приводить к образованию более стабильных дисперсий. Но образцы после окисления и высушивания становились более плотными, т.е. окисление приводило к слипанию УНТ. Лучшие результаты удалось получить при использовании окисленных УНТ, модифицированных ПВС (рис. 1). Для этого окисленные трубки вводили в реакцию этерификации с ПВС в присутствии 1,3-дициклогексилкарбодиимида, 4-диметиламинопиридина и гидроксibenзотриазола [5].

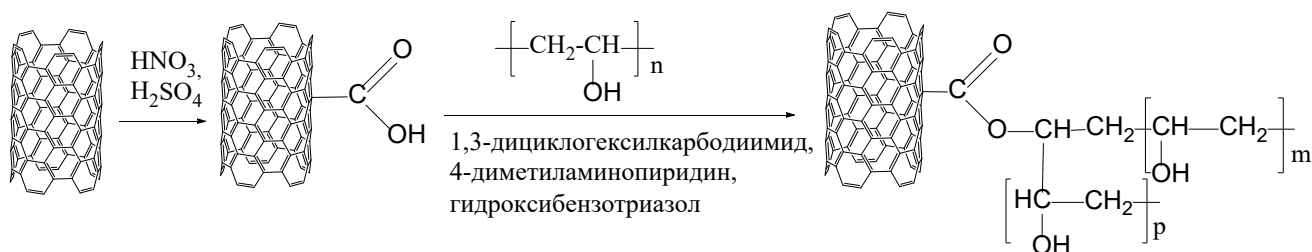


Рисунок. 8. Функционализация нанотрубок

Введение УНТ в ПВС во всех случаях приводит к увеличению электропроводности материала, при этом, чем больше концентрация трубок, тем больше электропроводность. Но высокие концентрации УНТ значительно уменьшают прочность, что, вероятно, связано с ухудшением их распределения в полимерной матрице.

### Литература и источники

1. Бадамшина Э.Р., Гафурова М.П., Эстрин Я.И. Модифицирование углеродных нанотрубок и синтез полимерных композитов с их участием // Успехи химии. Химия. 2010. Т. 79. N. 11. С. 1027–1064
2. Facchetti A., Yoon M.-H., Marks T.J. Gate Dielectrics for Organic Field-Effect Transistors: New Opportunities for Organic Electronics // Adv. Mater. 2005. V. 17. N 14. P. 1705–1725.
3. Batayneha J., Alqudahb A. Electrical Stimulated Polyvinyl Alcohol-Borax-Graphene Hydrogel for Drug Releasing and Delivery // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. 2022. V. 15. N. 1. P. 32–44
4. Резвова М.А., Никитин А.П., Малышева В.Ю., Акентьева Т.Н., Ефимова О.С., Исмагилов З.Р., Овчаренко Е.А. Модифицирование додециламином углеродных наноматериалов для улучшения качества их диспергирования в хлороформе // Российские нанотехнологии. Химия. 2021. Т. 17. N. 3. С. 323–332
5. Lin Y., Zhou B., Shiral F., Liu K. A., Allard P. Polymeric Carbon Nanocomposites from Carbon Nanotubes Functionalized with Matrix Polymer // L.E. & Sun, Y. P. 2003. Macromolecules, V. 36 N. 19, P. 7199- 7204

*Научный руководитель – к.х.н., доцент Ткаченко Т.Б., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ CuO-Ni И Cu-Ni В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ 523 К

Лысенко А.А.

ФГБОУ ВО "Кемеровский Государственный Университет"

[anastasiyalysenko01@mail.ru](mailto:anastasiyalysenko01@mail.ru)

**Аннотация:** Исследования оптических свойств наноразмерных пленок меди, никеля и систем CuO-Ni, Cu-Ni при температуре ( $T=523$  К) показали, что слой никеля на поверхности слоя меди способен защищать его от окисления в течение определенного времени в системе Cu-Ni. После первых минут обработки оптическая плотность меди уменьшается в диапазоне от 440 нм до 1100 нм, тогда как от 300 нм до 440 нм оптическая плотность увеличивается, формируется край полосы поглощения оксида одновалентной меди. При последующем прогреве значения оптической плотности от 450 нм до 950 нм увеличиваются, но при этом в диапазоне от 300 нм до 450 нм оптическая плотность уменьшается, формируется край полосы поглощения оксида двухвалентной меди. Сравнивая спектры системы CuO-Ni с индивидуальной пленкой меди, заметно, что они практически идентичны по форме, но отличаются приблизительно на величину оптической плотности оксида никеля (II). Данные результаты свидетельствуют о превращении слоя никеля в оксид никеля (II) на поверхности оксида меди двухвалентного. При сравнении спектров системы Cu-Ni и индивидуальной пленки меди в процессе тепловой обработки установлено, что медь гораздо быстрее превращается в одновалентный оксид, чем находясь в системе Cu-Ni. Характерный для меди минимум поглощения сохраняется в системе значительно дольше. После завершения термического воздействия спектр системы Cu-Ni существенно меняет свой вид. При этом оптическая плотность рассматриваемой системы меньше значений оптической плотности системы CuO-Ni и индивидуальной пленки меди после прогрева в интервале длин волн от 420 нм до 750 нм. Следовательно, можно предположить, что в системе Cu-Ni медь окисляется только до одновалентного оксида меди.

**Ключевые слова:** Наноразмерные пленки, медь, никель, системы, термическое воздействие, оптическая плотность.

В последние десятилетия стремительно развиваются исследования и изучения в области низкоразмерных структур, таких материалов как ультратонкие металлические пленки и различные пленочные структуры с нанометровой толщиной. Вполне оправданно, что исследователи уделяют особое внимание таким наноразмерным материалам. Медь и никель это одни из самых важнейших металлов, которые применяют в промышленности и различных технологиях. И теперь эти металлы в наномасштабе представляют интерес для ученых-исследователей. Никель широко используется в производстве стали и других металлических сплавов, что улучшает прочность и стойкость к разрыву и коррозии. Также из-за своей токопроводящей способности никель очень часто применяется в электронике, медицине. Эти пленки обладают уникальными свойствами, которые позволяют создавать более прочные и эффективные устройства. Медь и ее соединения активно используются в различных отраслях промышленности, включая электротехническую, текстильную, машиностроительную, авиационную [1 - 3].

В данной работе представлены результаты исследования оптических свойств наноразмерных пленок меди (толщиной 27 нм), никеля (толщиной 12 нм), систем CuO-Ni, Cu-Ni до и после термического воздействия при  $T=523$  К.

Наноразмерные пленки меди и никеля получали термическим испарением порошков соответствующих металлов в вакууме и осаждением на стеклянные подложки с помощью вакуумного универсального поста "ВУП - 5М" при давлении остаточного газа в вакуумной камере  $2 \cdot 10^{-3}$  Па [3].

В качестве испарителя использовался лодочки из молибденовой и вольфрамовой жести. В качестве подложек применялись стекла, которые проходили необходимую химическую обработку с помощью концентрированной азотной кислоты, раствора хромовой смеси и

кипящей воды, промывали дистиллированной водой и сушили [4]. Обработанные подложки оптически прозрачны во всем диапазоне длин волн (300-1100 нм).

Исследование пленок и системы до и после нагрева при ( $T=523$  К) проводили на спектрофотометре «Shimadzu UV - 1700». Термическую обработку проводили в муфельной печи. Далее по снятым спектрам поглощения определяли толщину пленок меди и никеля по закону Бугера Ламберта Бера. Толщина наноразмерных пленок составила: для Cu ( $d=27$  нм), для Ni ( $d=12$  нм).

На рис. 1 представлены спектры поглощения наноразмерной пленки Cu до и после нагревания при температуре 523 К. На данном рисунке видим исходный спектр пленки меди, который имеет «V-образную» форму в видимой области, то есть имеется минимум поглощения при 580 нм. В результате тепловой обработки можно наблюдать следующее. После первых десяти минут обработки оптическая плотность меди уменьшается в диапазоне от 440 нм до 1100 нм, тогда как от 300 нм до 440 нм оптическая плотность увеличивается. Это объясняется тем, что в первые несколько минут образуются оксид одновалентной меди [1]. При последующем прогреве значения оптической плотности от 450 нм до 950 нм увеличивается до неизменных значений (вплоть до 225 минут прогрева), но при этом в диапазоне от 300 нм до 450 нм оптическая плотность уменьшается, также наблюдается незначительное уменьшение оптической плотности в диапазоне от 950 нм до 1100 нм. Это объясняется тем, что образуется, вероятно, оксид двухвалентной меди.

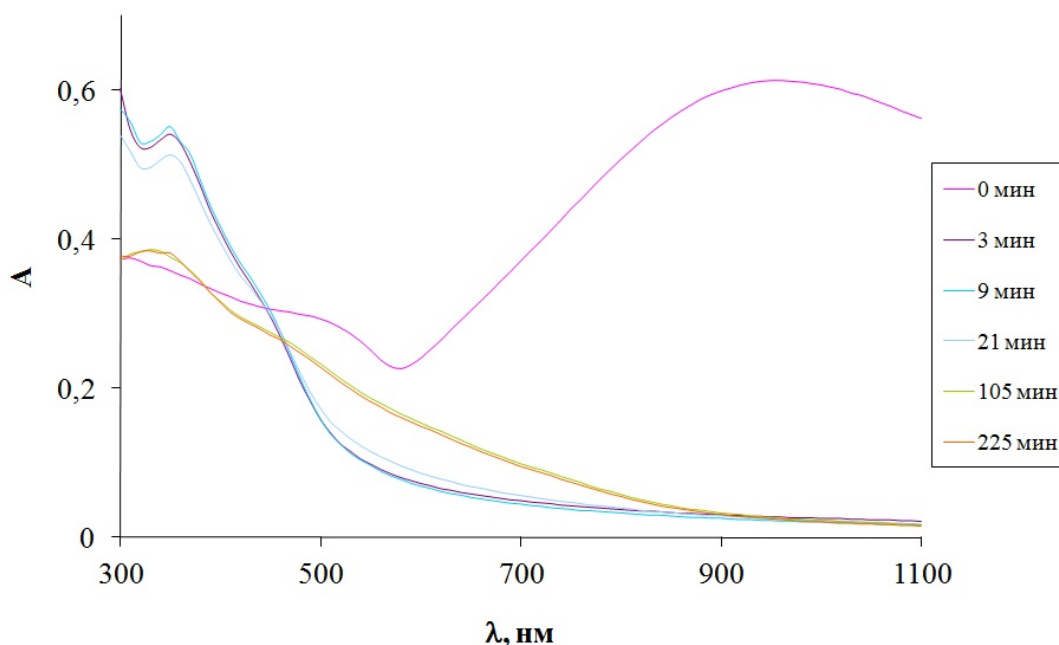


Рисунок 1. Спектры поглощения индивидуальной пленки меди ( $d=27$  нм) до и после термического воздействия при  $T=523$ К

При нагревании индивидуальной пленки никеля уменьшается оптическая плотность во всем измеряемом диапазоне. При этом формируется образование нового вещества в коротковолновой области от 300 нм до 450 нм. Предположительно, согласно литературным данным [3] оксид никеля двухвалентный.



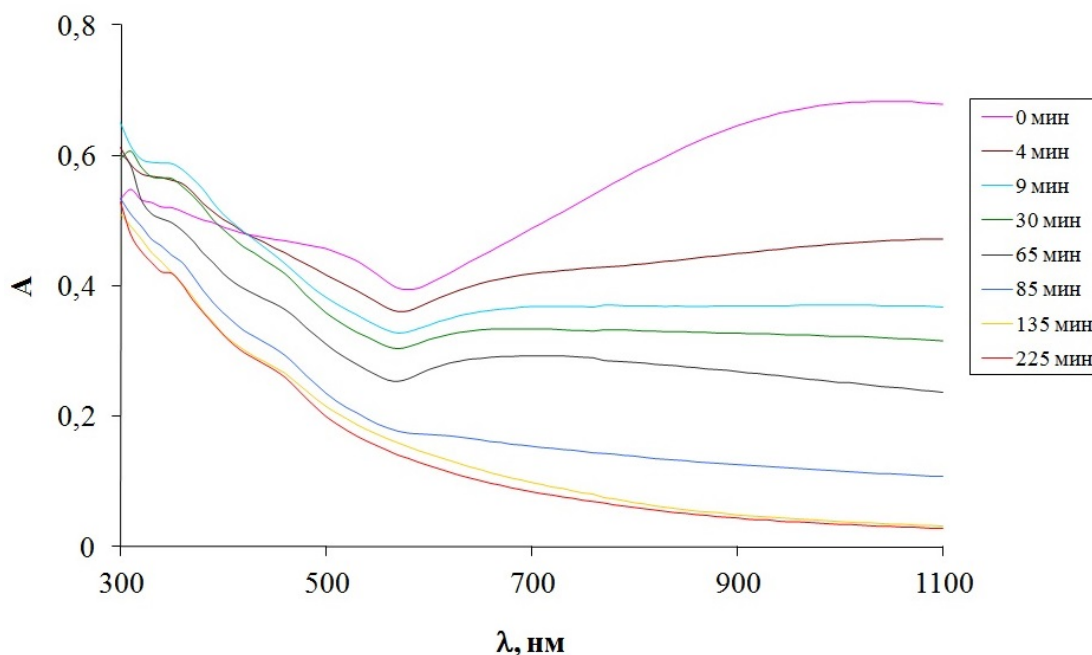


Рисунок 2. Спектры поглощения системы Cu-Ni до и после термического воздействия при T=523K

На рис.2 представлены спектры поглощения системы Cu-Ni до и после нагревания при температуре 523 К. На этом рисунке видим схожесть со спектром индивидуальной пленки меди, который также имеет «V-образную» форму. Далее при первых минутах нагрева видим увеличение оптической плотности от 300 нм до 420 нм, а от 420 нм до 1100 нм ее уменьшение. При дальнейшем прогреве оптическая плотность продолжает уменьшаться, вид кривых сохраняется относительно кривой до нагрева, но при этом минимум при 570 нм становится менее ярко выраженным. А при более длительных временах воздействия оптическая плотность уменьшается, вид кривых меняется, характерный для меди минимум поглощения исчезает.

При сравнении индивидуальной пленки меди и системы Cu-Ni, видим что медь гораздо быстрее превращается в одновалентный оксид, чем находясь в системе. Это говорит о том, что никель способен защищать медь от окисления.

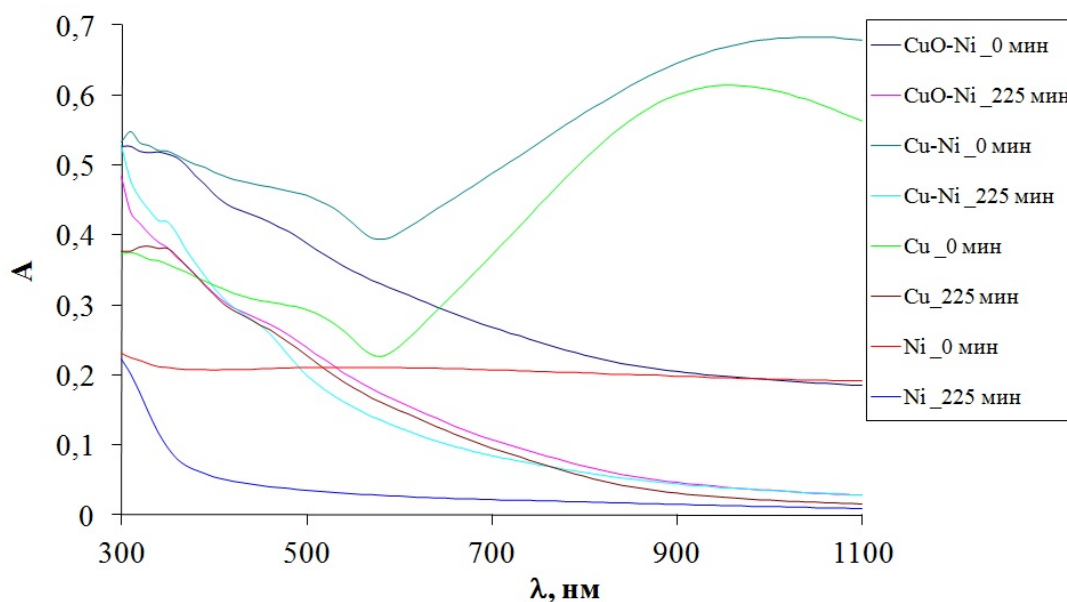


Рисунок 3. Спектры поглощения исследуемых объектов до и после термического воздействия при T=523K

На рис.3 представлены спектры поглощения системы CuO-Ni и Cu-Ni и индивидуальных пленок Cu и Ni до и после окончания термического воздействия при температуре 523К. На



данном рисунке CuO-Ni остается неизменным по форме после термического воздействия. Что подтверждает превращение никеля в его оксид на поверхности оксида меди двухвалентного. А вот уже система Cu-Ni меняет свой вид, как было отмечено выше. Если сравнивать систему CuO-Ni с индивидуальной пленкой меди, то они практически идентичны по форме, но отличаются приблизительно на величину оптической плотности оксида никеля. Тогда как оптическая плотность системы Cu-Ni меньше значений (А) CuO-Ni и Cu после прогрева в интервале от 420 нм до 750 нм. Следовательно, можно предположить, что в системе Cu-Ni медь окисляется только до одновалентного оксида меди.

#### Литература и источники

1. Surovoi, E.P., Borisova, N.V., Thermal transformations in nanosized copper layers, Russ. J. Phys. Chem. A, 2010, vol. 84, no. 2, pp. 255–261.
2. Логунов, А.Е. Оптические методы исследования металлических наночастиц на поверхности прозрачных диэлектриков: автореферат на соискание ученой степени канд. физ-мат. наук: 01.04.05. / А.Е. Логунов. - Санкт-Петербург, 2009. – 22 с.
3. 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.
4. 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: Кузбассвузиздат, 2008. - 182 с.
5. 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 – к.х.н., доцент Бин С.В., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

УДК 547.361.2; 691.175.5/8

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИДОФАМИНОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Фокеева М.П.<sup>1</sup>, Резвова М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний

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

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

**Аннотация:** Поливиниловый спирт (ПВС) благодаря высокой биологической совместимости, гидрофильности, пористой структуре и уникальным упруго-деформационным свойствам может использоваться в качестве основы для создания новых материалов для замены тканей и органов сердечно-сосудистой системы, таких как сосуды и клапаны сердца. Однако ПВС имеет низкую износостойкость, что требует поиска новых модификаций. Одной из таких модификаций может стать синтез полидофаминового покрытия на поверхности криогеля на основе ПВС. Полидофамин (ПДА) – биосовместимый полимер, который гидрофилизует поверхность материалов и может быть основой для ковалентного связывания соединений, обладающих биологической активностью, в простой реакции нуклеофильного присоединения.

В ходе настоящего исследования выполнен синтез покрытий полидофамина на криогелях ПВС, полимеризованных при разных значениях рН. Структура полученных материалов изучена с использованием методов стереомикроскопии и сканирующей электронной микроскопии. Кроме того, выполнена оценка контактного угла смачивания и механических свойств полученных материалов. После модифицирования поверхности криогеля полидофамином наблюдали изменение цвета с белого на черный (коричневый при просвете). Так же отмечали окрашивание среза полимерного криогеля, что подтверждает проникновение полидофамина в структуру криогеля. Образцы имеют визуальные различия в структуре покрытий, в зависимости от рН при котором происходила полимеризация дофамина: покрытие, полученное в щелочной среде, более рыхлое и имеет множество мелких пор; слой ПДА, полимеризованный в кислой среде более равномерный, меньше крупных пор. В ходе испытаний установили, что все полученные покрытия являются гидрофильными и имеют тенденцию к росту механических свойств, особенно прочности.

**Ключевые слова:** Поливиниловый спирт, полидофамин, криогели, механические свойства, гидрофильность.

Треть от общего числа смертей в мире приходится на случаи, связанные с сердечно-сосудистыми заболеваниями – более 17,9 миллионов ежегодно [1]. Поэтому получение и исследование новых полимерных биоматериалов, способных заменять элементы кровеносной системы организма человека, является актуальной задачей современной науки. В качестве основы для создания таких материалов может быть использован поливиниловый спирт (ПВС). ПВС имеет высокую биологическую совместимость и гидрофильность, а также нетоксичен и неканцерогенен. Помимо того, что ПВС превосходно удерживает воду, он обеспечивает мукоадгезию, кислородопроницаемость, а также имеет высокую ферментативную и химическую устойчивость. Тем не менее ПВС имеет низкую износостойкость, и не способен адгезировать клетки на своей поверхности, что в совокупности ограничивает применение конструкций на основе полимера в тканевой инженерии. Структурные особенности ПВС позволяют регулировать его свойства, посредством введения различных модифицирующих компонентов. Одной из таких модификаций может быть синтез полидофаминового покрытия на поверхности криогеля на основе ПВС. Полидофамин (ПДА) – биосовместимый полимер, который гидрофилизует поверхность материалов и может быть основой для ковалентного связывания соединений, обладающих биологической активностью, в простой реакции нуклеофильного присоединения [2].

Целью работы является получение и исследование свойств полидофаминовых покрытий на поверхности криогелей поливинилового спирта.

В качестве вещества для получения полимерной матрицы использовали линейный ПВС с молекулярной массой 146,000-186,000 Да и степенью гидролиза ацетатных групп 99% (Sigma Aldrich, США). Навеску полимера растворяли в воде при нагревании до 90-95°C и постоянном перемешивании. Затем, готовый однородный раствор полимера формировали в пласти толщиной 1 мм, с помощью специально подготовленных стеклянных подложек. Далее раствор полимера подвергали замораживанию при температуре -40°C в течение 24 ч с последующим постепенным размораживанием до комнатной температуры (25°C). Процедуру повторяли трижды. Готовые полимерные криогели отмывали от остатков линейного ПВС с использованием шейкера в течение 24 ч и хранили в дистиллированной воде в холодильнике.

Для получения полидопаминового покрытия готовили следующие растворы: 1) 20 мг дофамина гидрохлорида (Sigma Aldrich, Германия) растворяли в 10 мл 10 мМ Tris-HCl pH 8,5 (Bioworld, США) [3]; 2) 20 мг дофамина гидрохлорида (Sigma Aldrich, Германия) растворяли в 10 мМ ацетатном буфере при pH 5,5 с добавлением периодата натрия в молярном соотношении 1:2 к дофамину [2]. Для получения буферного раствора с pH = 5,5 смешивали уксусную кислоту и ацетат натрия в соотношении 1:5,6.

Для формирования полидопаминового покрытия ранее приготовленные криогелевые подложки размером 2,5 на 2 см погружали в раствор дофамина объемом 10 мл и выдерживали в нем 24 ч при 37°C в шейкере. После нанесения покрытия, модифицированные криогели отмывали дистиллированной водой, для удаления непрореагировавшего гидрохлорида дофамина и подготовки к дальнейшим испытаниям. Для удаления остатков не привитого ПДА с поверхности гидрогелей, образцы были выдержаны в ультразвуковой ванне.

Для оценки структуры поверхности модифицированного криогеля использовали стереомикроскоп SZ2-ILST (OLYMPUS, Япония), объемно увеличивающий изображение исследуемого объекта до 40 раз. Немодифицированные криогели на основе ПВС имели белый цвет с заметным паттерном, сформированным в результате кристаллизации воды (рис. 1а). После модифицирования поверхности криогеля полидофамином наблюдали изменение цвета с белого на черный (коричневый при просвете) (рис. 1б, 1в). Так же отмечали окрашивание среза полимерного криогеля, что подтверждает проникновение полидофамина в структуру криогеля.

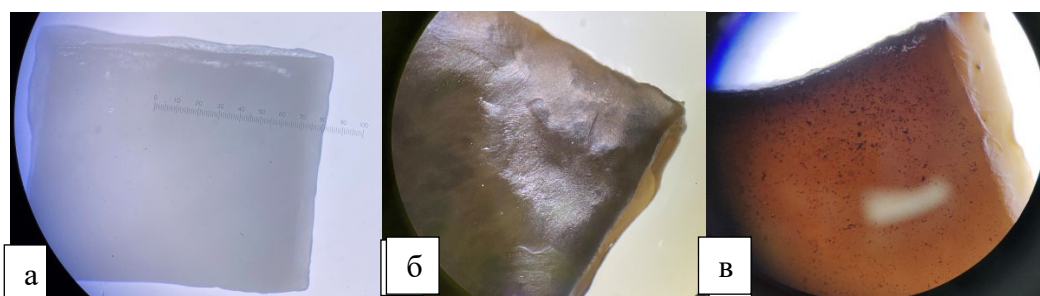


Рисунок 1. Изображения криогелей ПВС со стереомикроскопа: а) без покрытия; б) с покрытием ПДА в кислой среде; в) с покрытием ПДА в щелочной среде

Оценку внутренней структуры и структуры поверхности полученных полимерных криогелей также осуществляли методом СЭМ. Предварительно образцы сушили с использованием вакуумной лиофильной сушилки настольной FREEZONE 2.5 (LABCONCO, USA) при температуре -40°C и давлении <0,133 мбар. Для изучения внутренней структуры выполняли разлом сухих образцов в жидком азоте. На поверхности образцов формировали токопроводящее (золото-палладиевое) покрытие и выполняли исследование с использованием сканирующего электронного микроскопа S-3400N (Hitachi, Япония). Структура поверхности криогелей, покрытых полидофаминовым слоем, отличалась от немодифицированных образцов (рис. 2) присутствием мелких плотно расположенных структур, отличных по электронной плотности от основного материала криогеля полимеризованного полидофамина. Также наблюдали различия структуры образцов,

модифицированных при разных значениях pH. Покрытие, полученное в кислой среде, было более плотным и равномерным (рис. 2а). При этом пористость поверхности была сохранной (рис. 2б).

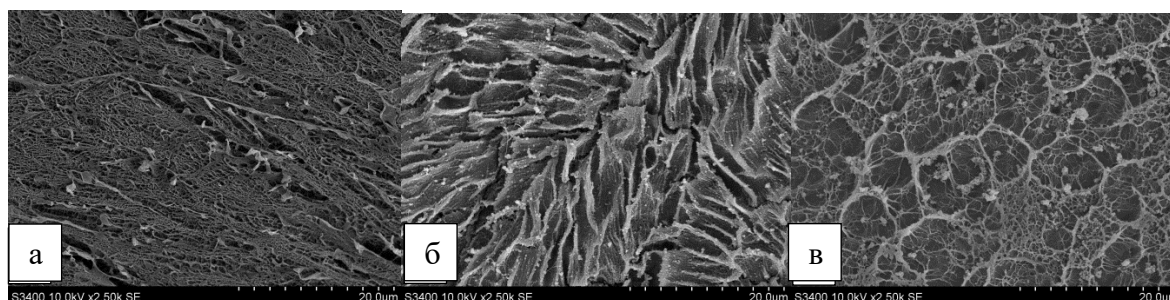


Рисунок 2. Снимки СЭМ: а) ПВХ без покрытия; б) в кислой среде; в) в щелочной среде

Для характеристики гидрофильности/гидрофобности полученных покрытий оценивали контактный угол смачивания водой, для этого на поверхность образца помещали каплю дистиллированной воды, после чего фотографировали и обрабатывали изображения, используя программу ImageJ с дополнительным модулем “contact angle”. Значения контактных углов смачивания представлены в таблице 1. Для модифицированных образцов отмечена тенденция к увеличению среднего значения контактного угла смачивания. По результатам исследования статистически значимых различий контактных углов смачивания не выявлено. Все исследованные образцы могут быть отнесены к гидрофильным материалам, поскольку контактный угол смачивания водой ниже 90°.

Таблица 1. Результаты измерений контактных углов смачивания

	Исходный образец	pH 5,5		pH 8,5	
		Концентрация ПДА мг/мл			
		1	2	1	2
Контактный угол смачивания	29,85 ±6,43	39,85 ±4,78	35,75 ±6,76	37,08 ±3,62	29,82 ±4,53

Механические свойства всех полученных криогелей изучали в условиях одноосного растяжения на универсальной испытательной машине серии Z «Zwick/Roell» (Германия). Образцы для исследования готовили на вырубном прессе ZCP 020 (Zwick GmbH & Co. KG, Германия) с использованием ножа специальной формы (B083, соответствующий стандарту ISO 37:2017) (n = 4 или 5).

По результатам физико-механических испытаний наблюдали рост прочности с увеличением концентрации ПДА (рис. 3а). В сравнении с контрольным образцом криогеля ПВХ напряжение увеличилось на 18% и 82%, 24% и 71% для образцов с покрытием ПДА при pH 5,5 (1 мг\мл и 2 мг\мл), pH 8,5 (1 мг\мл и 2 мг\мл) соответственно. При попарном сравнении образцов, модифицированных в кислой среде, наблюдали статистически значимые различия (p = 0,01). При pH 8,5 между образцами с 1 мг\мл и 2 мг\мл ПДА не выявили статистически значимых различий (p = 0,59) (рис. 3а). По результатам исследований относительного удлинения при попарном сравнении образцов pH 5,5 (1 мг\мл и 2 мг\мл), pH 8,5 (1 мг\мл и 2 мг\мл) статистически значимых различий не наблюдали (p = 0,89 и 0,63 соответственно) (рис. 3б). Для модуля Юнга: образцы, модифицированные в кислой среде, имели статистически значимые различия (p = 0,0016) (рис. 3в). Анализ полученных результатов механических испытаний позволил сделать вывод о преимуществах синтеза покрытия ПДА в кислой среде при pH 5,5.

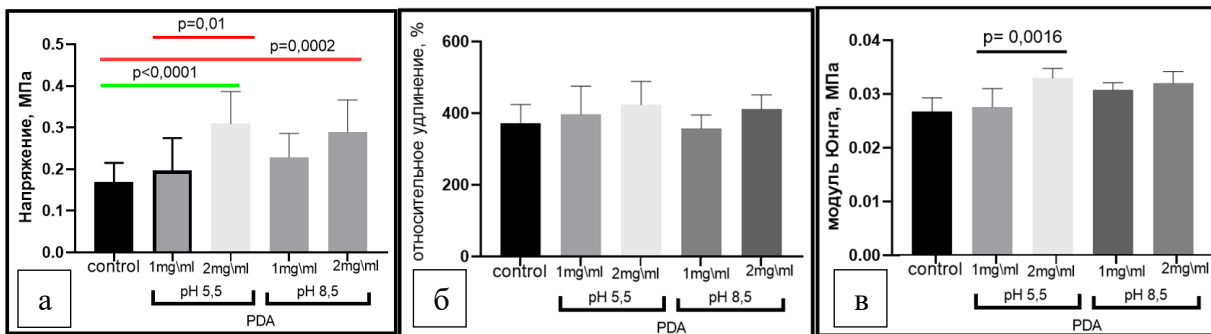


Рисунок 3. Графики: а) напряжение; б) относительное удлинение; в) модуль юнга

На основании комплексного анализа полученных в ходе исследования результатов можно сделать вывод о принципиальной возможности модифицирования поверхности криогелей ПВС полидофамином. Кроме того, обнаружено увеличение прочности криогелей в результате модифицирования. Материалы сохраняли пористую структуру и гидрофильность. Обнаружено преимущество модифицирования в кислой среде.

### Литература и источники

1. Всемирная организация здравоохранения: сердечно-сосудистые заболевания [Электронный ресурс] // [http://www.who.int/ru/health-topics/hypertension/cardiovascular-diseases#tab=tab\\_1](http://www.who.int/ru/health-topics/hypertension/cardiovascular-diseases#tab=tab_1) (дата обращения 24.03.2024).
2. К. Корец Polydopamine and gelatin coating for rapid endothelialization of vascular scaffolds./ К. Корец М. Wojasiński. // Biomaterials Advances. – 2022. – С. 134.
3. Новое антибактериальное N-галаминовое покрытие на основе полидофамина [Электронный ресурс] // <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32830496/> (дата обращения 21.02.2024).

*Научный руководитель – к.х.н., доцент Ткаченко Т.Б., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕНОЛОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ МЕТОДОМ ВЭЖХ

*Гарифуллин Г.В.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[gajrat.garifullin@mail.ru](mailto:gajrat.garifullin@mail.ru)

**Аннотация:** В докладе представлены исследования, связанные с определением фенолов в снеговом покрове, отобранном вблизи крупных промышленных предприятий Кемеровской области, методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Фенол и его соединения – одни из распространенных экотоксикантов и входят в число загрязняющих веществ, в связи с чем применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды по их содержанию в природных объектах. Целью работы является определение содержания фенолов (3- и 4-метилфенола, 4-хлорфенола, 4-этилфенола, 2-хлорфенола, 2,4-дихлорфенола, 2,6-дихлорфенола, 2,4,6-трихлорфенола, 2,4,5-трихлорфенол, пентахлорфенол) в талой воде, полученной из образцов снегового покрова, отобранного в различных точках Кемеровской области. Пробоотбор снегового покрова производили методом конверта на открытых нетронутых участках вблизи промышленных предприятий в городах Кемерово, Ленинск-Кузнецкий и Новокузнецк, отбирая снежный покров на его полную глубину в чистые полипропиленовые контейнеры. Отобранный снег находился в лаборатории в течении суток при комнатной температуре. Полученная жидкость была отфильтрована фильтром Шотта. После фильтрации проба объемом 1 литр была прокачена через концентрирующий патрон. Смыв пробы с патрона проводился ацетоном с добавлением тетрабората натрия [2]. Полученную жидкость ставили упариваться до исчезновения запаха ацетона. Пробу разбавляли смесью ацетонитрила и воды, проводили анализ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Результат эксперимента. На хроматограммах анализируемых проб обнаруживается от 24 до 56 пиков различных фенолов, что свидетельствует о достаточно сильном загрязнении проб снегового покрова. Наиболее загрязненной оказалась проба, отобранная в городах Кемерово (2 пробы), Ленинск-Кузнецкий (1 проба) и Новокузнецк (2 пробы).

**Ключевые слова:** Фенол, ВЭЖХ, экстракция, экология, экотоксиканты.

В докладе представлены исследования, связанные с определением фенолов в снеговом покрове, отобранном вблизи крупных промышленных предприятий Кемеровской области, методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Фенол и его соединения – одни из распространенных экотоксикантов и входят в число загрязняющих веществ, в связи с чем применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды по их содержанию в природных объектах.

Образование фенолов в некоторой степени обусловлено природными процессами, но главным их источником являются стоки промышленных предприятий. Для сточных вод некоторых отраслей промышленности - химической, нефтехимической, текстильной, целлюлозно-бумажной - фенольное загрязнение достаточно характерно. Эти сточные воды и являются основными источниками антропогенного поступления фенолов в водные объекты [1].

Целью работы является определение содержания фенолов (3- и 4-метилфенола, 4-хлорфенола, 4-этилфенола, 2-хлорфенола, 2,4-дихлорфенола, 2,6-дихлорфенола, 2,4,6-трихлорфенола, 2,4,5-трихлорфенол, пентахлорфенол) в талой воде, полученной из образцов снегового покрова, отобранного в различных точках Кемеровской области.

Пробоотбор снегового покрова производили методом конверта на открытых нетронутых участках вблизи промышленных предприятий в городах Кемерово, Ленинск-Кузнецкий и Новокузнецк, отбирая снежный покров на его полную глубину в чистые полипропиленовые контейнеры. Отобранный снег находился в лаборатории в течении суток при комнатной температуре. Полученная жидкость была отфильтрована фильтром Шотта. После фильтрации проба объемом 1 литр была прокачена через концентрирующий патрон. Смыв

пробы с патрона проводился ацетоном с добавлением тетрабората натрия [2]. Полученную жидкость ставили упариваться до исчезновения запаха ацетона. Пробу разбавляли смесью ацетонитрила и воды, проводили анализ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Условия хроматографирования: скорость потока - 0,3 см<sup>3</sup>/мин; режим градиентного элюирования – линейный; Элюент А – ацетонитрил, тридистиллированная вода и уксусная кислота в соотношении 20:75:5 и Элюент Б – ацетонитрил, тридистиллированная вода и уксусная кислота в соотношении 90:5:5.

Результат эксперимента. На хроматограммах анализируемых проб обнаруживается от 24 до 56 пиков различных фенолов, что свидетельствует о достаточно сильном загрязнении проб снегового покрова. Наиболее загрязненной оказалась проба, отобранная в городах Кемерово (2 пробы), Ленинск-Кузнецкий (1 проба) и Новокузнецк (2 пробы).

### **Литература и источники**

1. Халиков И.С. Использование флуориметрического детектора для определения фенола методом ВЭЖХ // Вестник научных конференций. 2016. № 5-2(9). С. 109-110.

2. РД 52.18.750-2010. Массовая концентрация фенолов в водах. Методика измерений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с применением твердофазной экстракции. введ. 27.12.2010. – Х : Изд-во ГУ «Хабаровский ЦГМС – РСМЦ», 2010. – 47 с.

*Научный руководитель – к.х.н., доцент Еремеева Г.О., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ МЕТОДОМ ВЭЖХ

Чирикова З.С.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[chirikovaz@mail.rumailto:gajrat.garifullin@mail.ru](mailto:chirikovaz@mail.rumailto:gajrat.garifullin@mail.ru)

**Аннотация:** Данная работа основана на определении полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в снеговом покрове (природной воде). Пробы снега были отобраны в Кемеровской области рядом с промышленными предприятиями. В пробе ПАУ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). ПАУ являются известными экотоксикантами, которые имеют, как и природное происхождение, так и техногенное. Поэтому необходимо контролировать содержание ПАУ в окружающей среде. ПАУ образуются в основном в результате антропогенных процессов, в частности при неполном сгорании органического топлива. Целью данной работы является определение содержания ПАУ в снеговом покрове. Пробоподготовка. Отобранную пробу фильтровали через складчатый фильтр, после через фильтр Шота. Пробу воды помещают в мерную колбу, добавляют гексана и интенсивно перемешивают. К пробе добавили дистиллированную воду. После разделение на фазы, верхний гексановый экстракт отбирали в стеклянный бюкс. Бюкс с экстрактом держали в морозильной камере не менее двух часов. После чего гексан перелили в чистую колбу и упаривали в токе воздуха. Оставили виалу под вытяжным столом до полного испарения гексана, после чего сухой остаток растворили в ацетонитриле. Далее, полученный экстракт хроматографировали сразу же. Результат. В пробах было обнаружено большое количество различных ПАУ, некоторые из них были обнаружены в больших количествах. Одни из ПАУ, которые были обнаружены в большом количестве в пробах, отобранные в Кемерове, это хризен и бензатрацен. В проба из Новокузнецка хризен, фенантрен и бензантрацен. В Ленинск Кузнецке также было много хризена. На территории КемГУ флуорантен и флуорен.

**Ключевые слова:** ПАУ, ВЭЖХ, гексановый экстракт, экотоксиканты.

В докладе представлена исследовательская работа, которая связана с определением полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в снеговом покрове (природной воде). Пробы снега были отобраны в Кемеровской области рядом с промышленными предприятиями, помимо этого, была отобрана одна проба на территории Кемеровского государственного университета (КемГУ). В пробе ПАУ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). ПАУ являются известными экотоксикантами, которые имеют, как и природное происхождение, так и техногенное. Большинство ПАУ токсичны и обладают опасными для окружающей среды и для человека свойствами, например, такими как, канцерогенность, мутагенность. Поэтому необходимо контролировать содержание ПАУ в окружающей среде.

ПАУ образуются в основном в результате антропогенных процессов, в частности при неполном сгорании органического топлива. ПАУ широко распространены в атмосфере. Естественные процессы, такие как извержения вулканов и лесные пожары, также способствуют присутствию ПАУ в окружающей среде [1].

Целью данной работы является определение содержания ПАУ (2-метилнафталин, антрацен, аценафтен, аценафтилен, бенз(g,h,i)перилен, бензантрацен, бенз(a)пирен, бенз(b)флуорантен, бенз(k)флуорантен, бифенил, дибенз(a, h)антрацен, нафталин, пирен, фенантрен, флуорантен, флуорен, хризен) в снеговом покрове, который был отобран в Кемеровской области.

Пробоподготовка

Отобранную пробу фильтровали через складчатый фильтр, после чего еще раз провели фильтрацию только через фильтр Шота. Пробу воды объемом  $1000\text{см}^3$  поместили в мерную колбу вместимостью  $2000\text{см}^3$ , добавили туда  $5\text{см}^3$  гексана и интенсивно перемешиваем пробу в течении 30 минут с помощью магнитной мешалки. К пробе добавили



дистиллированную воду. После разделение на фазы, верхний гексановый экстракт отбирали в стеклянный бюкс с притертой пробкой. Бюкс с экстрактом поместили в морозильную камеру и держали ее там не менее двух часов. После чего гексан перелили в чистую колбу и упаривали в токе воздуха. Оставили виалу под вытяжным столом до полного испарения гексана, после чего сухой остаток растворили в 0,5 см<sup>3</sup> ацетонитрила и герметично закрыли. Далее, полученный экстракт хроматографировали сразу же.

Условия хроматографирования: Хроматографическая колонка PerfectBond MZ-PAH C-18, 250:3,0 mm, (5µm); скорость потока - 0,3 см<sup>3</sup>/мин; элюент А – ацетонитрил, и элюент Б – тридистиллированная вода; объем вводимой пробы 10 мкл; температура хроматографирования 40°C; режимм градиентного элюирования согласно методике [2].

Результат. В пробах было обнаружено большое количество различных ПАУ, некоторые из них были обнаружены в больших количествах. Одни из ПАУ, которые были обнаружены в большом количестве в пробах, отобранные в Кемерове, это хризен и бензотрацен. В проба из Новокузнецка хризен, фенантрен и бензантрацен. В Ленинск Кузнецке также было много хризена. На территории КемГУ флуорантен и флуорен.

### Литература и источники

1. Alexandru Balint, Physical, chemical and toxicological properties of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in human exposure assessments to contaminated soil and groundwater / University of Bucharest, Doctoral School of Geology, 6 Traian Vuia, Bucharest, Romania; MATEC Web of Conferences 342, 03016 - 2021. Электронный источник -<https://doi.org/10.1051/mateconf/202134203016>

2. ПИД Ф 14.1:2:4.70-96. Методика измерений массовых концентраций полициклических ароматических углеводородов в питьевых, природных и сточных водах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. – Москва: Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 1999. – 24 с.

*Научный руководитель – к.х.н., доцент Еремеева Г.О., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ МАГНЕТИТОВОГО ЯДРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СОРБЕНТОВ

*Ушакова Е.С, Романова А. Е.*

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Кемерово, Россия

[breles@list.ru](mailto:breles@list.ru)

[nastyach.httt@mail.ru](mailto:nastyach.httt@mail.ru)

**Аннотация:** Проблема очистки водных пространств на сегодняшний день от различного рода загрязнителей достаточно актуальна и требует применения и поиска новых способов, подходов и приспособлений для того чтобы минимизировать нагрузку на экологическую обстановку, флору и фауну. В статье рассмотрены вопросы получения магнетитового ядра, применение которого в производстве сорбентов позволит обеспечить процесс очистки вод управляемостью с помощью электромагнитов. Магнетитовое ядро – магнитный центр углеродного сорбента. Применение магнетитового ядра в составе сорбента имеет ряд преимуществ: позволяет повысить управляемость и прочность сорбента в целом, а также его легко извлекать из золы при утилизации отработанного сорбента методом сжигания и использовать повторно с целью экономии дорогостоящего компонента магнетита. Такого рода сорбенты применяются для очистки сточных вод, но наиболее актуальны для очистки природных водоемов Кузбасса и мира от нефти и нефтепродуктов, в том числе и в сложных климатических условиях Арктики (низкие температуры, сильные течения и тому подобное). В работе представлен вариант технологической схемы получения магнетитового ядра, а также рассмотрены параметры, которые напрямую влияют на качество полученного продукта. Также рассмотрен оптимальный состав сорбирующего материала. В роли, которого используются отходы деревообрабатывающей промышленности, животноводческих предприятий и биологических очистных сооружений сточных вод, обладающие невысокой стоимостью и доступностью, что решит проблему рационального использования ресурсов и будет характеризовать сорбент, как экономически выгодное средство очистки водных пространств.

**Ключевые слова:** Углеродные сорбенты, магнитные сорбенты, разливы, технологическая схема, магнетит, углеродсодержащие отходы

Значительный темп роста научно-технического прогресса приводит к усилению антропогенного воздействия на окружающую среду. Загрязнение водоемов во многих регионах России и мира достигло критического предела и стало острой экологической проблемой [1].

В соответствии с данными Минприроды «О состоянии и об охране окружающей среды РФ» составлен рейтинг самых загрязнённых рек за 2020 год: Волга, Обь, Енисей, Амур, Днепр, Урал. А еще более 474 случая загрязнений малых рек, значительно превышающие ПДК, было выявлено в различных областях [2]. При этом одними из наиболее часто встречающихся считаются нефть и нефтепродукты; тяжелые металлы. Таким образом, решение проблемы очистки водных пространств на сегодняшний день достаточно актуально.

Наиболее эффективным методом устранения загрязнений с водных пространств признана сорбционная очистка с помощью сорбентов. Преимуществом этого способа является экологическая безопасность, возможность очистки практически до любой необходимой остаточной концентрации [3, 4].

Однако, несмотря на значительный ассортимент существующих сорбентов, многие из них не соответствуют требованиям к материалам подобного типа. Еще более актуальным становится направление получения адсорбентов на основе отходов промышленности, что параллельно позволяет решить вопрос утилизации накопленных и образующихся отходов.

При использовании классического сорбента возникает проблема его извлечения с поверхности воды, а ситуацию обостряют мощные течения и сильные ветра. Решение – магнитные сорбенты, обеспечивающие эффективное нанесение и извлечение сорбента [5],

при этом разработка магнетитового ядра является наиболее приоритетной – его после утилизации сорбента можно извлекать и использовать повторно [6].

**Цель работы:** разработка технологической схемы получения магнетитового ядра.

Для создания технологической схемы производства магнетитового ядра необходимо рассмотреть следующие задачи:

- определить перечень сырья и материалов, применяемых в технологической схеме;
- выявить необходимые процессы и стадии для получения магнетитового ядра;
- установить оптимальные параметры и режимы процессов получения ядер необходимого качества.

Придать магнитные свойства сорбентам можно за счет введения феррита, магнетита, титаномагнетита, пирротина. В данной работе, в качестве магнитного компонента использовался минерал магнетит  $FeO \cdot Fe_2O_3$  различного происхождения: полученный синтетически согласно ТУ 6-14-1009-79, второй – из золы сжигания углей (табл. 1).

Разработка магнетитового ядра, в первую очередь, основывается на выборе подходящего связующего. Основные требования к связующему: термостойкость (способность выдерживать высокие температуры); легкость (не утяжеление массы сорбента); малая плотность; эффективное связывание частиц с магнетитом. В ходе теоретического анализа выделены жидкие силикаты щелочных металлов, как перспективное связующее, термически устойчивые до  $1200^\circ C$  [7].

**Методика проведения экспериментов:**

Получение магнетитового ядра включает следующие стадии:

1. Приготовление смеси: 90% жидкого стекла, 5% магнетита и 5% добавок, позволяющих получить сферообразную форму ядер и необходимые свойства.
2. Полимеризация в специальном растворе.
3. Сушка двумя возможными способами: при комнатных условиях ( $\pm 25^\circ C$ ) или в сушильном шкафу ( $100^\circ C$ ). При температуре  $100^\circ C$  для полного высушивания требуется меньше одного часа.
4. Термообработка заготовок осуществляется в муфельной печи при  $700-800^\circ C$ .

Таблица 1

Характеристика магнетитов

Характеристика	Исходный магнетит	
	синтетический	из золы углей
Цвет	Черного матового	Чёрный блестящий
Запах	Нехарактерный запах	Не имеет
Насыпная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	1364±1	2242±1
Влажность (%)	0	0
Зольность (%)	98,98±2	99,75±2
Поведение магнетита в воде	Плавает на поверхности	Оседает на дно
Фракционный состав	Присутствуют пылящие частицы магнетита	Однородный состав, отсутствуют пылящие частицы

При определении влажности сырья и связующего руководствовались ГОСТ 12764-73, зольность определяли в соответствии с ГОСТ Р 55661-2013, а для определения прочности на сжатие магнетитового ядра использовали прибор, на основе двухчашечных весов [7].

**Результаты экспериментов:**

Так как одним из важнейших характеристик является прочность полученного ядра, то в лабораторных условиях были выявлены влияющие факторы:

- *Природа магнетита;*
- *Концентрация отвердителя;*
- *Режим и температура термообработки;*

В результате данной работы получено магнетитовое ядро, усредненные характеристики которых представлены в таблице 2.

Характеристики магнетитового ядра

Характеристика	Значение
Влагоемкость, г/г	0,42–0,44
Размер, см	0,35–0,38
Масса, г	0,016–0,018
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	925–985
Прочность на сжатие, кг/гранула	2,2–2,3
Динамическая прочность, %	70,21–75,17
Плавуемость, сут	От 30

В промышленных условиях, согласно рисунку, раствор жидкого стекла со склада (1) насосом (2) поступает в смеситель (5), где смешивается в заданных пропорциях с добавками из бункера (3) и магнетитом из бункера (4). Гомогенизированная смесь поступает на грануляцию в башню (6), где в нижней части располагается отвердитель. Гранулы формируются под действием снизу подаваемого воздуха и поступают в ванну отвердителя (8), здесь происходит окончательное удаление влаги. Гранулы со дна аппарата скребковым конвейером выводятся для дальнейшей сушки и термической обработки в печи кипящего слоя (11) при температуре 600–700°С. Под влиянием восходящего потока газа гранулы находятся в кипящем состоянии и выносятся из аппарата. На выходе из аппарата смесь магнетитовых ядер, воздуха и пылевой фракции поступает в механический сепаратор, где происходит разделение целевого продукта (магнетитовых ядер) от смеси воздуха с пылью за счет образования вихревого эффекта. Затем осуществляется охлаждение магнетитовых ядер охлаждающих в теплообменнике (16) и отправляются в бункер (17) для хранения и отгрузки потребителю. А воздушные массы отправляются на очистку и вновь применяются в грануляционной башне.

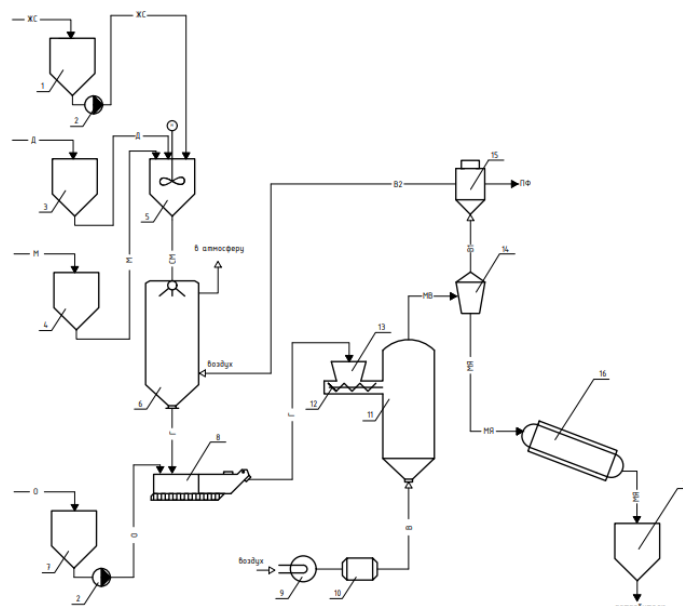


Рис. Технологическая схема производства магнетитовых ядер: 1 – бункер для жидкого стекла; 2 – героторный насос; 3 – бункер для добавок; 4 – бункер для магнетита; 5 – аппарат смешения; 6 – грануляционная башня; 7 – бункер для отвердителя; 8 – ванна с отвердителем; 9 – вентилятор; 10 – калорифер; 11 – бункер для гранул; 12 – шнек; 13 – печь кипящего слоя; 14 – механический сепаратор; 15 – циклон; 16 – водяной блок охлаждения; 17 – бункер для магнетитовых ядер

Приведенная схема позволяет учесть все, выявленные на данный этап факторы, влияющие на получение наиболее качественного продукта.

### Литература и источники

1. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2018 году (Статистический сборник) / под ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омеляненко. – М.: НИИ-Природа. – 2019. – 274 с.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова. – 2021. – 1000 с.
3. Шайхиев, И.Г. Адсорбционная очистка водных объектов от нефти с использованием модифицированных отходов деревообработки / И.Г. Шайхиев, Т.Р. Денисова, С.В. Свергузова – Белгород. – 2018. – 139 с.
4. Байбурдов, Т.А. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоёмов: обзор русскоязычной литературы за 2000-2017 гг. (часть 3) / Т.А. Байбурдов, А.Б. Шиповская // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. – 2018. – Т.18 – Вып.3. – С. 285 – 298.
5. Черепова, А.Е. Ликвидация аварийных разливов нефти при помощи магнитного нефтесорбента / А.Е. Черепова, Е.С. Ушакова // Молодежная программа 24-ой международной специализированной онлайн выставки «безопасность и охрана труда» БИОТ-2020. – Москва, (08–11 декабря 2020 года). – 4 с.
6. Рудаковская, П.Г. Синтез наночастиц магнетит–золото, имеющих структуру типа ядро–оболочка / П.Г. Рудаковская, Е.К. Белоглазкина и др. // Вестник Московского университета. – 2015. – Т. 56. – № 3. – С. 181–189.
7. Левченко, А.А. Магнитное ядро и факторы, определяющие его получение в технологии нефтесорбентов // Сборник материалов IV Всероссийской конференции «Химия и химическая технология: достижения и перспективы» (27 – 28 ноября 2018). – Кемерово, 2018. – С. 26.

*Научный руководитель: Ушаков А. Г., доцент, к.т.н., Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева*

# ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 544.4

## ВЛИЯНИЕ ОТКОЛА НА СКОРОСТЬ ГИДРАТАЦИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Захарова К.Е

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

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

**Аннотация:** Цель работы: Формулировка и исследование модели гидратации с учетом откольных явлений при накоплении напряжений в образце шарообразной формы. Были выполнены расчеты в образце радиусом 1 мм. Радиальная часть образца разбивалась на 100 ячеек одинаковой толщины. Программа была написана в системе MatLab, численное интегрирование системы уравнений проводилось встроенной функцией ODE15S. Момент достижения максимальным напряжением в образце порогового значения принимался за событие при котором расчет прекращался. После этого точка максимального напряжения бралась за поверхность откола, размер образца соответствующим образом уменьшался. В отколотых областях гидратация продолжалась при этом считали, что вода диффундирует с обеих поверхностей. Для оценки интегральной погрешности использовали соотношения баланса. В случае отсутствия отколов распределения воды близки к линейным зависимостям, а для продукта гидратации наблюдается выраженный фронт, движущийся к центру гранулы с замедлением из-за падения градиента концентрации воды. Уменьшение градиента концентрации приводит к замедлению фронта гидратации и снижению суммарной скорости накопления гидрата. В случае учета откола, обновление поверхности приводит к снижению слоя продукта («удаляется как скорлупа») и восстановлению градиента концентрации воды. По этому причине суммарная скорость накопления гидрата после начала отколов становится почти постоянной. Таким образом, сформулирована модель взаимодействия диффузионно-контролируемой гидратации гранулы и откольных явлений. Показано, что за счет откола скорость гидратации увеличивается.

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

В случае твердых веществ в виде крупнокристаллических зерен угля, таблеток или гранул на скорость химических процессов большое влияние могут оказывать диффузионные затруднения. Если процесс считать гетерогенным, тогда старение образца будет начинаться с поверхности не достигая центра. Такие эффекты обычно не учитывают в гомогенных процессах опираясь на аррениусовскую зависимость константы скорости от температуры. В химии твердого тела известны случаи, когда гетерогенный характер химических реакций приводил к появлению трещин и даже отколов.

Многие крупнокристаллические вещества обладают гигроскопичностью. Такое свойство приводит к накоплению воды и увеличению объема. Указанное явление вызывает усиление напряжений внутри образца, которые в конечном итоге приводят к отколу и механической релаксации.

**Цель работы** Формулировка и исследование модели гидратации с учетом откольных явлений при накоплении напряжений в образце шарообразной формы. Гидратация образца может быть описана следующим уравнением



где B-исходное безводное вещество, а  $[B \cdot H_2O]$ -кристаллогидрат. На данном этапе протекает диффузия молекулы воды с образованием гидратированным комплексом этого вещества. Закон действующих масс для данной реакции имеет вид:

$$v_1 = k_1[B][H_2O] - k_1[B \cdot H_2O]$$

Реакция гидратации сопровождается диффузией воды в объем образца. Это приводит к следующей системе кинетических уравнений для воды и гидрата.

$$\frac{d[H_2O]}{dt} = -\vartheta_1 + D_{H_2O} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 \frac{\partial}{\partial r} [H_2O]$$

$$\frac{d[B * H_2O]}{dt} = \vartheta_1$$

Были выполнены расчеты в образце радиусом 1 мм. Радиальная часть образца разбивалась на 100 ячеек одинаковой толщины. Программа была написана в системе MatLab, численное интегрирование системы уравнений проводилось встроенной функцией ODE15S. Момент достижения максимальным напряжением в образце порогового значения принимался за событие при котором расчет прекращался. После этого точка максимального напряжения бралась за поверхность откола, размер образца соответствующим образом уменьшался. В отколотых областях гидратация продолжалась при этом считали, что вода диффундирует с обеих поверхностей. Для оценки интегральной погрешности использовали соотношения баланса.

Расчеты были выполнены при значениях констант  $k_1=10^{10}$  л/(моль·с);  $k_1'=8 \cdot 10^5$  1/с, Коэффициент диффузии воды принимался равным  $3 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с. Результаты расчёта приведены на графиках.

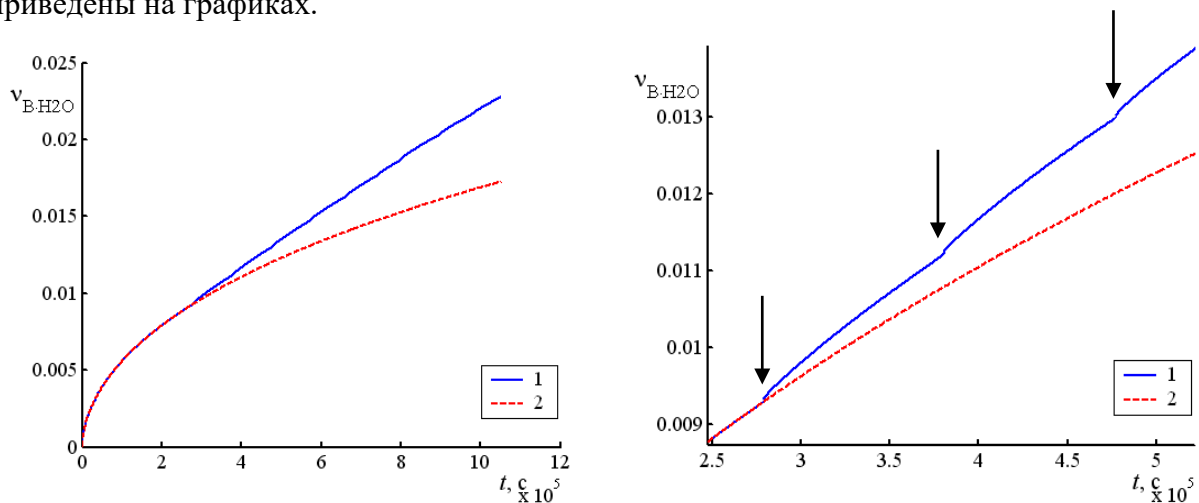


Рисунок 1. Рассчитанные кинетические зависимости количества вещества продукта гидратации в сферическом образце при наличии откола (1) и без него (2). Слева показана вся рассчитанная зависимость, справа увеличен средний участок.

При взятых параметрах отношение эффективной константы диффузии к константе скорости 1-й стадии составляет  $\frac{4D}{k_1 R^2} = 2 \cdot 10^{-6}$  [1], что свидетельствует о быстром достижении равновесия в областях, в которые проникла вода.

В случае отсутствия отколов распределения воды близки к линейным зависимостям, а для продукта гидратации наблюдается выраженный фронт, движущийся к центру гранулы с замедлением из-за падения градиента концентрации воды. Уменьшение градиента концентрации приводит к замедлению фронта гидратации и снижению суммарной скорости накопления гидрата (рис. 1). В случае учета откола, обновление поверхности приводит к снижению слоя продукта («удаляется как скорлупа») и восстановлению градиента концентрации воды. По этому причине суммарная скорость накопления гидрата после начала отколов становится почти постоянной (рис. 1). На правой части рис. 1 представлен увеличенный фрагмент кривой, показывающий разрыв производной в моменты откола.

Таким образом, сформулирована модель взаимодействия диффузионно-контролируемой гидратации гранулы и откольных явлений. Показано, что за счет откола скорость гидратации увеличивается.

### **Литература и источники**

1. Франк - Каменецкий, Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д.А Франк - Каменецкий. – М.: Наука, 1987. – 502 с.

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



## МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

*Винодиктов П. О., Иванов А. В., Галкина Е. В.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

vinodiktovpavel@yandex.ru

**Аннотация:** В работе предпринята попытка создания перманентной методики измерения качества воздуха на основе перманентного измерения концентрации загрязняющих веществ с возможностью количественной оценки эмиссии вредных веществ. Измерение концентрации диоксида углерода осуществлялось в автоматическом режиме комплексом Carbon Dioxide Detector (SR-510A), данные сохранялись в цифровом виде и в дальнейшем анализировались в пакете прикладных программ. Проведен анализ основных закономерности изменения концентрации CO<sub>2</sub> в центре города Кемерово в зимний период. В рабочие дни зимой утром наблюдается значительное повышение концентрации CO<sub>2</sub>, в понедельник и непосредственно после праздничных дней амплитуда максимальная, достигающая 1100 ppm, в остальные рабочие дни недели повышение до 650 ppm. В выходные и праздничные дни утреннее повышение концентрации CO<sub>2</sub> также наблюдается, но ниже 450 молекул на миллион). Существенное влияние на величину амплитуды суточных колебаний вносит величина скорости ветра. Зависимость обратная: повышение скорости ветра приводит к понижению пиковых значений аккумуляции загрязняющих веществ. Направление ветра и температура окружающего воздуха не оказывает определяющего влияния на значение концентрации углекислого газа. Проводится анализ этого достаточно неожиданного эффекта, в частности возможное объяснение кроется в существовании двух разноименных факторов - один из которых приводит к повышению концентрации загрязняющих веществ при уменьшении температуры вследствие повышенного отопления, второй - это уменьшение концентрации при тех же условиях за счет уменьшения выхлопов автомобильного транспорта (сокращение транспортного потока). Сравнение концентрации углекислого газа в праздничные и выходные рабочие дни однозначно свидетельствует об основном источнике загрязнения углекислым газом автомобильном транспорте.

**Ключевые слова:** измерение концентрации углекислого газа, мониторинг, обработка массивов данных.

Чистый воздух относится к основным категориям, определяющим качество жизни людей, в том числе – заболеваемость и продолжительность жизни. Концентрация вредных для здоровья людей загрязняющих газов является основным показателем, определяющим качество воздуха. В Российской Федерации реализуется проект «Чистый воздух» (часть проекта «Экология») для оздоровления экологической обстановки и минимизации выбросов вредных газов в атмосферу. В зависимости от периодичности антропогенных выбросов вредных веществ в биосфере существенно изменяется концентрация загрязняющих веществ [1]. Из – за этой причины можно выделить как дневные так и годовые циклы изменения концентраций вредных веществ. Диоксид углерода образуется в массовом количестве в целой серии процессов, происходящих на территории компактного проживания людей: в процессе промышленного производства, отопления, генерации электро- и тепловой энергии, движения автотранспорта и т.д. Повышение концентрации этого газа способствует повышению температуры на Земле с пока до конца непонятными последствиями. В нашу речь входят новые понятия: углеродный след, декарбонизация, напрямую связанные с негативным изменением климата и желанием человечества как минимум замедлить, а максимум повернуть назад нежелательные для Земли тенденции. Следовательно, актуальной является задача создания и апробации методики контроля состояния воздуха на основе непрерывного автоматизированного измерения концентрации углекислого газа.

Целью работы является формулировка и апробация метода непрерывного мониторинга концентрации загрязняющих газов на основе цифрового определения их концентрации.

По разработанному в нашей стране ГОСТ Р 56276-2014 /ISO/TS 14067:2013 созданы методы определения выбросов углекислого газа в различных процессах на основе приведенных затрат. Так в [2] разработан метод оценки эмиссии диоксида углерода на предприятии черной металлургии по количеству сгоревшего угля и природного газа. Аналогично оцениваются выбросы в данной точке трассы от автомобильного транспорта через оценку количества единиц отдельных видов транспорта с учетом дифференциального расхода топлива. Недостатками данных методик является большая трудоёмкость, приближенность оценок и отсутствие прогностических перспектив.

Пониженная точность, трудоёмкость и слабая прогностическая способность существующих методик стала решающим фактором для модернизации методики определения качества воздуха на основе перманентного измерения концентрации загрязняющих веществ (на примере углекислого газа). Важно концентрацию углекислого газа определять автоматически, сохраняя данные в виде больших массивов, охватывающих достаточно большой временной период в том числе несколько суточных периодов колебаний измеряемых величин, так как для реализации следующего этапа (оценки эмиссии газов) необходимо синхронное определение направления и скорости ветра, желательно в автоматическом режиме с одинаковой (или большей) с концентрацией диоксида углерода скважностью.

Непрерывный мониторинг концентрации CO<sub>2</sub> в центре города Кемерово и на расстоянии 50 км от него осуществляли с 1 февраля да Кемерово и на расстоянии 50 км от него осуществляли с 1 февраля 2023 г по 1 апреля 2024 г. Одновременно измерялась температура, скорость и направление ветра. Наблюдаются выраженные сезонные и суточные колебания концентрации углекислого газа, существенно отличающиеся для урбанизированной и сельской территории.

Остановимся на анализе основных закономерности изменения концентрации CO<sub>2</sub> в центре города Кемерово (вокруг слабо заселенная территория) в зимний период. В рабочие дни зимой утром наблюдается значительное повышение концентрации CO<sub>2</sub>, в понедельник и непосредственно после праздничных дней амплитуда максимальная, достигающая 1100 ppm, в остальные рабочие дни недели повышение до 650 ppm. В выходные и праздничные дни утреннее повышение концентрации CO<sub>2</sub> также наблюдается, но ниже 450 молекул на миллион). Существенное влияние на величину амплитуды суточных колебаний вносит величина скорости ветра. Зависимость обратная: повышение скорости ветра приводит к понижению пиковых значений аккумуляции загрязняющих веществ. Направление ветра и температура окружающего воздуха не оказывает определяющего влияния на значение концентрации углекислого газа. Проводится анализ этого достаточно неожиданного эффекта, в частности возможное объяснение кроится в существовании двух разноименных факторов - один из которых приводит к повышению концентрации загрязняющих веществ при уменьшении температуры вследствие повышенного отопления, второй - это уменьшение концентрации при тех же условиях за счет уменьшения выхлопов автомобильного транспорта (сокращение транспортного потока). Сравнение концентрации углекислого газа в праздничные и выходные рабочие дни однозначно свидетельствует об основном источнике загрязнения углекислым газом автомобильном транспорте.

Вдали от города суточных колебаний концентрации углекислого газа практически нет.

Проведен анализ закономерностей изменения концентрации CO<sub>2</sub> в центре города и вдали г. Кемерово в летний и весенний периоды. Проведена оценка скорости эмиссии (связывания в утреннее и дневное время) углекислого газа за анализируемый период на данных территориальных площадках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки, высшего образования и молодежной политики Кузбасса (соглашение № 5 от 23.11.2022 г.)

#### **Литература и источники**

1. Панарин В.М. Обзор станций автоматического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха/ В.М. Панарин, А.А. Маслова, К.В. Гришаков, О.В. Гришакова, Д.А. Логунов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. Вып. 7 С. 69-75.

2. Лаптева А. В. Методика определения сквозной эмиссии диоксида углерода на основе анализа входных данных процесса ЛП-В / А. В. Лаптева, В. Г. Лисиенко, Ю. Н. Чесноков // Творческое наследие В. Е. Грум-Гржимайло: история, современное состояние, будущее: сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения Владимира Ефимовича Грум-Гржимайло (Екатеринбург, 27–29 марта 2014 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2014. — Ч. 2. — С. 225-228.

*Научный руководитель – к.ф.-м.н. Боровикова А.П., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».*

**РАЗДЕЛЕНИЕ СПИРТОВОЙ ФРАКЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КАПРОЛАКТАМА  
МЕТОДОМ ФРАКЦИОННОЙ ПЕРЕГОНКИ***Машкин А.Н.***ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»**

sasha.mashkin53@gmail.com

**Аннотация:** Капролактама является очень важным промышленным соединением. Синтезированный капролактама, главным образом, используется для получения капрона. В процессе производства капролактама в качестве побочного продукта среди прочего синтезируется спиртовая фракция, состоящая в основном из одноатомных спиртов. Целью работы является экспериментальное разделение спиртовой фракции производства капролактама и выделение целевого продукта, содержащего преимущественно амиловые спирты. Спиртовую фракцию можно использовать в качестве сырья в производствах ингибитора коррозии, многокомпонентных растворителей, лакокрасочных материалов. Однако, после выделения из смеси амилового и изоамилового спиртов, их можно будет использовать в качестве субстрата для синтеза сложных эфиров, растворителя, пластификатора, в производстве бездымного пороха, амилнитрита и валериановой кислоты. Также данные спирты могут применяться в качестве экстрагентов солей тяжелых металлов (уран, молибден, никель, ниобий). Процесс перегонки позволяет сильно удорожить нецелевой продукт синтеза капролактама. Была проведена перегонка спиртовой фракции капролактама, предоставленной КАО «Азот». Перегоняемая жидкость была взята объемом 800 мл. Перегонка осуществлялась на песчаной бане с использованием елочного дефлегматора и холодильника Либиха. Было принято решение отбирать фракции с температурами кипения в интервалах: <105; 105-120; 120-130; 130-138; >140°C. Смесь амилового и изоамилового спиртов предположительно должна выкипать при температуре 130-138°C. После перегонки был измерен объем, показатель преломления при 25°C, плотность и рассчитан выход для каждой фракции. Данные измерений приведены в таблице 1. Фракция, выкипающая при температурах ниже 105°C расслоилась на две фазы, что говорит о присутствии в ней воды. Полученный кубовый остаток имел желтый цвет.

**Ключевые слова:** капролактама, спиртовая фракция производства капролактама, фракционная перегонка.

Капролактама является очень важным промышленным соединением. Синтезированный капролактама, главным образом, используется для получения капрона. В процессе производства капролактама в качестве побочного продукта среди прочего синтезируется спиртовая фракция, состоящая в основном из одноатомных спиртов.

**Целью работы** является экспериментальное разделение спиртовой фракции производства капролактама и выделение целевого продукта, содержащего преимущественно амиловые спирты.

Наиболее эффективной и менее ресурсозатратной схемой является схема получения капролактама через циклогексанон (то есть производство, в котором основным сырьем служит бензол или фенол). Основные стадии данного процесса:

- дегидрирование циклогексанола в циклогексанон;
- оксимирование циклогексанона в циклогексаноноксим;
- изомеризация циклогексаноноксима в капролактама;
- очистка капролактама.

Производство капролактама через наиболее оптимальную схему не обеспечивает 100%-ную селективность процесса и влечет за собой большое число отходов (непрореагировавшие компоненты, побочные продукты реакций или продукты реакций, получаемые из примесных соединений в субстрате). Во всей схеме производства образуется около пятидесяти различных примесных соединений [1]. Самым же “проблемным” этапом производства является окисление циклогексана в циклогексанон и циклогексанол. На данном этапе образуется самое большое количество побочных продуктов. Всего в оксидате образуются

различные классы органических соединений, таких как: кислоты, сложные эфиры, спирты, альдегиды и кетоны [2]. Пройдя через процессы ректификации данные продукты разделяются на три фракции: щелочная и водно-кислая и спиртовая фракция. Спиртовая фракция содержит до 60-ти % амилового и изоамилового спиртов по массе [3].

Спиртовую фракцию можно использовать в качестве сырья в производствах ингибитора коррозии, многокомпонентных растворителей, лакокрасочных материалов. Однако, после выделения из смеси амилового и изоамилового спиртов, их можно будет использовать в качестве субстрата для синтеза сложных эфиров, растворителя, пластификатора, в производстве бездымного пороха, амилнитрита и валериановой кислоты. Также данные спирты могут применяться в качестве экстрагентов солей тяжелых металлов (уран, молибден, никель, ниобий). Процесс перегонки позволяет сильно удорожить нецелевой продукт синтеза капролактама.

Была проведена перегонка спиртовой фракции капролактама, предоставленной КАО «Азот». Перегоняемая жидкость была взята объемом 800 мл. Перегонка осуществлялась на песчаной бане с использованием елочного дефлегматора и холодильника Либиха.

Было принято решение отбирать фракции с температурами кипения в интервалах: <105; 105-120; 120-130; 130-138; >140°C.

Смесь амилового и изоамилового спиртов предположительно должна выкипать при температуре 130-138°C.

После перегонки был измерен объем, показатель преломления при 25°C, плотность и рассчитан выход для каждой фракции. Данные измерений приведены в таблице 1. Фракция, выкипающая при температурах ниже 105°C расслоилась на две фазы, что говорит о присутствии в ней воды. Полученный кубовый остаток имел желтый цвет.

Таблица 1. Характеристики фракций

Температура кипения фракции, °C	Объем, мл	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Показатель преломления	Выход, %
<105	41	0,854	1,4107	5,1
105-120	83	0,851	1,4110	10,4
120-130	85	0,852	1,4131	10,6
130-138	503	0,847	1,4180	62,9
>140	17	0,858	1,4220	2,1
Остаток	58	0,937	1,4596	7,3

ИК-спектрометрическое исследование полученных фракций выявило, что все они содержат спирты. Карбонильные соединения, фиксируемые по полосам в области 1780-1660 см<sup>-1</sup>, наблюдаются только для фракций, выкипающих ниже 130°C.

Грубо оценим суммарное содержание н-амилового и изоамилового спирта во фракции, выкипающей в интервале 130-138°C.

Предположим, что во фракции, выкипающей в интервале температур 130-138°C, помимо н-амилового и изоамилового спиртов присутствует циклопентанол. Показатели преломления и плотности для чистых соединений представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики чистых соединений

Соединение	Температура кипения, °C	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Показатель преломления	Молярная масса, г/моль
н-амиловый спирт	138	0,811	1,409	88
Изоамиловый спирт	132	0,810	1,401	88
Циклопентанол	139	0,949	1,453	86

Молекулярная рефракция рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho}$$

где  $n$  – показатель преломления;  $M$  – молярная масса;  $\rho$  – плотность. Молекулярная рефракция смеси:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i X_i$$

где  $X$  – мольная доля компонента,  $n$  – количество компонентов в смеси.

Так как у амилового и изоамилового спирта близкие показатели преломления, плотность и одинаковые молярные массы, то можно предположить, что значения молекулярной рефракции будут очень близки. Исходя из уравнения, суммарное содержание амилового и изоамилового спиртов во фракции составляет примерно 72%.

#### **Литература и источники**

1. Карасёва С.Я., Красных Е.Л., Леванова С.В., Петров Г.Г., Садивский С.Я. К вопросу о качестве капролактама и полиамида. // Рос. хим. журнал. 2006. Т. L. 3. С. 54-58.
2. Бадриан, А. С. Производство капролактама / под. общ. ред. В. И. Овчинникова, В. Р. Ручинского. – М.: «Химия», 1977. – 263 с.
3. Голованов А.А., Писарева В.С., Дорохов В.С., Уколов А.И. Межмолекулярная дегидратация компонентов спиртовой фракции производства капролактама // Химия и химическая технология. 2009. Т. 52. №7. С. 6-8.

*Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент Звекон А.А., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

**ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРРИТА МЕДИ ИЗ ОСНОВНОГО КАРБОНАТА И ОЦЕНКА ЕГО ПРИМЕНИМОСТИ ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ****Яковлев С.А.****ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»**[sergiy-qqq@yandex.ru](mailto:sergiy-qqq@yandex.ru)

**Аннотация:** Целью данной работы является апробация методики получения феррита цинка спеканием порошков оксалата железа (II) и основного карбоната меди и оценка его применимости в окислительной очистке воды.

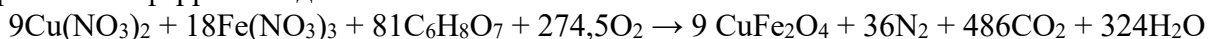
Для получения феррита меди использовалось два метода: спекание порошков и цитратный метод. При спекании порошков исходные вещества - оксалат железа и основной карбонат меди - были перетерты в агатовой ступке с добавлением 1% нитрата калия в качестве агента, улучшающего сплавление. Полученный порошок спекали в муфельной печи при 900 °С в течение 6 часов. Цитратный метод включал формирование геля из раствора нитратов железа (III), нитрата меди (II) и лимонной кислоты, затем прокаливание геля в муфельной печи при 150 °С в течение 6-10 часов. Полученные образцы феррита меди были характеризованы с использованием рентгенофазового анализа, который позволил определить элементный, химический и фазовый состав продуктов. Рентгенограммы и спектры образцов были зарегистрированы на дифрактометрах Дифрей-401 и ДРОН-8. В результате проведенного рентгенофазового анализа было выявлено, что ферриты двухвалентных металлов обычно имеют структуру шпинели, состоящую из трехслойной плотнейшей упаковки атомов кислорода. Для оценки потенциала ферритов меди в процессе очистки воды был проведен модельный эксперимент. В эксперименте использовался раствор красителя метиленового синего, разбавленный водным раствором пероксида водорода (3%). Результаты модельного эксперимента свидетельствуют о каталитической активности феррита меди в процессе окисления органических соединений пероксидом водорода.

**Ключевые слова:** феррит меди, катализ, золь-гель синтез.

Ферриты металлов являются разновидностью смешанных оксидов, которые также можно рассматривать как соли несуществующей кислоты  $\text{HFeO}_2$ . разработка методов получения ферритов с использованием новых прекурсоров для каталитических приложений, в том числе окислительной и адсорбционной водоочистки, является перспективным направлением исследований.

Целью данной работы является апробация методики получения феррита цинка спеканием порошков оксалата железа (II) и основного карбоната меди и оценка его применимости в окислительной очистке воды.

Для получения феррита меди использовалось два метода: спекание порошков и цитратный метод. При спекании порошков исходные вещества - оксалат железа и основной карбонат меди - были перетерты в агатовой ступке с добавлением 1% нитрата калия в качестве агента, улучшающего сплавление. Полученный порошок спекали в муфельной печи при 900 °С в течение 6 часов. Цитратный метод [1] включал формирование геля из раствора нитратов железа (III), нитрата меди (II) и лимонной кислоты, затем прокаливание геля в муфельной печи при 150 °С в течение 6-10 часов. Ниже представлена возможная реакция образования феррита меди:



Экзотермические реакции при горении органических веществ и разложении нитратов могут привести к повышению температуры в местах проведения процесса. Полученные образцы феррита меди из спекания и цитратного методов были сравнены и подвергнуты характеристике для оценки их применимости в окислительной очистке воды.

Полученные образцы феррита меди были характеризованы с использованием рентгенофазового анализа, который позволил определить элементный, химический и фазовый состав продуктов. Рентгенограммы и спектры образцов были зарегистрированы на дифрактометрах Дифрей-401 и ДРОН-8.



В результате проведенного рентгенофазового анализа было выявлено, что ферриты двухвалентных металлов обычно имеют структуру шпинели, состоящую из трехслойной плотнейшей упаковки атомов кислорода. В основном атомы железа ( $Me^{3+}$ ) находятся в октаэдрических пустотах шпинели, а атомы меди ( $Me^{2+}$ ) - в тетраэдрических пустотах. Структура шпинели зависит от склонности меди к образованию менее симметричных структур. В базе данных ICDD представлены две варианты структуры шпинели для феррита меди: гранецентрированный кубический (ГЦК) и тетрагональный с искажением. Исследуемые образцы феррита меди имели параметры, отличающиеся от стандартных значений, что объясняется различным соотношением металлов и оксидов в шпинелях. Предполагается, что медь искажает окружение кислорода, что приводит к тетрагональному искажению структуры шпинели с удлинненным параметром.

В «эталонных» шпинелях 3 и 4 наблюдается антибатное изменение параметров, при котором медь может присутствовать в большем количестве в тетрагональной шпинели-4. (табл. 1).

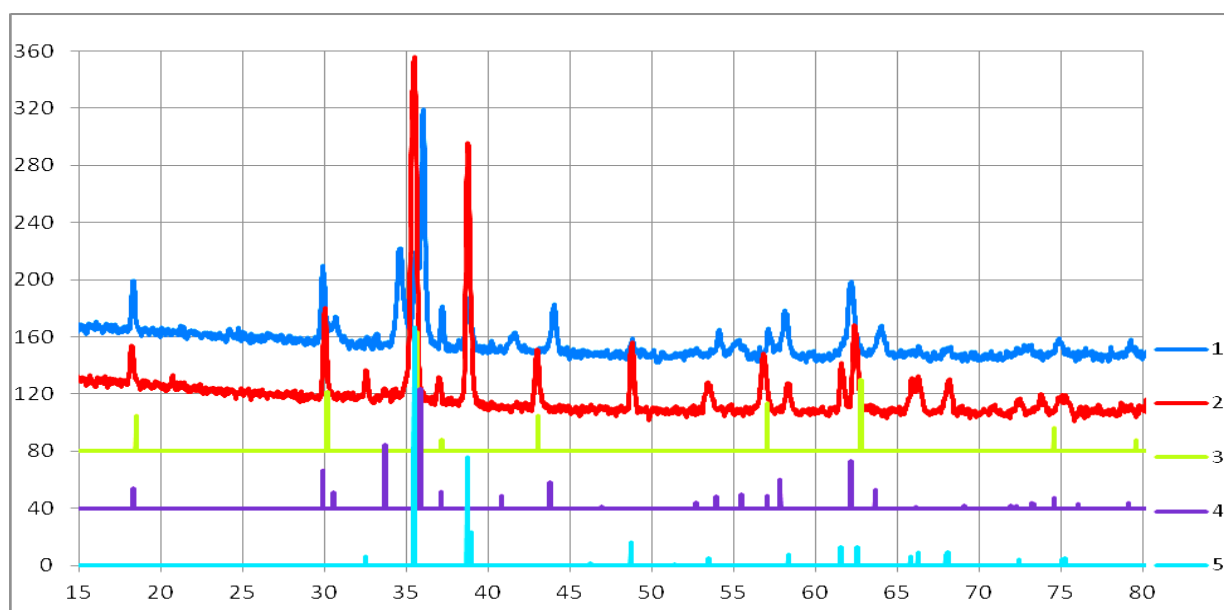


Рисунок 1. Дифрактограммы исследуемых образцов 1 и 2 и штрихдиаграммы по данным баз ICDD:  $CuFe_2O_4$  (3 - PDF 250289, 4 - PDF 340425) и  $CuO$  (5 - PDF 480937)

Таблица 1.

Параметры решетки шпинелей $CuO \cdot Fe_2O_3$				
N	a	c	V	
3	8,349	8,349	582,0	ГЦК
2	8,419	8,419	596,7	ГЦК
4	8,265	8,630	589,5	ГЦТ
1	8,230	8,687	588,4	ГЦТ

Дополнительным фактором, влияющим на параметры ячейки в шпинелях, является возможность замещения двухвалентных и трехвалентных катионов как в тетраэдрах, так и в октаэдрах. Это также может привести к смешанному заполнению тетраэдрических пустот. Все это приводит к вариативности параметров и формы элементарной ячейки.

Для оценки потенциала ферритов меди в процессе очистки воды был проведен модельный эксперимент. В эксперименте использовался раствор красителя метиленового синего, разбавленный водным раствором пероксида водорода (3%). В одну из пробирок был добавлен феррит меди, полученный методом золь-гель. Обнаружено, что при добавлении феррита меди скорость разложения пероксида водорода увеличивалась, что сопровождалось образованием пузырьков газа. После выдержки пробирок в темном месте в течение 12 часов произошло почти полное обесцвечивание раствора в присутствии феррита меди (рисунок 4). В контрольной пробирке цвет раствора сохранялся. Полученные результаты визуальных

наблюдений согласуются с измеренными спектрами поглощения растворов, представленных на рисунке 5.

Представленный на рисунке 5 спектр является типичным для метиленового синего в водном растворе. Наблюдаемый фон на втором спектре указывает на наличие незначительного количества коллоидных частиц феррита меди в растворе, при этом метиленовый синий полностью окислился под действием пероксида водорода.

Результаты модельного эксперимента свидетельствуют о каталитической активности феррита меди в процессе окисления органических соединений пероксидом водорода. Дальнейшие исследования планируется провести с использованием более практических окислителей, в частности, озона.

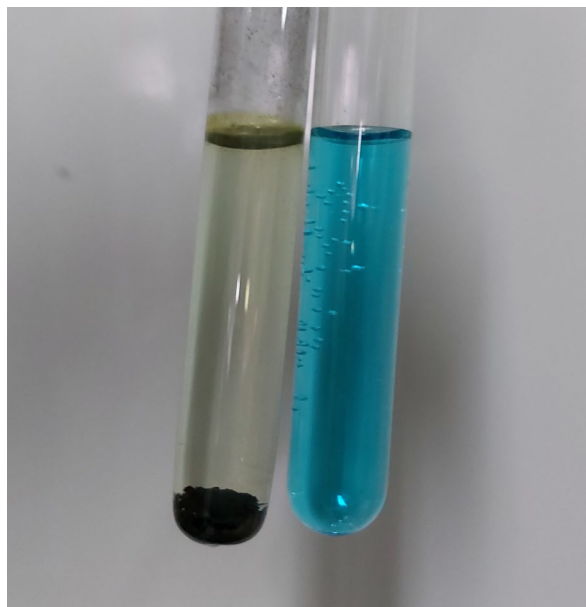


Рисунок 4. Фотографии пробирок, показывающие каталитическую активность феррита меди в реакции окисления метиленового синего пероксидом водорода

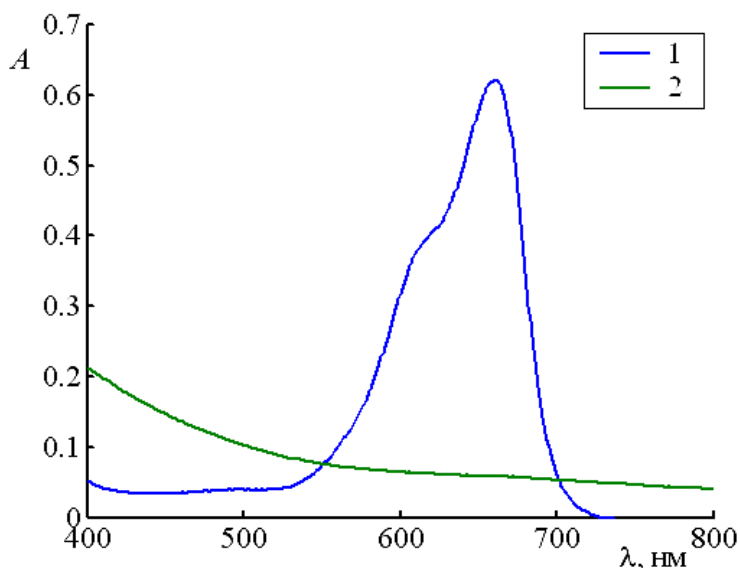


Рисунок 5. Спектры поглощения раствора холостого опыта (1) и при наличии феррита меди (2)

**Заключение.** Предложена разновидность метода получения феррита меди путем спекания оксалата железа и основного карбоната меди, а также сравнительно получен образец методом золь-гель синтеза. Показано, что при первом методе преобладает кубическая структура с примесью оксида меди, в то время как при втором методе образуется тетрагональная шпинель. Было доказано, что оба полученных феррита обладают каталитической активностью в реакции окисления органических соединений с

использованием пероксида водорода. Это делает их перспективным вариантом для применения в процессах водоочистки.

#### **Литература и источники**

1. Зирник, Г.М. Установление минимальных температурных и временных порогов образования ферритов-шпинелей  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  для методов твердофазного и жидкофазного синтеза / Г.М. Зирник, А.С. Чернуха, Н.С. Некорыснова, А.В. Вепрева, К.В. Матвеев, К.Р. Смолякова, Д.А. Винник // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 127. – 2021. – Т. 14. – № 4. – С. 127–139.

*Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент Звекон А.А., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИССОЦИАЦИИ ГАЛЛОВОЙ КИСЛОТЫ МЕТОДАМИ УФ-ВИД СПЕКТРОСКОПИИ

*Гостева Т.С.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[gosteva.tania2015@yandex.ru](mailto:gosteva.tania2015@yandex.ru)

**Аннотация:** Существует множество сфер для применения галловой кислоты, это может быть лёгкая или тяжелая промышленность, медицина, а также производство косметических средств. Галловая кислота наиболее распространена как оксикислота, содержащаяся в различных травах и растениях как дубильное вещество. Целью работы является исследование различных свойств галловой кислоты, степень её диссоциации в средах различной кислотности, в последующем планируется изучение её способности к комплексообразованию с различными металлами. В работе представлены спектры поглощения, полученные на спектрофотометре. Спектры поглощения представлены в следующих диапазонах pH: 3,5–5,5; 7,5–9,5 и 10–13 с шагом 0,5. На рисунке 1 представлены спектры поглощения смеси раствора ГК и буферного раствора в диапазоне pH=3,5–5. Начиная с длины волны 270–280 нм можно наблюдать гипсохромный сдвиг, а также изобестическую точку, которая говорит о присутствии нескольких форм ГК разной диссоциации в растворе. С понижением длины волны гипсохромный сдвиг переходит в батохромный. Другие полученные данные свидетельствуют о том, что оптическая плотность уходит в отрицательную область при повышении основности раствора. Можно сделать вывод, что поглощение в диапазоне низких длин волн 250–200 нм происходит за счёт буферных растворов, а не за счёт ГК. При последующем повышении основности виден рост оптической плотности на границе УФ и видимой областей. Повышение pH среды вначале приводит к гипсохромному сдвигу за счёт диссоциации карбонильной группы. При ещё более высоких значениях pH происходит диссоциация гидроксильной группы, за счёт этого изменяется симметрия молекулы, и наблюдается батохромный сдвиг.

**Ключевые слова:** кислотно-основное равновесие, галловая кислота, УФ-вид спектроскопия.

Существует множество сфер для применения галловой кислоты, это может быть лёгкая или тяжелая промышленность, медицина, а также производство косметических средств. Галловая кислота наиболее распространена как оксикислота, содержащаяся в различных травах и растениях как дубильное вещество.

**Целью работы** является исследование различных свойств галловой кислоты, степень её диссоциации в средах различной кислотности, в последующем планируется изучение её способности к комплексообразованию с различными металлами.

В работе представлены спектры поглощения, полученные на спектрофотометре. Спектры поглощения представлены в следующих диапазонах pH: 3,5–5,5; 7,5–9,5 и 10–13 с шагом 0,5. На рисунке 1 представлены спектры поглощения смеси раствора ГК и буферного раствора в диапазоне pH=3,5–5. Начиная с длины волны 270–280 нм можно наблюдать гипсохромный сдвиг, а также изобестическую точку, которая говорит о присутствии нескольких форм ГК разной диссоциации в растворе. С понижением длины волны гипсохромный сдвиг переходит в батохромный. Другие полученные данные свидетельствуют о том, что оптическая плотность уходит в отрицательную область при повышении основности раствора. Можно сделать вывод, что поглощение в диапазоне низких длин волн 250–200 нм происходит за счёт буферных растворов, а не за счёт ГК. При последующем повышении основности виден рост оптической плотности на границе УФ и видимой областей. Повышение pH среды вначале приводит к гипсохромному сдвигу за счёт диссоциации карбонильной группы. При ещё более высоких значениях pH происходит диссоциация гидроксильной группы, за счёт этого изменяется симметрия молекулы, и наблюдается батохромный сдвиг.

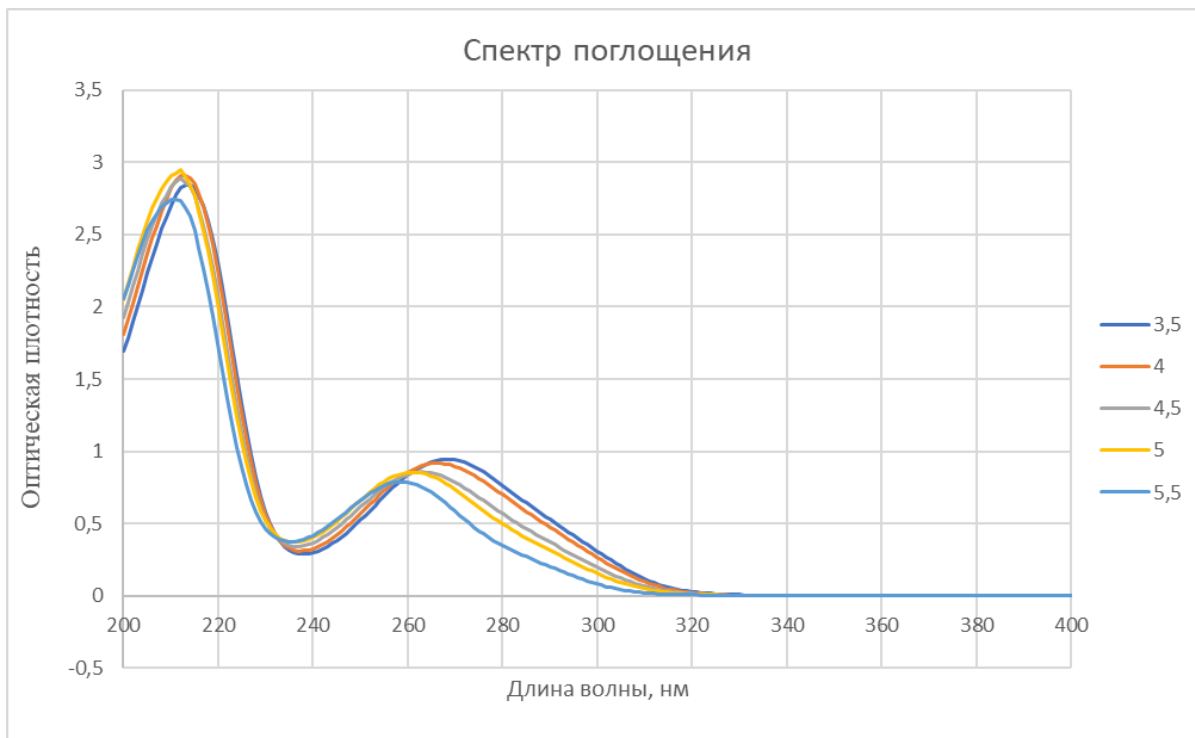


Рисунок 9. Спектры поглощения в рН=3,5-5

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

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ  
НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ***Гусева Ю.Д., Хобец А.В.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[juliakem1@mail.ru](mailto:juliakem1@mail.ru), [alena\\_pyankova@bk.ru](mailto:alena_pyankova@bk.ru)

**Аннотация:** В настоящей работе изложены результаты влияния слабого бесконтактного постоянного поперечного и продольного электрических полей различной напряженности (от  $10^{-4}$  до 10 В/см) на процессы, протекающие в водных растворах неорганических солей (на примере хлорида натрия), результаты которой продолжают цикл прошлых работ. Обнаружено, что даже при малой интенсивности электрического поля влияют на изменение физико-химических параметров водных растворов и влагосодержащих материалов. Также установлена взаимосвязь между физико-химическими состояниями (изменение оптической плотности, электропроводности, диэлектрической проницаемости водного раствора) в исследуемой водной системе при кристаллизации неорганической соли. Наблюдение за кристаллообразованием позволило определить, что при воздействии бесконтактным постоянным продольным (напряженность от  $10^{-4}$ В/см до 1В/см) и поперечным (напряженность от 1В/см до 10В/см) электрическими полями оптическая плотность водного раствора, относительно друг друга, повышается. При воздействии продольного поля на раствор соли хлорида натрия происходит изменение энергетической структуры вещества, что в результате приводит к увеличению оптического поглощения, в отличии от действия поперечного поля, при котором происходит рассеивание света и уменьшение оптической плотности. Анализ спектров оптического поглощения водных растворов хлорида натрия, отобранных из бюксов, в которых проводилась кристаллизация показал, заметное уменьшение оптической плотности в случае проведения кристаллизации в электрическом поле, что косвенно свидетельствует об изменении диэлектрическую проницаемость водных растворов солей под действием поля и не противоречит ранее высказанным предположениям о механизме влияния электрического поля на физико-химические процессы.

**Ключевые слова:** Оптическая плотность, хлорид натрия, диэлектрическая проницаемость, электрическое поле, водные растворы неорганических солей.

Даже при малой интенсивности электромагнитные поля влияют на изменение физико-химических параметров водных растворов и влагосодержащих материалов. О возможном действии электромагнитного поля на структуру именно водной фазы, свидетельствуют, как экспериментальные результаты изменения ее физико-химического состояния (изменение оптической плотности, электропроводности, теплоемкости, вязкости), так и его влияние на процесс кристаллообразования из водных растворов [1].

Настоящая работа продолжает цикл работ [1-3], которые посвящены исследованию влияния слабых электромагнитных полей на процессы, протекающие в водных растворах широко используемых неорганических солей (азиды, хлориды и бромиды серебра и натрия).

Обнаруженное влияние слабого бесконтактного постоянного поперечного ( $E=1\text{В/см} \div 10\text{В/см}$ ) и продольного ( $E=10^{-4}\text{В/см} \div 1\text{В/см}$ ) электрических полей на процесс кристаллизации указанных выше солей (скорость зародышеобразования, индукционный период, процесс формирования кристаллообразований), а также ранее [2, 3] показанная возможности варьирования их дисперсионных характеристик изменением напряженности электромагнитного поля подтверждают высказанное предположение [1] о влиянии электрического поля на молекулы полярного растворителя (воды). Отметим, эффект влияния электрического поля на процесс кристаллообразования сохраняется и в случае использования переменного бесконтактного электрического поля 50 Гц.

Анализ спектров оптического поглощения водных растворов хлорида натрия, отобранных из реакторов, в которых проводилась кристаллизация, показал заметное уменьшение оптической плотности раствора в случае ее проведения в электрическом поле (см. рис. 1), что косвенно свидетельствует об изменении  $\epsilon$  водных растворов солей под

действием поля и не противоречит ранее высказанным предположениям о механизме влияния электрического поля на физико-химические процессы в водных системах.

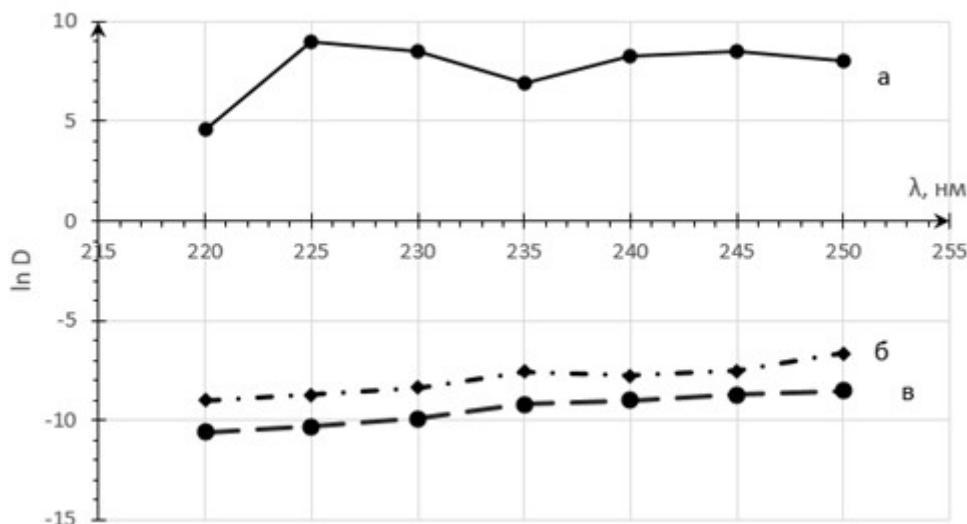


Рисунок. 1. Зависимость логарифма оптической плотности водного раствора хлорида натрия от длины волны при кристаллизации: а) без поля; б) в продольном  $E=10^{-2}$  В/см и в) в поперечном  $E=1$  В/см бесконтактном электрическом поле

#### Литература и источники

1. Гусева, Ю.Д. К вопросу о влиянии электрического поля на процессы, протекающие в водном растворе хлорида натрия / Ю.Д. Гусева, К.С. Латыпов, К.В. Арикайнен // Международная научная конференция «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей». – Кемерово: КемГУ, 2023. – С. 85-86.
2. Rodzevich, A.P. The Technology of Production and Treatment of Materials in the Electric Field / A.P. Rodzevich, E.G. Gazenaur, G.M. Belokurov // Applied Mechanics and Materials, 2014. – Vol. 682. – p. 206-209. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.682.206.
3. Кузьмина, Л.В. Технология получения химически инертных кристаллов азидов серебра / Л.В. Кузьмина, Е.Г. Газенаур, В.И. Крашенинин, Е.В. Сугатов // Фундаментальные исследования, 2015. – №11 (часть5). – С. 882-885

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Газенаур Е.Г., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»



## РЕЛАКСАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ В КРИСТАЛЛАХ АЗИДА СЕРЕБРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

*Рогалева У.А., Смолина А.А, Ковалев М.П.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[specproc@kemsu.ru](mailto:specproc@kemsu.ru), [Smolina.Anna.01@yandex.ru](mailto:Smolina.Anna.01@yandex.ru)

**Аннотация:** В данной работе представлены результаты, полученные при исследовании релаксации памяти к механическому воздействию в кристаллах азида серебра в присутствии электрического поля. Полученные результаты дополняют известные представления об азидах тяжелых металлов (АТМ) с точки зрения их применения на практике. Объект исследования – энергетически активные нитевидные кристаллы азида серебра, протяженные в кристаллографическом направлении [001] со средними размерами  $10 \times 0.1 \times 0.03$  мм<sup>3</sup>. В качестве методов исследования использовали метод Хилла для контроля степени разложения образцов и метод селективного травления для исследования дислокационной структуры. В результате проведенных экспериментов выяснилось, что при механической нагрузке в электрическом поле в кристаллах азида серебра происходит изменение плотности ямок травления на развитой грани, которые напрямую связаны с плотностью дислокаций краевого типа. Если за начальную плотность принять плотность приклеенных к подложке кристаллов ( $5,5 \cdot 10^3$  см<sup>-2</sup>), то после данного вида воздействия их плотность может, как увеличиваться, так и уменьшаться примерно в 1,5÷2 раза. Установлено, что, подбирая фиксированные параметры и различное сочетание факторов воздействия можно и генерировать, и устранять дислокации. Если не прекращать действия упругого напряжения, то дислокация будет совершать затухающие колебания различной интенсивности около некоторой «равновесной конфигурации», приводящие к стабильному состоянию последней. И даже после снятия механической нагрузки колебания дислокаций в кристаллах азида серебра не прекращаются, т.е. наблюдается эффект «механической памяти» в течение двух минут.

**Ключевые слова:** электрическое поле, медленное разложение, азид серебра, «механическая память», упругие напряжения.

Эффекты механической памяти исследовали многие авторы научных сообществ на примере веществ и материалов различной природы [1,2]. В этом случае рассматривают и изучают релаксацию процессов, протекающих в твердых телах после снятия механического воздействия. В данной работе представлены результаты, полученные при исследовании релаксации памяти к механическому воздействию в кристаллах азида серебра в присутствии электрического поля. Азиды, как традиционные штатные иницирующие вещества хорошо изучены, но в последнее время обнаруживаются и наблюдаются необычные для данных материалов магнитные и электрические свойства, которые дополняют известные представления об азидах тяжелых металлов (АТМ) с точки зрения их применения на практике.

Объект исследования – энергетически активные нитевидные кристаллы азида серебра, протяженные в кристаллографическом направлении [001], средние размеры, которых составляли  $10 \times 0.1 \times 0.03$  мм<sup>3</sup>.

Методически эксперимент состоял из нескольких этапов:

1) приготавливали образцы способом приклеивания к подложке из оргстекла либо слюды;

2) образцы помещали между пластинами плоского конденсатора ( $10 \div 30$  В/см) с возможностью механического воздействия, для этого образцы подвергали сжатию в ячейке либо индентированию (радиус закругления индентора из вольфрама 10 мкм, локальное давление до  $10^8$  н/м<sup>2</sup>) (Рис. 1,2);

3) включали бесконтактное электрическое поле и одновременно механически нагружали, либо эти воздействия разделялись по времени;

4) продукты разложения в анионной подрешетке определяли по методике Хилла [3], позволяющей количественно определять степень разложения азида, а также наблюдать за топографией газа в кристалле.

6) количественное изменение плотности дислокаций определяли по ямкам травления на рабочей грани кристалла.

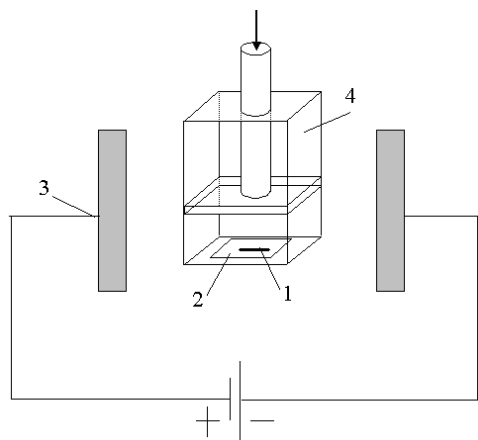


Рисунок 1. Механические испытания образцов в электрическом поле:  
1 – кристалл; 2 – слюдяная подложка; 3 – пластины конденсатора; 4 – ячейка для механического нагружения образцов

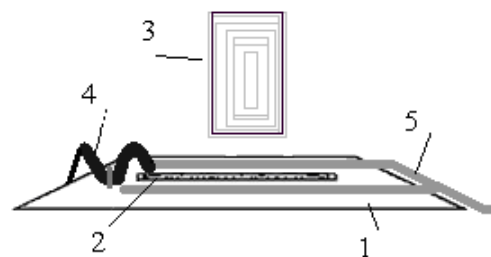


Рисунок 2. Наблюдение процессов в кристаллах азида серебра:  
1 – стеклянная подложка; 2 – кристалл;  
3 – окуляр микроскопа;  
4 – вольфрамовый индентор с пружиной заданной жесткости; 5 – электрические контакты из меди

Из опыта известно, что механическое нагружение образцов позволяет увеличить плотность дислокаций в несколько раз, потому что происходит генерация, смещение и взаимодействие дислокаций.

Но имеется серьезный недостаток, заключающейся в сложности контроля за распределением дислокаций и их плотностью по граням образца. Но, если одновременно с генерацией дислокаций осуществить возможность их оттока, то управлять плотностью дислокаций становится вполне легко решаемой задачей. Для этого используем электрическое поле в бесконтактном варианте.

В результате проведенных экспериментов выяснилось, что при механической нагрузке в электрическом поле в кристаллах азида серебра происходит изменение плотности ямок травления на развитой грани кристаллов, которые напрямую связаны с плотностью дислокаций краевого типа.

Если за начальную плотность принять плотность приклеенных кристаллов за оба конца, которая составляет  $5,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}$ , то после данного вида воздействия их плотность может, как увеличиваться, так и уменьшаться примерно до двух раз (Рис. 3,4).

Таким образом, подбирая фиксированные параметры и различное сочетание факторов воздействия можно и генерировать, и устранять дислокации, что аналогично проявлению электропластического эффекта [4]. Причем, интенсивность воздействия факторов находится в прямой зависимости от продолжительности этого воздействия.

Из теории дислокаций известно, что при скольжении дислокаций по плоскостям последние могут «зависать» на различных дефектах, чаще всего на скоплениях примесных атомах либо это могут быть дислокации «леса».

Такие виды препятствий усиливают торможение дислокаций и обеспечивают их устойчивое равновесие после снятия приложенного к кристаллу механического напряжения. Данный эффект называют «пиннингом линии дислокации препятствиями».

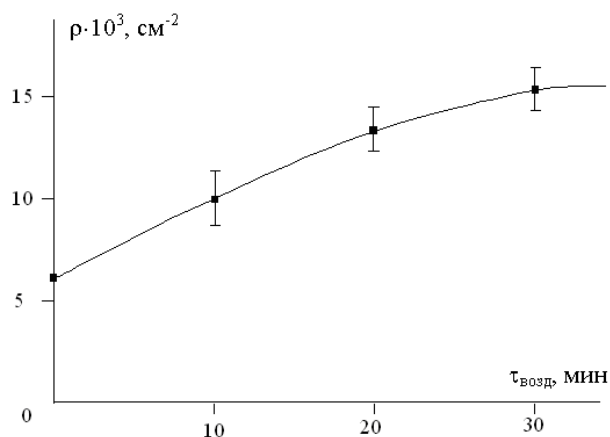


Рисунок 3. Изменению плотности дислокаций от времени воздействия механического напряжения  $4 \cdot 10^7$  Н/м

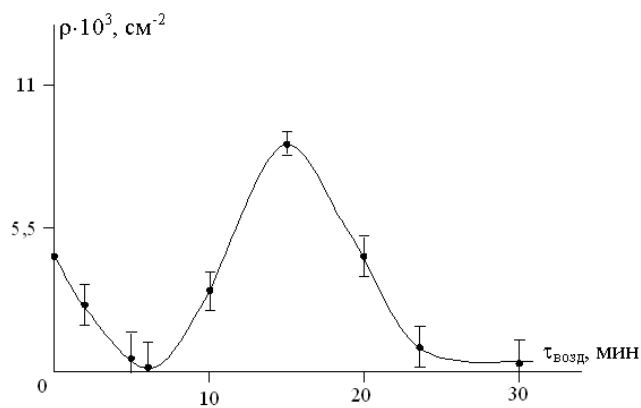


Рисунок 4. Изменению плотности дислокаций от времени механической нагрузки  $4 \cdot 10^7$  Н/м в электрическом 10 В/см

В нашем эксперименте сдвигающие силы для дислокации обусловлены в основном электрическим полем, но возможно и силы механических напряжений.

Качественно этот процесс можно представить следующим образом: при приближении дислокации к скоплению ранее введенных дислокаций, дислокация останавливается, потому что в этом месте накладывается действие полей обратных напряжений и динамического торможения. Но при некоторых условиях дислокация в результате взаимодействия со скоплением дефектов начинает двигаться обратно.

Если не прекращать действия упругого напряжения, то можно добиться обратного движения дислокации к скоплению дефектов, т.е. говоря языком физики колебаний, дислокация будет совершать затухающие колебания около некоторой «равновесной конфигурации», приводящему к стабильному и неизменному состоянию последней.

И даже после снятия механической нагрузки колебания дислокаций в кристаллах азидо серебра не прекращаются, т.е. наблюдается эффект «механической памяти» в течение двух минут.

Также в данных промежутках времени наблюдается выделение газа и почернение видимой в микроскоп поверхности кристалла. Это говорит о том, что произошел запуск или интенсификация реакции медленного разложения в обеих подрешетках кристалла.

Следует отметить особенность при таком виде разложения, а именно пузырьки газа при растворении кристалла отлетают от его поверхности, т.е. имеют две составляющих скорости (вертикальную и горизонтальную).

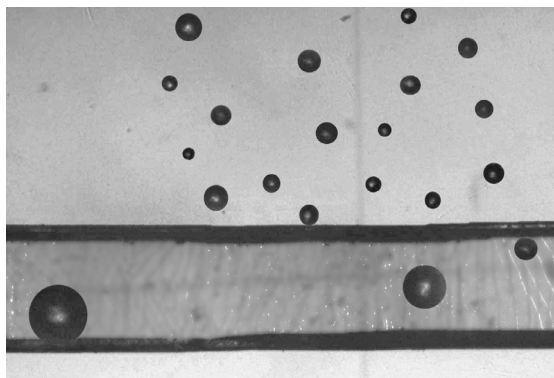


Рисунок 5. Газообразные продукты разложения при действии механического напряжения в электрическом поле (фото)

Если продолжить растворение образца в электрическом поле, то заметно отклонение пузырьков газа к положительному электрическому контакту. Следовательно, пузырьки частично отрицательно заряжены. Релаксация этого процесса составляет примерно двенадцать минут. Данный эффект аналогичен эффекту, наблюдаемому в магнитном поле [5]. Возможно, частичный заряд пузырьков газа имеет природу, связанную с эффектом пьезоэлектричества.

Ранее Ф.И. Ивановым не только предполагалось, но и доказывалось, что под действием механического нагружения в кристаллах азидов возникает электрическое поле поляризации, (пьезоэффект), а под действием электрического поля возникает деформация [2]. Также отметим, что поле поляризации компенсируется специально подобранным внешним бесконтактным электрическим полем и в этом случае ни разложения, ни деформации не наблюдается.

#### **Литература и источники**

1. Власов Н. М. Взаимодействие точечных дефектов с краевой дислокацией в градиентной теории упругости // ФТТ. – 2001. – Т.43 – В.11 – С.1999 – 2002.
  2. Иванов Ф.И., Крашенинин В.И., Кузьмина Л.В. Эффекты и явления в нитевидных кристаллах азидов тяжелых металлов при действии тепла, света, электрического и магнитного полей // Известия вузов. Физика. – 2006. – Т. 49. – №.1. – С. 96 – 102.
  3. Neal H.G. A microgaseometric procedure // Nature, 1953. – V.172. – P. 30.
  4. Тяпунина Н.А., Коломийцев А.И. Влияние электрического поля на стартовое напряжение и длину пробега дислокаций в кристаллах NaCl // Кристаллография. – 1972. – Т.17 – №6 – С. 1258 – 1262.
  5. Кузьмина Л. В., Крашенинин В. И., Газенаур Е. Г. Влияние слабых магнитных полей на физико-химические процессы в кристаллах азидов серебра и свинца // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2006. – Т. 3. – №4. – С. 110–114.
- Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Кузьмина Л.В., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

УПРАВЛЕНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ АКТИВНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ*Земченков Д.А., Дьяков В.М., Карташев Д.Д.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет

[danikzema@gmail.com](mailto:danikzema@gmail.com), [specproc@kemsu.ru](mailto:specproc@kemsu.ru), [dimakartashev228@mail.ru](mailto:dimakartashev228@mail.ru)

**Аннотация:** В данной работе предложен способ управления долговременной стабильностью взрывчатых материалов, основанный на изменении плотности дислокаций ультразвуком. В работе использовали изначально нитевидные кристаллы азида серебра без краевых дислокаций с размерами  $6 \times 0,1 \times 0,03$  мм<sup>3</sup>. Ультразвук возбуждался преобразователем с собственной частотой 20 кГц. Интенсивность ультразвука составляла 1,5 Вт/см<sup>2</sup>. После обработки образцы подвергали воздействию контактного электрического поля (300 В/мм). Время до взрыва отсчитывали от момента включения источника напряжения, которое отмечали по секундомеру, а сам взрыв распознавали по звуку. Эксперимент показывает, что с ростом плотности дислокаций требуется больше времени экспонирования образца в электрическом поле до наступления взрыва. Если уменьшать плотность дислокаций, то реакция заканчивается взрывом раньше по времени. Такой результат, не совсем удовлетворяет ранее предложенной теории, а именно, чем больше дислокаций, тем больше реакционных областей, тем более легко разлагается азид. Сделаны следующие предположения, не противоречащие эксперименту и известным научным теориям, которые могли бы объяснить данные результаты: с ростом числа дислокаций происходит на них рассеяние энергии реагентов реакции; происходит потеря энергии еще и при рассеянии на фононах; «канал пробоя» формируется медленнее. То есть наблюдается медленное разложение с выделением газа-азота, а критическая концентрация основных носителей заряда – дырок, замедляется. Таким образом, при аномально высокой плотности дислокаций условия для развития реакции, приводящей к взрыву, формируются более длительно, т.е. наблюдается «электрическое упрочнение». С уменьшением плотности дислокаций происходит обратный процесс.

**Ключевые слова:** электрическое поле, ультразвук, медленное разложение, взрывное разложение, азид серебра, дислокации

Для управления долговременной стабильностью активных энергетических материалов используют физические поля различной природы. Также не менее актуально контролировать скорость химической реакции.

Для азидов тяжелых металлов эта актуальность резко усиливается, поскольку для взрывчатых веществ, время перехода медленного разложения во взрыв является практически важной характеристикой, контролирующей стабильность данных материалов.

Объект исследования – нитевидные кристаллы азида серебра – модельные объекты в химии твердого тела и типичные представители класса инициирующих взрывчатых веществ.

Как известно из многочисленных работ Крашенинина В.И., Кузьминой Л.В., Газенаур Е.Г. дефектная структура азида серебра достаточно легко реагирует на действие различных физических полей (электрического и магнитного, ультразвуковой волны, механической нагрузки), причиной такой высокой чувствительности является электрический заряд дислокаций и примесных дефектов, в совокупности они образуют вакансионный кластер в приповерхностной области кристаллов, который и отвечает за реакционную способность данных материалов [1,2,4].

Обработка кристаллов азида серебра различными физическими полями позволяет контролировать плотность краевых дислокаций на различных гранях кристалла, а, следовательно, и задавать «рисунок» разложения образцов. Типичная зависимость изменения плотности дислокаций от времени обработки, как правило, имеет сложный характер с ярко выраженными областями максимума и минимума.

На рисунке 1 показано изменение плотности дислокаций от времени ультразвуковой обработки кристаллов азида серебра (Рис. 1). Ультразвук возбуждался преобразователем с собственной частотой 20 кГц. Интенсивность ультразвука составляла 1,5 Вт/см<sup>2</sup>.

Как выяснилось, ультразвук позволяет за короткое время существенно изменить плотность дислокаций, в то время как для получения такого же результата с помощью более «мягких» видов воздействия их следует комбинировать. Например, с бесконтактным электрическим либо магнитным полями лучше применять механическую нагрузку – локальное индентирование.

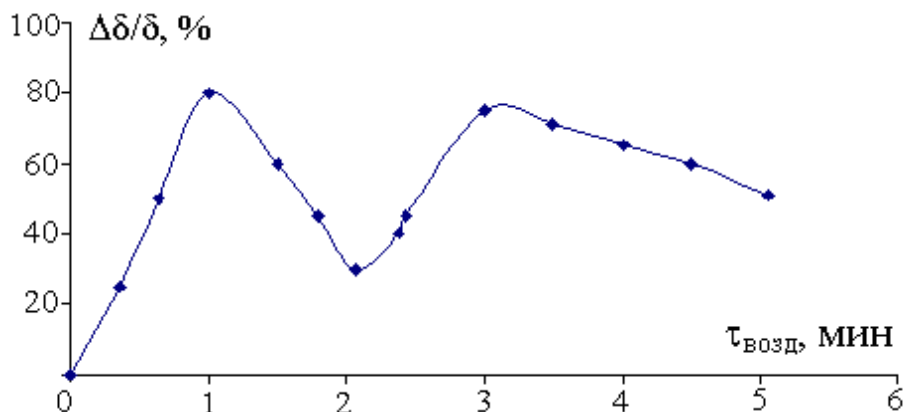


Рисунок 1. Зависимость изменения плотности дислокаций от времени обработки ультразвуковой волной образцов азида серебра

В работе использовали изначально нитевидные кристаллы азида серебра без краевых дислокаций. Образцы выращивали по методике Иванова Ф.И., методика позволяет получать кристаллы с размерами 6×0,1×0,03 мм<sup>3</sup> [3]. Чем короче в длину кристаллы, тем они больше удовлетворяют условиям облучения ультразвуковой волной.

После обработки ультразвуком образцы подвергали воздействию контактного электрического поля (300 В/мм). Время отсчитывали от момента включения источника напряжения до взрыва, которое отмечали по секундомеру, а сам взрыв распознавали по звуку и разлету продуктов.

Если сравнить графики на рисунках 1 и 2, то можно отметить, что в образцах с минимальным количеством дислокаций взрыв происходит примерно через три минуты после включения источника напряжения, а если плотность дислокаций максимальна, то взрыв фиксируют после восьми минут (Рис. 2).

Такой результат, не совсем удовлетворяет ранее предложенной теории, а именно, чем больше дислокаций, тем больше реакционных областей, тем более легко разлагается азид [2].

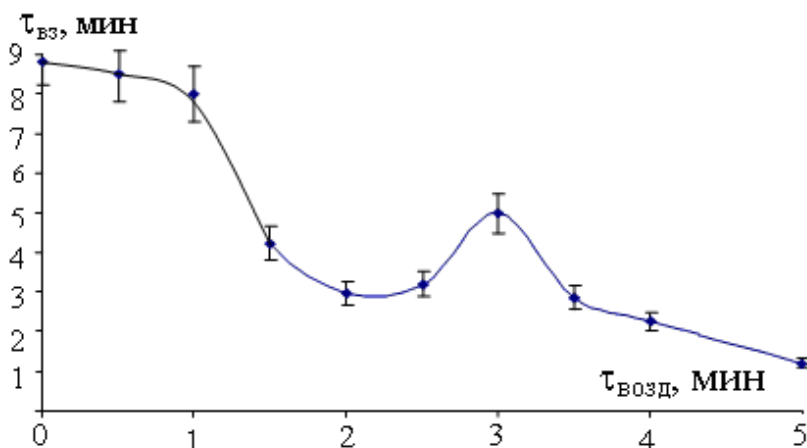


Рисунок 2. Зависимость времени до взрыва в контактном электрическом поле от времени предварительной обработки ультразвуковой волной образцов азида серебра

Итак, эксперимент показывает, что с ростом плотности дислокаций требуется больше времени экспонирования образца в электрическом поле до наступления взрыва. Если уменьшать плотность дислокаций, то реакция заканчивается взрывом раньше по времени.

Таким образом, при аномально высокой плотности дислокаций условия для развития реакции, приводящей к взрыву, формируются медленнее, т.е. наблюдается «электрическое упрочнение». С уменьшением плотности дислокаций происходит обратный процесс.

### **Литература и источники**

1. Крашенинин В. И., Кузьмина Л. В., Газенаур Е. Г., Добрынин Д. В. Основные стадии перехода медленного разложения в быстропротекающий процесс в кристаллах азида серебра // Химическая технология. – 2010. – №2. – С. 75–79.
2. Кузьмина Л. В., Газенаур Е. Г., Крашенинин В. И., Сугатов Е. В. Разложение и дислокационная структура кристаллов азида серебра в электрическом поле // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – Т. 54. – №1/3. – С. 43–45.
3. Иванов Ф.И., Крашенинин В.И., Кузьмина Л.В. Эффекты и явления в нитевидных кристаллах азидов тяжелых металлов при действии тепла, света, электрического и магнитного полей // Известия вузов. Физика. – 2006. – Т. 49. – №1. – С. 96 – 102.
4. Кузьмина Л. В., Дорохов М. А., Крашенинин В. И. Магнитоиндуцированное движение дислокаций в кристаллах азида серебра // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2006. – №1. – С. 90–93.

*Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Кузьмина Л.В., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*



# СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

*Зинчук О.М.*

*Кемеровский государственный университет, г. Кемерово*

*oksityt@icloud.com*

**Аннотация:** Целью данной работы является: формулировка единой методики получения легированного тяжелыми металлами оксида цинка с помощью экзотермического синтеза для фотокаталитических приложений. Для получения наноструктурированного порошка оксида цинка легированного медью был выбран метод экзотермического синтеза, для этого были взяты оксид цинка и оксида меди растворенные в азотной кислоте с добавлением дистиллированной воды: 3,5 г оксида цинка и 0,604 г оксида меди, помещали в стакан и небольшими порциями приливали  $\text{HNO}_3$  и небольшое количество дистиллированной воды, доводили до полного растворения. Далее раствор нагревался до кипения и в него добавили пенообразователь (4 г. сахара). После упаривания, стакан с раствором загружался в муфельную печь, нагретую до 250 °С, где раствор вскипал и формировался в устойчивую твердую пену с катионами меди, встроенными в структуру оксида цинка. Затем пена нагревалась до 500 °С в муфельной печи и выдерживалась при этой температуре 2 часа. При таком методе экзотермического синтеза в результате формируется порошок  $\text{ZnO}$  легированный  $\text{Cu}$ . Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: Наиболее эффективным фотокатализатором окисления фурацилина в водной среде под действием УФ и видимого излучения является нанопорошок легированный 5 мол. % серебра, а в модельной системе с фенолом оксид цинка. Нанопорошок чистого оксида цинка также проявляет высокую фотоокислительную активность при очистки воды от растворенного фурацилина и фенола под действием комбинацией видимого и ультрафиолетового излучения. При этом его эффективность падает всего в три раза если использовать только видимый источник света. Порошки, легированные железом и медью, не проявляют высокой фотокаталитической активности. Для определения причин такого результата, требуются дополнительные исследования процессов происходящих при воздействии на них света, и повторение экспериментов по фотоокислению с меньшей концентрацией катализатора. На основе полученных результатов предложена принципиальная схема очистки сточных вод фармацевтических фабрик, включающая на первой стадии фотокаталитическое окисление органических веществ УФ- и видимым светом, позволяющая снизить их концентрацию до уровня, необходимого при использовании активного ила.

**Ключевые слова:** оксид цинка, фотокатализ, легирование, очистка сточных вод.

Актуальность данной темы заключается в том, что на сегодняшний день большое внимание уделяется качеству очистки воды, от различных загрязнений техногенных загрязнений, в том числе от фармацевтических отходов и красочных изделий. Классические канализационные и очистные сооружения не могут до конца справиться с очисткой воды и большое количество этих веществ все равно попадают в окружающую среду. Для решения этой проблемы разрабатываются новые подходы. Для очистки используют адсорбционные системы, биодegradацию, хлорирование и озонирование. Необходим метод с минимальными затратами и простотой исполнения, но более эффективный.

Таким методом является фотокаталитическая очистка, под действием солнечного света. Для протекания такого процесса необходим фотокатализатор, представляющий собой полупроводниковый материал, или композит из нескольких полупроводниковых фаз, удовлетворяющий ряду условий: способных поглощать максимальную часть спектра солнечного излучения, и при этом генерировать электронно-дырочную пару; положение дна зоны проводимости и потока валентной зоны должен, соответствовать энергиям достаточным для участия зарядов в электрохимическом процессе образования активных радикалов и ионов из растворенного в воде кислорода и воды, способных разрушать растворенные в воде молекулы загрязняющего компонента[1]. В качестве основного такого фотокатализатора часто применяют наноструктурированный оксид металла. В данной работе выбран оксид

цинка. Данный оксид сравнительно нетоксичен, достаточно недорогой и обладает нужной нам фотокаталитической активностью.

Целью данной работы является: формулировка единой методики получения легированного тяжелыми металлами оксида цинка с помощью экзотермического синтеза для фотокаталитических приложений.

Задачи работы:

1. Синтез наноструктурированно оксида цинка, а также порошков на его основе легированных железом, медью и серебром экзотермическим методом.

2. Исследование фотокаталитической активности легированного оксида цинка с использованием в качестве модельной системы водного раствора семикарбазона 5-нитрофурурола (фурацилина) и фенола с оценкой константы скорости реакции фотодеградация фурацилина и фенола.

В данной работе были проведены различные подходы к активации ZnO в качестве фотокатализатора, это было достигнуто путем легирования ZnO медью, серебром и железом (ZnO\_Cu, ZnO\_Ag, ZnO\_Fe), для увеличения его коэффициента поглощения в видимой области спектра.

Научная новизна состоит в том, предложена единая методика синтеза фотокаталитических систем на основе допированного тяжелыми металлами оксида цинка для фотокаталитических приложений с использованием видимого света и ультрафиолетового света.

Практическая значимость заключается в том, что фотокаталитические системы на основе допированного серебром, медью и железом оксида цинка были протестированы на окислении фармпрепаратов, на примере фурацилина и фенола, и доказали свою эффективность.

Для эффективного фотокатализа был выбран оксид цинка легированный Fe, Cu, Ag, полученный в виде порошка сочетающих в себе свойства наноструктурированных материалов.

Для получения наноструктурированного порошка оксида цинка легированного медью был выбран метод экзотермического синтеза, для этого были взяты оксид цинка и оксида меди растворенные в азотной кислоте с добавлением дистиллированной воды: 3,5 г оксида цинка и 0,604 г оксида меди, помещали в стакан и небольшими порциями приливали HNO<sub>3</sub> и небольшое количество дистиллированной воды, доводили до полного растворения. Далее раствор нагревался до кипения и в него добавили пенообразователь (4г сахара). После упаривания, стакан с раствором загружался в муфельную печь, нагретую до 250 °С, где раствор вскипал и формировался в устойчивую твердую пену с катионами меди, встроенными в структуру оксида цинка. Затем пена нагревалась до 500 °С в муфельной печи и выдерживалась при этой температуре 2 часа. При таком методе экзотермического синтеза в результате формируется порошок ZnO легированный Cu.

По такой технологии были синтезированы: оксид цинка легированный медью, железом и серебром с разными процентным содержания металла. Для достижение большего количества результатов.

Недостатками донного процесса являются: многоступенчатость, длительность процесса. Пик поглощения был померен составил от 300 до 400 нм. Большое образование дефектов говорит о высокой степени поглощения падающего излучения. Что означает поглощение в видимой области спектра. Наблюдается длинный хвост поглощения в видимой области света, по всей видимости из-за уровня дефектов, индуцированный в процессе синтез.

Таблица 1. Константы скоростей синтезированных фотокатализаторов в зависимости от используемого света

Фотокатализатор	УФ и видимый свет (фурацилин)	Видимый свет (фурацилин)	УФ и видимый свет (фенол)
ZnO Cu 15%	0,01567	0,00153	-
ZnO Fe 25%	0,00227	0,00190	-
ZnO Ag CS	0,02791	0,00130	0,002
ZnO	0,01566	0,00535	0,0013

Был проведен анализ методом жидкостной хроматографии с спектрофотометрическим детектированием. Спектры продуктов приведены на рисунке 1.

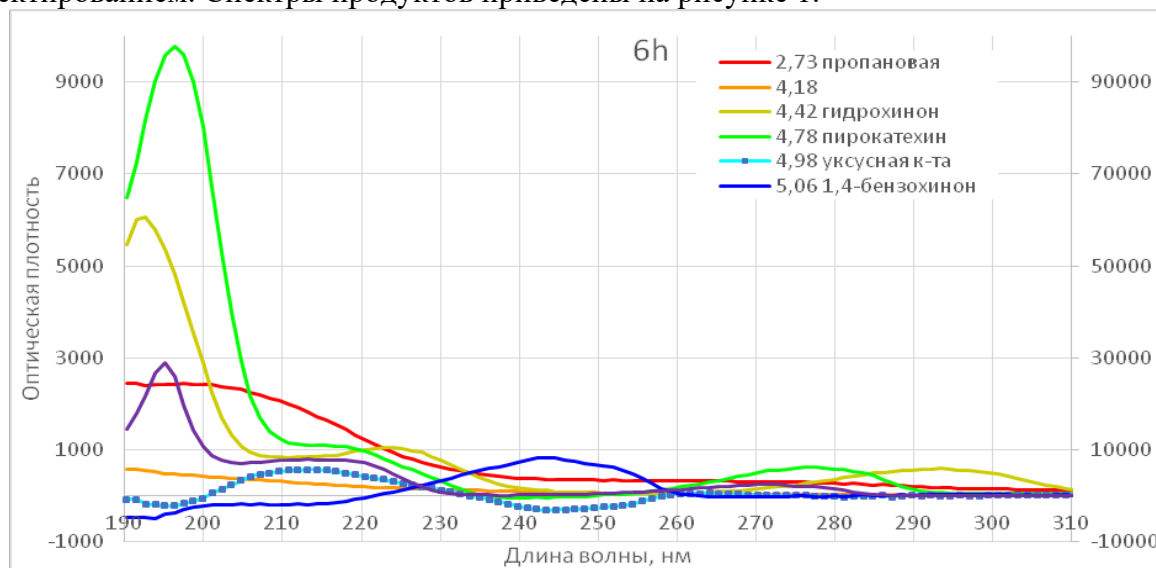


Рисунок 1. Спектр компонентов окисления спустя 6 часов фотокатализа

Полученные фотокатализаторы показали свою эффективность при фотодеградации модельного фармпрепарата и фенола в условиях УФ- и видимого облучения. Это позволяет предложить их использование в очистке сточных вод фармпредприятий. Принципиальная схема должна быть следующая. Загрязненная органическими соединениями вода поступает в емкость с легированным оксидом цинка, где облучается солнечным светом или лампами при перемешивании. Затем она подается на центрифугу для регенерации фотокатализатора. Фильтрат может быть дополнительно очищен при необходимости с помощью биологической очистки или окисления озоном при необходимости.

Предлагаемый подход позволит достигнуть экспрессной очистки воды или доведения ее до малых концентраций вредных компонентов, которые далее можно перерабатывать с помощью активного ила без разбавления исходной загрязненной воды.

Исследование морфологии и фазового состава материалов показало, что они состоят из кристаллитов размером от 10 до 100 нм, при этом легирующие добавки образуют отдельную фазу оксида меди (II), металлического серебра и феррита цинка для ZnO:Cu, ZnO:Ag и ZnO:Fe соответственно.

Исследование спектров диффузного отражения показало, что легированные порошки цинка, обладают поглощением в видимой и даже в ближней ультрафиолетовой области спектра, в отличие от чистого оксида имеющего область собственного поглощения до 390 нм.

Тем не менее, изучение фотокаталитических свойств материалов показало, что чистый оксид цинка не легированный металлами обладает более высокой фотокаталитической активностью при облучении видимым диодным источником излучения, что достаточно неожиданно. Излучение использованного источника целиком находится в более длинноволновой области спектра, чем собственное поглощения оксида цинка. В качестве предполагаемой причины такого эффекта можно назвать сравнительно эффективное

двухфотонное возбуждение оксида цинка видимым светом. Сравнительно более низкая эффективность легированных добавок может объясняться слишком высокой концентрацией фотокатализатора в растворе, что в сочетании с заметно большим показателем поглощения в видимой области, не позволяло свету проникать в весь объем стакана, что снижала эффективность процесса разложения.

При одновременном облучении видимым и ультрафиолетовым источником света самой высокой фотокаталитической активностью обладает оксид цинка легированный серебром. Константа скорости реакции окисления с участием чистого оксида цинка почти в два раза ниже, чем для ZnO:Ag. Данный эффект может объясняться разделением зарядов в материале. Электрон переносится на частицы серебра, а дырка остается в валентной зоне оксида цинка, при этом оба заряда могут участвовать в образовании активных форм кислорода. Низкая эффективность порошков легированных железом и медью, может объясняться, как высокой оптической плотностью суспензией, так и отсутствием переноса заряда в полученных композитах.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Наиболее эффективным фотокатализатором окисления фурацилина в водной среде под действием УФ и видимого излучения является нанопорошок легированный 5 мол. % серебра, а в модельной системе с фенолом оксид цинка.

2. Нанопорошок чистого оксида цинка также проявляет высокую фотоокислительную активность при очистке воды от растворенного фурацилина и фенола под действием комбинацией видимого и ультрафиолетового излучения. При этом его эффективность падает всего в три раза если использовать только видимый источник света.

3. Порошки, легированные железом и медью, не проявляют высокой фотокаталитической активности. Для определения причин такого результата, требуются дополнительные исследования процессов происходящих при воздействии на них света, и повторение экспериментов по фотоокислению с меньшей концентрацией катализатора.

4. На основе полученных результатов предложена принципиальная схема очистки сточных вод фармацевтических фабрик, включающая на первой стадии фотокаталитическое окисление органических веществ УФ- и видимым светом, позволяющая снизить их концентрацию до уровня, необходимого при использовании активного ила.

#### Литература и исследование

1. Ameta R. et al. Фотокатализ //Современные окислительные процессы для очистки сточных вод. – Academic Press, 2018. – С. 135-175.

*Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Каленский А.В., Кемеровский государственный университет.*

## ТРАНСФОРМАЦИИ ГЦК-ФАЗЫ В СИСТЕМЕ Fe–Pt ПРИ НАГРЕВАНИИ

Улмасов Б.Б.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[yumasovchem04@mail.ru](mailto:yumasovchem04@mail.ru)

**Аннотация:** Методами дифракции рентгеновских лучей исследовано поведение системы Fe–Pt в области существования твердых растворов ГЦК-типа при умеренном нагревании. Образцы (фазы) системы благородных металлов с металлами группы железа интересны своими магнитными свойствами. Один из методов получения смешанных систем с достаточно высокой дисперсностью – совместное восстановление из смесей различных прекурсоров. Основная проблема такого синтеза в образовании фаз различного состава вследствие существенного различия окислительно-восстановительных потенциалов благородных и переходных металлов. Поэтому после синтеза образцы подвергаются нагреванию, чтобы обеспечить получение твердых растворов заданного состава. Практически всегда дифракционно видимой фазой является только твердый раствор ГЦК-типа с относительно малым содержанием железа (меньше заложенного). При нагревании в конечном итоге наблюдается увеличение содержания железа в твердом растворе, сопровождающееся сложным характером изменения дифракционной картины вследствие действия двух противоположных факторов: обогащение железом приводит к уменьшению параметра, в то время как нагревание способствует их увеличению вследствие эффекта теплового расширения. Однако в области относительно невысоких температур обнаружено увеличение параметров решетки сверх действия теплового расширения. Предполагается, что это обусловлено процессом «растворения» первичных кластеров платины, образующихся на начальном этапе восстановления и составляющих ядровую часть первичных нанокристаллов твердого раствора. Аппроксимация дифракционных профилей в монохроматическом излучении позволяет получить объективные данные об их ширине и на этой основе дать оценку (по Шерреру) размеров областей когерентного рассеяния (ОКР). Для исходного 7%-ного образца образцов при комнатной температуре эта оценка составила 8.3 нм. При нагревании до 210 °С происходит незначительное увеличение размеров до 11.1 нм; аналогично размеры областей когерентного рассеяния в 11%-ном образце увеличиваются от 8.0 до 10.4 нм.

**Ключевые слова:** Интерметаллиды платины, наноразмерные металлы, твердые растворы, рентгеновская дифракция, параметры решетки

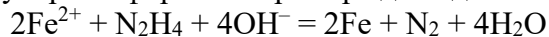
Настоящая работа является частью цикла исследований наноразмерных и наноструктурированных систем благородных металлов (Pt, Pd) с металлами группы железа (Fe, Co, Ni) [1–4]. Интерес к этим системам в наносостоянии, помимо чисто научного, обусловлен разнообразными и ценными магнитными свойствами. В частности, интерметаллиды этой группы с тетрагональной структурой могут обладать сверхвысокой коэрцитивностью [5].

Один из методов получения смешанных систем с достаточно высокой дисперсностью – совместное восстановление из смесей различных прекурсоров. Основная проблема такого синтеза в образовании фаз различного состава вследствие существенного различия окислительно-восстановительных потенциалов благородных и переходных металлов. Поэтому после синтеза образцы подвергаются нагреванию, чтобы обеспечить получение твердых растворов заданного состава.

Практически всегда дифракционно видимой фазой является только твердый раствор ГЦК-типа с относительно малым содержанием железа (меньше заложенного). При нагревании (до 800 °С) в конечном итоге наблюдается увеличение содержания железа в твердом растворе, сопровождающееся сложным характером изменения дифракционной картины вследствие противоположного действия двух факторов: обогащение железом

приводит к уменьшению параметров решетки, в то время как нагревание способствует их увеличению в соответствии с эффектом теплового расширения.

Образцы с заложенным по условиям синтеза содержанием железа 7% и 10% были получены в лаборатории неорганических наноразмерных материалов ФИЦ УУХ СО РАН Захаровым Н.С. совместным восстановлением из подкисленных растворов, содержащих сульфат железа(II) и тетрахлорплатиновую кислоту, при добавлении смеси щелочи и большого избытка гидразин-гидрата. Окислительно-восстановительная реакция в сокращенной ионно-молекулярной форме на примере для одного из металлов:



Дифрактограммы измерены в ЦКП ФИЦ УУХ СО РАН Поповой А.Н. на аппарате Bruker D8 ADVANCE A25 (Германия) непосредственно в высокотемпературной камере «Anton Paar» НТК 1200 N (Австрия) при температурах 30, 130 и 210 °С. Из-за малого количества вещества (работа с благородными металлами), а также в силу высокой дисперсности, интенсивность по профилю дифракционных рефлексов получается невысокой. Кроме этого, под пучок частично попадает материал подложки (корунд). Особенную сложность представляют случаи с перекрывающимися рефлексами. Все это затрудняет установление точных положений дифракционных рефлексов. Для разрешения этой проблемы применяли процедуру моделирования профилей. При этом учитывали также дублетную структуру основной спектральной линии анода (Cu – медь), состоящей из двух компонент:  $K\alpha_1$  и  $K\alpha_2$ .

Основной функцией, используемой для аппроксимации дифракционных профилей, является т.н. функция Пирсон VII, один из случаев более общего распределения Пирсона, насчитывающего 12 частных вариантов [6]. Упрощенная форма распределения Пирсон VII:

$$f(x) = \left( \frac{1}{1 + a(x - x_0)^2} \right)^m \quad (1)$$

В случае  $m = 1$  функция известна как функция Коши-Лоренца, а при достаточно высокой степени ( $m > 15$ ) распределение становится практически неотличимым от Гауссова, которое, в свою очередь, является напрямую частным случаем XI распределения Пирсона. Функции Гаусса, Коши и Коши в квадрате являются основными функциями, используемыми в методе аппроксимаций при оценке размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) – кристаллитов (кристаллических блоков). Таким образом, распределение Пирсон VII представляет собой своеобразную комбинацию двух крайних случаев – функции Коши и функции Гаусса, поэтому является достаточно универсальным инструментом для аппроксимации реальных дифракционных профилей.

На рисунке 1 показан результат аппроксимации профиля 7%-ного образца. Модельные профили отдельных рефлексов (штриховые линии) вычислены и показаны уже суммарно по двум спектральным составляющим в отношении 2:1 по интенсивности. Варьировали для обоих рефлексов параметры ширины ( $a$ ) и параметры формы ( $m$ ), величину относительной интенсивности рефлекса 222 (второго), а также параметры линейного фона (всего 7 параметров). Области наложения рефлексов корунда исключали при нормировке модельного и экспериментального профилей и минимизации R-фактора (отношение суммы абсолютных разностей к площади под кривой профиля). Достигнутые R-факторы: 2–3% для одиночного рефлекса 111 и 4–5% для перекрывающихся 311 и 222, что сопоставимо со статистическим разбросом при измерении интенсивностей.

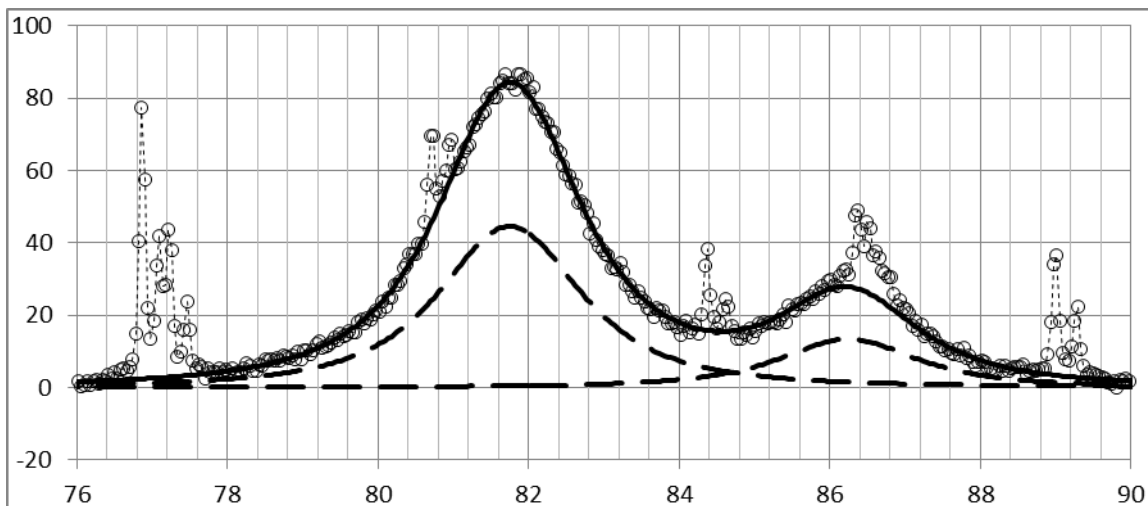


Рисунок 1. Аппроксимация профиля перекрывающихся рефлексов 311 и 222; штриховыми линиями показаны модельные дублетные профили рефлексов по отдельности в уменьшенном масштабе

Дополнительно результат аппроксимации контролировали вычислением разностной линии – между реальным и модельным профилями. Фактически эта линия должна представлять дифракционную картину от корундовой подложки с нулевым фоном, что и наблюдается в действительности (рис. 2).

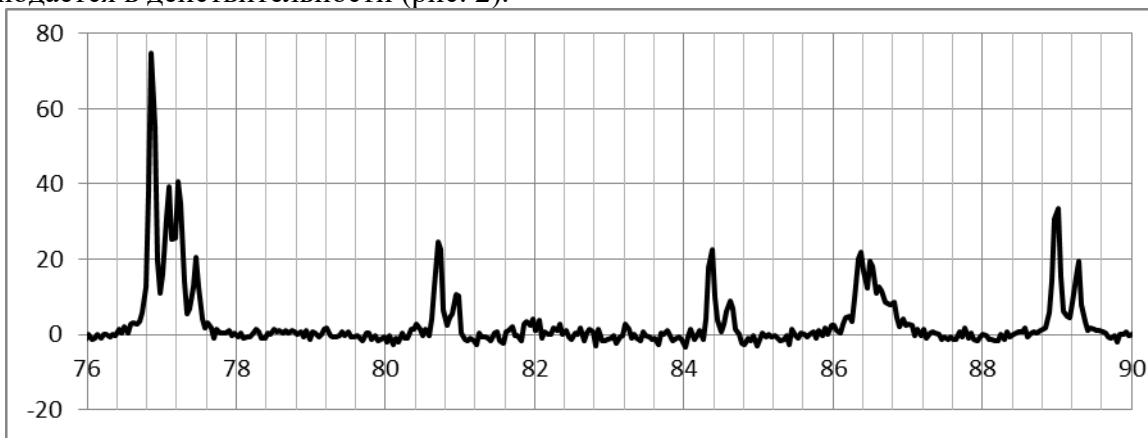


Рисунок 2. Разностная линия между реальным и модельным профилями в области перекрывающихся рефлексов 311 и 222

По результатам измерения дифракционных углов вычислены параметры решетки ГЦК-фазы при температурах 30, 130 и 210 °С: для 7%-ного образца они составили 3.9102(1), 3.9133(3) и 3.9189(1) Å; для 10%-ного 3.9092(1), 3.9138(1), 3.9184(1). В работе [3] на основе имеющихся в базах данных ICDD сведений о параметрах решетки и составах фаз получена формула, связывающая эти величины. Оценка составов по этой формуле при комнатной температуре показывает, что содержание железа в ГЦК-фазе 7%-ного образца 6.5%, а 10%-ного 6.9%. Из этого следует, что в образцах имеется, кроме дифракционно видимой ГЦК-фазы, более богатая железом и невидимая фаза, которая при нагревании могла бы обогатить железом ГЦК-фазу и уменьшить параметр решетки. Однако параметры решетки при нагревании образцов до 210 °С становятся равными 3.9189(1) и 3.9184(1) Å, что несколько больше, чем должно быть за счет теплового расширения – примерно 3.917 и 3.916 Å соответственно. Это означает, что при умеренно высоких температурах, действительно, возможно обогащение ГЦК-фазы платиной за счет кластеров, образующихся на начальном этапе восстановления.

Аппроксимация дифракционных профилей в монохроматическом излучении позволяет получить объективные данные об их ширине и на этой основе дать оценку (по Шерреру) размеров областей когерентного рассеяния (ОКР). Для исходного 7%-ного образца образцов при комнатной температуре эта оценка составила 8.3 нм. При нагревании до 210 °С происходит незначительное увеличение размеров до 11.1 нм; аналогично размеры ОКР в 11%-ном образце увеличиваются от 8.0 до 10.4 нм.



### Литература и источники

1. Пугачев, В.М. Синтез наноструктурированной системы Fe–Pt с эквивалентным составом / В.М. Пугачев, Ю.А. Захаров, А.Н. Попова. – Бутлеровские сообщения, 2017. – Т. 51. – № 8. С. 155–160.
2. Захаров, Н.С. Synthesis of nanostructured FePt systems / N.S. Zakharov, A.N. Popova, Yu.A. Zakharov, V.M. Pugachev. – Journal of Physics: Conference Series, 2021. – V. 1749. – P. 012012.
3. Пугачев В.М. Phase transformations of the nanostructured iron-platinum system upon heating / V.M. Pugachev, Yu.A. Zakharov, A.N. Popova, D.M. Russakov, N.S. Zakharov. – Journal of Physics: Conference Series, 2021. – V. 1749. – P. 012036.
4. Захаров, Н.С. Platinum-Rich Solid Solution in Nanostructured FePt System / N. S. Zakharov, V. M. Pugachev, Yu. A. Zakharov, A. N. Popova. – Chemistry for Sustainable Development, 2021. – V. 29. – N 5. – P. 536–542.
5. Elkins, K. Monodisperse face-centred tetragonal FePt nanoparticles with giant coercivity / D. Li, N. Poudyal, V. Nandwana, Z. Jin, K. Chen, J. P. Liu. – Journal Physics. D, 2005. – Vol. 38, – No. 14. – P. 2306.
6. Королюк, В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М.: Наука, 1985. – 640 с.  
*Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Каленский Александр Васильевич «Кемеровский государственный университет»*

**КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ТЭНА,  
СОДЕРЖАЩЕГО НАНОЧАСТИЦЫ СО СТРУКТУРОЙ «ЯДРО-ОБОЛОЧКА»***Журавлева Д. А., Галкина Е. В.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

keltrilla@gmail.com

**Аннотация:** Наноконпозиты на основе прозрачной матрицы и наночастиц структуры ядро-оболочка находят широкое применение и как модельные объекты и как основа микроэлектроники и исполнительных устройств. Применение таких объектов основано на широком сочетании востребованных оптических и химических свойств. В работе исследуется современный вариант микроочаговой модели теплового взрыва инициирования взрывного разложения Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ТЭН. В работе рассмотрено влияние толщины оксидной оболочки на критическую (минимальную) плотность энергии лазерного импульса, приводящего к инициированию взрывного разложения пентаэритрита тетранитрата сенсублизированной наночастицами алюминия, покрытых оксидной оболочки. Получено аналитическое выражение зависимости критической плотности энергии инициирования от толщины оксидной оболочки, показано хорошее согласие теоретической и рассчитанной зависимостей. Рассмотрено изменение поля температуры в процессе действия лазерного импульса в композите Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ТЭН. Рассчитаны распределения температуры в ТЭНе вблизи наночастицы при действии импульса, включая кинетику изменения температуры на границе наночастица - ТЭН. Анализ кинетических закономерностей позволяет определить критическую плотность энергии. Рассчитаны зависимости критической плотности энергии от толщины оксидной оболочки (L) в системах Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ТЭН при радиусах наночастиц в диапазоне от 15 нм до 100 нм. Зависимости одинаковые: H<sub>c</sub> увеличивается при росте L при всех радиусах наночастиц. Существенной особенностью зависимости H<sub>c</sub> от радиуса наночастицы (R) является существование теплофизического радиуса наночастицы, при которой H<sub>c</sub> композитов Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ТЭН с оксидной оболочкой одинаковой толщины минимальна. Рассчитаны зависимости H<sub>c</sub>(L). Увеличение L приводит к увеличению оптимального теплофизического радиуса наночастицы.

**Ключевые слова:** наночастицы, оксид алюминия, вторичное взрывчатое вещество, оптический детонатор, кинетические особенности, критическая плотность энергии.

Наноконпозиты на основе прозрачной матрицы и наночастиц структуры ядро-оболочка находят широкое применение и как модельные объекты и как основа микроэлектроники и исполнительных устройств. Применение таких объектов основано на широком сочетании востребованных оптических и химических свойств. В частности, в таких системах возможно усиление освещенности, а наночастицы могут проявлять как сенсублизирующие свойства, так и являться катализаторами химического процесса. Наночастицы металлического алюминия с оболочкой из оксида алюминия способнымногokратно многократно уменьшить критическую плотность энергии (H<sub>c</sub>) инициирования взрывного разложения тетранитратпентаэритрита (ТЭНа) импульсом неодимового лазера. Актуальность работы определяется возможностью внедрения оптических детонаторов и повышением безопасности взрывных работ. Целью работы является установление кинетических закономерностей процесса и расчет критических характеристик инициирования взрыва систем Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ТЭН.

Рассмотрено изменение поля температуры в процессе действия лазерного импульса в композите Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ТЭН. Рассчитаны распределения температуры в ТЭНе вблизи наночастицы при действии импульса, включая кинетику изменения температуры на границе наночастица - ТЭН. Анализ кинетических закономерностей позволяет определить критическую плотность энергии. Рассчитаны зависимости критической плотности энергии от толщины оксидной оболочки (L) в системах Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ТЭН при радиусах наночастиц в

диапазоне от 15 нм до 100 нм. Зависимости одинаковые:  $H_c$  увеличивается при росте  $L$  при всех радиусах наночастиц. Существенной особенностью зависимости  $H_c$  от радиуса наночастицы ( $R$ ) является существование теплофизического радиуса наночастицы, при которой  $H_c$  композитов Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ТЭН с оксидной оболочкой одинаковой толщины минимальна. Рассчитаны зависимости  $H_c(L)$ . Увеличение  $L$  приводит к увеличению оптимального теплофизического радиуса наночастицы.

Используя методику работы [1] получено аналитическое выражение зависимости критической плотности энергии инициирования от толщины оксидной оболочки наночастицы ( $r$ ), радиуса наночастицы ( $R$ ), теплоемкостей алюминиевого ядра наночастицы ( $C_a$ ), оксида алюминия оболочки наночастицы ( $C_o$ ) и лабильной матрицы ( $C_m$ ):

$$H_c = T_c \cdot (C_a \cdot (R - r) + C_o \cdot (R^3 / (R - r)^2 - (R - r) + 3 \cdot C_m \cdot h \cdot R_2 / (R - r)^2 + 3 \cdot C_m \cdot h^2 \cdot R / (R - r)) \quad (1)$$

Проведено сравнение рассчитанных по модели и выражению (1) зависимостей  $H_c(L)$ , показано соответствие рассчитанных по модели и по выражению (1) значений критической плотности энергии. Величины  $H_c$  позволяют создать капсуль оптического детонатора на основе бризантного взрывчатого вещества.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки, высшего образования и молодежной политики Кузбасса (соглашение № 5 от 23.11.2022 г.)

#### **Литература и источники**

1 *Каленский, А. В.* Критические условия инициирования реакции в тэне при лазерном нагреве светопоглощающих наночастиц / *А. В. Каленский, Н. В. Газенаур, А. А. Звекон, А. П. Никитин* // Физика горения и взрыва. 2017. Т. 53. № 2. С. 107-117.  
*Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Каленский А.В., Кемеровский государственный университет,*

**Аннотация:** Для развития фундаментальных основ, при создании новых функциональных материалов, необходимо синтезировать наноструктурированные (НС), неокисленные, без посторонних примесей системы металлов, обладающих актуальными практикоориентированными свойствами. С этой целью объектами исследования были выбраны многокомпонентные металлические системы Fe-Co-Ni. Данная система представляет интерес ввиду того, что она относится к числу материалов, имеющих актуальные на практике свойства, а именно обладает характеристиками, благодаря которым мы ее можем отнести к магнитотвердым (с высокими магнитными характеристиками) системам перспективным для использования в магнитотехнике (в качестве материалов со сверхплотной записью информации, для создания сверхминиатюрных постоянных магнитов и т.д). В литературе есть данные для массивных систем, но для наносостояния неизвестны фазовые границы, особенностей формо-размерных характеристик в наноструктурированном состоянии и другие вопросы фундаментального характера. При совместном осаждении результатом эксперимента являются монофазные системы смешанных гидроксидов со структурой бруситового типа (рис. 1). При раздельное осаждении и последующем смешивании происходит их перекристаллизация в более устойчивые, менее растворимые формы (рис. 1; 2 – 15 с, 3 – 5 мин), в которых степень окисленности железа существенно меньше). Однако часть железа при этом выделяется в форме шпинели (сильнейшие линии 45 и 55 град.) состава  $FeO \cdot Fe_2O_3$ , возможно содержащей также оксиды CoO и NiO. Одной из важных причин меньшей окисленности железа в гидроксидах, полученных при раздельном осаждении, может быть их меньшая дисперсность, что видно по ширине дифракционных линий.

**Ключевые слова:** наноструктурированные системы, железо, кобальт, никель.

Для развития фундаментальных основ, при создании новых функциональных материалов, необходимо синтезировать наноструктурированные (НС), неокисленные, без посторонних примесей системы металлов, обладающих актуальными практикоориентированными свойствами. С этой целью объектами исследования были выбраны многокомпонентные металлические системы Fe-Co-Ni. Данная система представляет интерес ввиду того, что она относится к числу материалов, имеющих актуальные на практике свойства, а именно обладает характеристиками, благодаря которым мы ее можем отнести к магнитотвердым (с высокими магнитными характеристиками) системам перспективным для использования в магнитотехнике (в качестве материалов со сверхплотной записью информации, для создания сверхминиатюрных постоянных магнитов и т.д [1-4]). В литературе есть данные для массивных систем, но для наносостояния неизвестны фазовые границы, особенностей формо-размерных характеристик в наноструктурированном состоянии и другие вопросы фундаментального характера.

При рассмотрении методов получения наносистем был использован способ совместного восстановления водных растворов прекурсоров металлов, который позволяет получать рентгенографически чистые системы металлов [5-8]. Несомненными преимуществами метода является возможность его масштабирования, экологичность и простота исполнения. Целевой продукт не загрязнен примесями, которые могут повлиять на магнитные свойства.

Образцы взятые для анализа были получены во всем диапазоне составов и рассмотрены следующими физико-химическими методами:

- рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ (РФА, РСА) – направлен на получение сведений элементного состава, определение фазового состава целевого и промежуточных продуктов, уточнение границ на диаграммах фазовых состояний;

- малоугловое рентгеновское рассеяние (МУР), растровая и просвечивающая электронная микроскопия (РЭМ, ПЭМ), атомно-силовая микроскопия (АСМ) – морфологическая структура, размерные параметры, а также наличие или отсутствие оксидных примесей ;
- дериватомасс-спектрометрия с масс-спектральным анализом (ДМС с МСА) - изучение химического состава поверхности частиц, а также термостимулируемых процессов.

Была проведена работа с варьированием условий синтеза, а также с получением в качестве промежуточных продуктов отдельно и совместно осажденных гидроксидов металлов. Фазовый состав продуктов и измерение структурных параметров производили методами рентгеновской дифракции на аппарате ДИФРЕЙ-401 (Россия) в железном излучении [9-11].

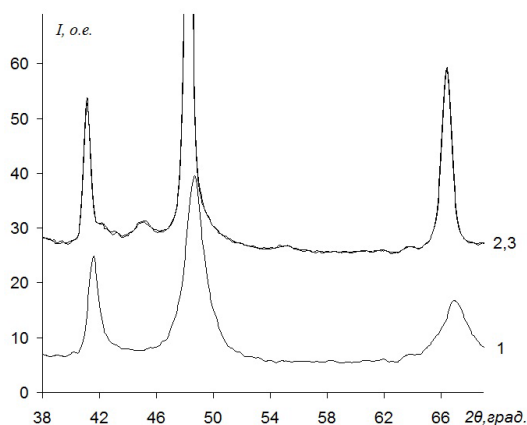


Рисунок 1. Дифрактограммы гидроксидов, содержащих соответственно 10, 75 и 15 % железа, кобальта и никеля

При совместном осаждении результатом эксперимента являются монофазные системы смешанных гидроксидов со структурой бруситового типа (рис. 1). При раздельное осаждении и последующем смешивании происходит их перекристаллизация в более устойчивые, менее растворимые формы (рис. 1; 2 – 15 с, 3 – 5 мин), в которых степень окисленности железа существенно меньше). Однако часть железа при этом выделяется в форме шпинели (сильнейшие линии 45 и 55 град.) состава  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , возможно содержащей также оксиды  $\text{CoO}$  и  $\text{NiO}$ . Одной из важных причин меньшей окисленности железа в гидроксидах, полученных при раздельном осаждении, может быть их меньшая дисперсность, что видно по ширине дифракционных линий.

#### Литература и источники

1. Чеченин, Н.Г. Магнитные наноструктуры и их применение. Учебное пособие. - М.: Грант Виктория ТК, 2006. – 166 с.
2. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы: учебное пособие/ Рыжонков Д. И., Э. Л. Дзидзигури, В. В. Левина// М.: Сер. Нанотехнологии, 2010. – 365 с.
3. Pugachev V. The temperature effect on properties of Fe-Co-Ni nanostructured system / Pugachev V., Zaharov Yu., Dativ K., Popova A.N., Bogomykov A. // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2015. – Т. 17. – № 3. – С. 193-200.
4. Zakharov Yu.A. Analysis of phase composition and csr sizes in non-equilibrium nanostructured systems Fe-Co and Ni-Cu using diffraction maxima simulations in a doublet radiation / Zakharov Yu.A., Pugachev V.M., Korchuganova K.A., Ponomarchuk Yu.V., Larichev T.A. // Journal of Structural Chemistry. – 2020. – Т. 61. – № 6. – С. 994-1000.
5. Cho S. J. et al. Magnetic and Mössbauer spectral study of core/shell structured Fe/Au nanoparticles // Chemistry of materials. – 2006. – V. 18. – №. 4. – P. 960-967.
6. Bondi J. F. et al. Optimized synthesis and magnetic properties of intermetallic  $\text{Au}_3\text{Fe}_{1-x}$ ,  $\text{Au}_3\text{Co}_{1-x}$ , and  $\text{Au}_3\text{Ni}_{1-x}$  nanoparticles // Chemistry of Materials. – 2010. – V. 22. – №. 13. – P. 3988-3994.

7. Chen D. et al. Properties of core– shell Ni– Au nanoparticles synthesized through a redox-transmetalation method in reverse microemulsion //Chemistry of materials. – 2007. – V. 19. – №. 14. – P. 3399-3405.
8. Chen Y. et al. Ni@ Pt core– shell nanoparticles: synthesis, structural and electrochemical properties //The Journal of Physical Chemistry C. – 2008. – V. 112. – №. 5. – P. 1645-1649.
9. Chen Y. et al. Ni–Pt core–shell nanoparticles as oxygen reduction electrocatalysts: effect of Pt shell coverage //The Journal of Physical Chemistry C. – 2011. – V. 115. – №. 49. – P. 24073-24079.
10. Yano K. et al. Synthesis and characterization of magnetic FePt/Au core/shell nanoparticles //The Journal of Physical Chemistry C. – 2009. – V. 113. – №. 30. – P. 13088-13091.
11. Hembram S. et al. Preparation of FeCo/Cu Core Shell Magnetic Nanoparticles //GSTF Journal of Engineering Technology (JET). – 2017. – T. 4. – №. 2. – С. 63.

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

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

*Новиков М.С.*

ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»

*maxxx.cpm@gmail.com*

**Аннотация:** Развитие альтернативной энергетики требует создания высокоэффективной систем хранения/преобразования электроэнергии. В статье представлен новый подход к решению задачи получения наноструктурированных композитных электродов для суперконденсаторов на основе высокопористых углеродных матриц, состоящих в термическом (медленном или взрывном) разложении нанокристаллов высокоэнергетических соединений, предварительно сформированных в порах матриц. В рамках проведенного исследования разработана методика получения композита «C/CoN<sub>6</sub>» с заданным соотношением фаз. Показано, что в зависимости от состава композита и режима нагревания термораспад CoN<sub>6</sub> протекает во взрывном или невзрывном режимах. По данным рентгеновской дифрактометрии продуктом разложения в невзрывном режиме является наноразмерный Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а во взрывном режиме – наноразмерный металлический кобальт, CoO. Исследование композита «C/CoN<sub>6</sub>» методом МУРП показало, что размеры неоднородностей, формирующихся на углеродной матрице в процессе приготовления композита, составляют 7–10 нм. Исследованы электрохимические свойства полученного нанокompозитного материала. Показано, что введение оксида кобальта в углеродную матрицу приводит к увеличению сопротивления и возрастанию электрической емкости композитных электродов. Увеличение емкости обусловлено псевдоемкостью оксидов кобальта вследствие обратимых окислительно-восстановительных процессов с участием оксидо-гидроксидных фаз кобальта, формирующихся в процессе заряда-разряда ячейки. В результате проведенного исследования удалось экспериментально подтвердить возможность создания нанокompозитного электродного материала для суперконденсаторов методом термического разложения азидов металла в пористой углеродной матрице. Выбор температурного режима разложения позволяет получать наночастицы либо Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, либо CoO и металлического кобальта. Размерные характеристики получаемых наночастиц обеспечивают сохранение пористой структуры углеродной матрицы.

**Ключевые слова:** ионисторы, суперконденсаторы, углеродные материалы, нанокompозиты, кобальта оксиды

В последние годы наблюдается растущий интерес к разработке систем хранения электрической энергии с высокой емкостью. В качестве одного из перспективных вариантов рассматривается создание новых типов суперконденсаторов (ионисторов) с высокими функциональными характеристиками [1]. Как известно, современные суперконденсаторы обладают высокой мощностью отдачи энергии и способностью к многократной перезарядке с воспроизводимыми параметрами, что обеспечивает хорошие перспективы создания на их основе продвинутых гибридных систем хранения энергии, как для мобильных, так и для стационарных приложений.

Емкостные характеристики, удельная мощность, стабильность их в условиях многократного (тысячекратного) заряд-разрядного циклирования и многие другие функциональные характеристики суперконденсаторов зависят, прежде всего, от свойств используемых в них электродных материалов. В качестве одних из наиболее перспективных рассматриваются электродные материалы на основе гетерофазных наноструктурированных композитов (НК), состоящих из высокомезопористой электропроводящей матрицы (высокопористого углеродного материала – ВПУМ) и нанесенных на ней с высокой адгезией электрохимически активных веществ с 2D-морфологией, не блокирующих поры матрицы [2,

3]. Считается, что использование таких нанокompозитных материалов позволит эффективно обходить ограничения, свойственные индивидуальным веществам, например, низкую электропроводность, малую механическую прочность.

Мы считаем, что привлекательным выглядит подход к созданию нанокompозитных электродных материалов, основанный на использовании высокоэнергетических соединений (ВЭС) в качестве прекурсоров наноразмерных частиц – наполнителей ВПУМ. Дополнительным преимуществом данного метода является высокая чувствительность ВЭС к воздействию физических полей (нагревание, ионизирующее излучение, электрические и магнитные поля), что позволяет расширить набор способов формирования наночастиц наполнителя. В то же время низкие энергетические и размерные пороги разложения ВЭС в режиме микровзрывов (вспышек) позволит получать частицы наполнителей особо малых размеров и, к тому же, импрегнированные в результате микровспышек в материал матрицы. С точки зрения плотности контактов наночастица-матрица и стабильности свойств, например при длительном и многоцикловом использовании таких систем в качестве катализаторов, материалов для электродов и др., последнее представляется достаточно важным.

Принципиальная возможность создания нанокompозитного материала по данной методике была продемонстрирована ранее. В данной статье рассмотрены закономерности формирования гетероструктурного материала C/CoхOу, получаемого при разложении азида кобальта в порах углеродной матрицы, и особенности его электрохимического поведения.

При проведении исследования в качестве пористой углеродной матрицы использовались промышленно производимые сорбенты типа АГ-ОВ, КАУ и ПФС. Характеристики матриц, полученные методом адсорбционной порометрии, представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Пористая структура углеродных матриц

Образец	$S_{\text{ВЕТ}}$ , м <sup>2</sup> /г	$V_{\Sigma}$ , см <sup>3</sup> /г	$V_{\text{микро}}$ , см <sup>3</sup> /г	$V_{\text{мезо}}$ , см <sup>3</sup> /г	Относительное содержание микропор, $V_{\text{микро}}/V_{\Sigma}$ , %	Относительное содержание мезопор, $V_{\text{мезо}}/V_{\Sigma}$ , %	$D_{\text{pores}}$ , Å
АГ-ОВ	637	0,409	0,098	0,204	24	50	26
КАУ	958	0,534	0,288	0,165	54	31	22
ПФС	942	0,516	0,340	0,130	66	25	22

Из данных таблицы следует, что адсорбент АГ-ОВ может считаться преимущественно мезопористым, в то время как КАУ и ПФС являются в большей степени микропористыми материалами.

Для изготовления образцов электродного материала матрице подвергали пропитке азидами кобальта или смешанными азидами кобальта-никеля по методике, описанной в [1]. Образцы после сушки подвергали исследованию с использованием различных методов.

Характеристики полученных образцов представлены в Таблице 2.

Дифференциальный термоанализ (ДТА) проводили с помощью дериватографа Netzsch STA 409 PC/Pg (Германия), сопряженного с квадрупольным масс-спектрометром (ДМС-анализ), фиксируя одновременно изменения массы (ТГ) и тепловые эффекты процессов, протекающих в системе (ДТА), а также масс-спектрометрически (МСА) определяя состав выделяющихся газообразных продуктов.



Таблица 2. Маркировка и состав образцов

Образец	Масса углеродной матрицы, мг	V(CoCl <sub>2</sub> ), мл	C(CoCl <sub>2</sub> ), моль/л	V(NaN <sub>3</sub> ), мл	C(NaN <sub>3</sub> ), моль/л	Расчетная массовая доля кобальта в системе
ТУ-145/CoN6.5	100	0,17	0,5	0,17	1	4,8
ТУ-145/CoN6.10	100	0,36	0,5	0,36	1	9,6
ТУ-145/CoN6.20	100	0,21	2	0,21	4	19,9
ТУ-145/CoN6.40	100	0,59	2	0,59	4	41,0

Типичные рентгенограммы двух образцов НК представлены на Рис. 1. Продуктами взрывного разложения азида кобальта являются оксид кобальта (II) (линии на 46.4°, 54.0°, 80.0°) и металлический кобальт (линии на 56.2° и 66.0°). При невзрывном разложении основной продукт – шпинель (оксид кобальта Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (линии на 36.6°, 46.8°, 57.2°, 77.0°)). Та-ким образом, окисление кобальта при быстропротекающем разложении азида является неполным в отличие от окисления при медленном термораспаде; т.е. состав наполнителя НК можно регулировать. Оцененный из уширения рентгеновских рефлексов размер кри-сталлитов Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> составляет 4-6 нм, CoO – около 20 нм.

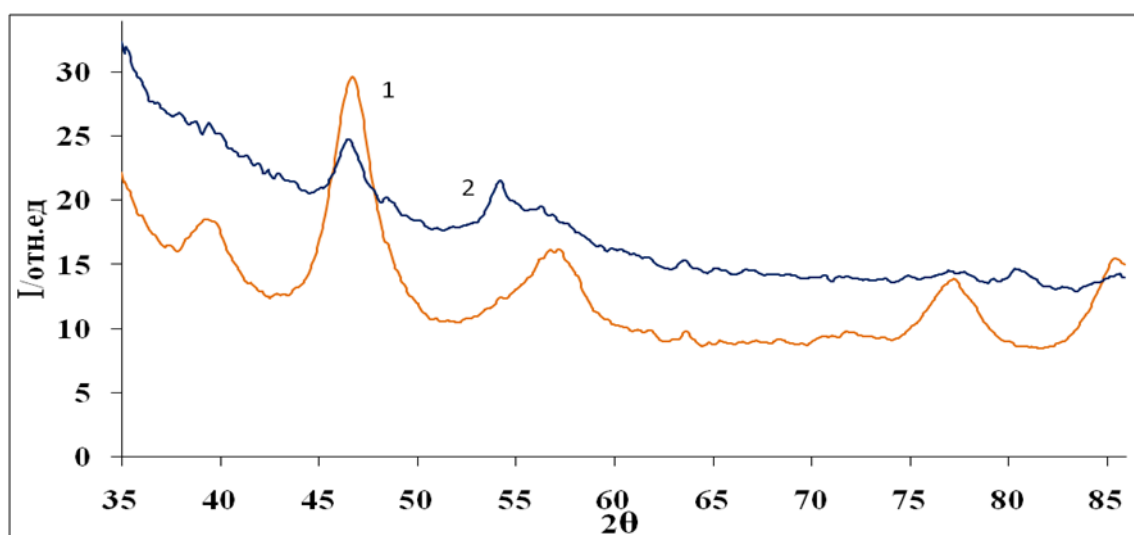


Рисунок 1. Дифрактограммы образцов НК, полученных при разных режимах термораспада CoN6: 1 – ТУ-145/CoхOу.20% (невзрывное терморазложение), 2 – ТУ-145/CoхOу.40% (взрывное терморазложение)

Характер изменения спектров МУР для НК с матрицей согласуется с представлениями о морфологическом составе композитного материала: величины экстремумов на кривых распределения неоднородностей по размеру выше для композита, содержащего оксиды кобальта, причем с увеличением его содержания разница в максимумах возрастает, положения максимумов остаются практически неизменными. Таким образом, наблюдается формирование наноразмерной фракции частиц в порах матрицы, выраженное тем больше, чем выше концентрация кобальта в образцах. При этом размеры частиц наполнителя близки к оцененным из уширения рентгеновских рефлексов

На Рис. 2 приведены кривые циклической вольтамперометрии асимметричных ячеек суперконденсатора с гибридным рабочим электродом на основе нанокompозита и с противоэлектродом на основе исходной матрицы ТУ-145.

Из полученных кривых рассчитаны величины удельных емкостей и внутренние сопротивления ячеек. Наблюдаемое при введении в матрицы CoхOу уменьшение

электропроводности обусловлено меньшей электропроводностью оксида кобальта по сравнению с электропроводностью углеродного материала. Увеличение емкости обусловлено вкладом псевдоемкости оксидов кобальта вследствие протекания фиксируемых на кривых ЦВА обратимых окислительно-восстановительных процессов с участием оксидно-гидроксидных фаз кобальта, формирующихся в процессе заряда-разряда ячейки. Следует отметить, что установленные значения внутреннего сопротивления и емкости ячеек характерны также для электродных материалов на основе углеродной матрицы типа «Сибунит». Полученные результаты указывают на возможность создания электродных материалов для суперконденсаторов на основе производимой в промышленных масштабах углеродной матрицы и продуктов термоллиза азидов кобальта.

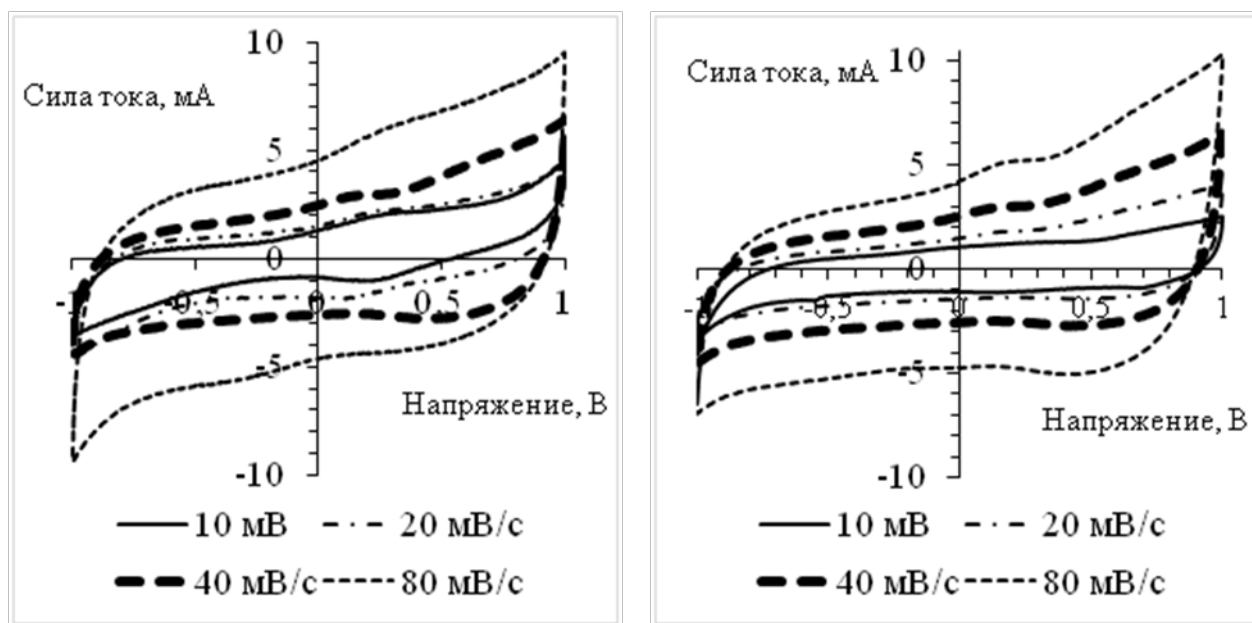


Рисунок 2. Кривые ЦВА асимметричной ячейки суперконденсатора. Рабочий электрод – нанокомпозит ТУ-145/Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.10% (а) и ТУ-145/Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.40% (б) с противозлектродом на основе исходной матрицы ТУ-145

В результате проведенного исследования удалось экспериментально подтвердить возможность создания нанокомпозитного электродного материала для суперконденсаторов методом термического разложения азидов металла в пористой углеродной матрице. Выбор температурного режима разложения позволяет получать наночастицы либо Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, либо CoO и металлического кобальта. Размерные характеристики получаемых наночастиц обеспечивают сохранение пористой структуры углеродной матрицы.

### Литература и источники

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. Shan Y., Gao L. Formation and characterization of multi-walled carbon nanotubes/Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposites for supercapacitors / Material Chemistry and Physics – 2007. – V. 103, Issues 2-3. – P. 206-210.
3. Simenyuk G., Zakharov Yu.A., Puzynin A.V., Vladimirov A.A., Ivanova N.V., Pugachev V.M., Dodonov V.G., Barnakov C.N., Manina T.S., Ismagilov Z.R. Ultrasonic assisted fabrication of nanocomposite electrode materials Au/C for low-voltage electronics / Materials and manufacturing processes. – 2016. – V. 31, No. 6. – P. 739-744.

4. 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 – д.х.н., профессор Ларичев Т.А., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

**СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРИТА ЦИНКА***Акулова И.А., Иванов А.В.***ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»**[alecs-2004@yandex.ru](mailto:alecs-2004@yandex.ru)

**Аннотация:** Ферриты - это химические соединения оксида железа (III) с оксидами ряда других металлов, в которых ион  $\text{FeO}_2^-$  играет роль кислотного остатка. Большинство ферритов проявляют ферромагнитные свойства, что позволяет их широко использовать в радиотехнике, радиоэлектронике и вычислительной технике. В быту можно встретить ферромагнитные антенны и фильтры для сети, устраняющие помехи. Цель настоящей работы литературный обзор методик получения феррита цинка и апробирование одной из них с целью получения ферритового катализатора. Существует группа методов получения «комплексонатной гомогенизации», основанная на совместном приготовлении цитратных комплексов железа и цинка с последующим отжигом. В качестве дополнительных реагентов могут добавляться этиленгликоль или глицерин. Рассматривается применение глицина в качестве лиганда. Синтез часто содержит промежуточную стадию гелефикации. Образцы получаемые данным методом способны к ускорению окисления метилового оранжевого пероксидом водорода. Сольвотермальная методика обычно содержит стадии соосаждения гидроксидов железа и цинка с последующим обработкой в автоклавном реакторе, далее с прокаливанием продукта. Как правило, данные образцы обладают наибольшей каталитической активностью в частности в процессах озонолитического окисления и окислительного дегидрирования олефинов. Существует методика соосаждения оксалатов железа и цинка с последующим промыванием осадка и прокаливанием, использованная в настоящей работе. Полученный образец имел вид порошка с цветом от желто-коричневого до темно-красного. Каталитический эффект был апробирован на сантимольярном растворе фенола. Применялся бытовой озонатор. Для определения концентрации фенола использовалась спектрофотометрическая методика. Поскольку продукты озонлиза поглощают в близких областях спектра, концентрацию оценивали методом Брайса-Швайна. Без добавки катализатора обработка в течении 15 минут приводила к уменьшению концентрации фенола на 5%, а при добавлении 0.2 г феррита цинка уменьшение концентрации фенола составило 37%.

**Ключевые слова:** ферриты, катализ, неорганический синтез.

Ферриты - это химические соединения оксида железа (III) с оксидами ряда других металлов, в которых ион  $\text{FeO}_2^-$  играет роль кислотного остатка. Большинство ферритов проявляют ферромагнитные свойства, что позволяет их широко использовать в радиотехнике, радиоэлектронике и вычислительной технике. В быту можно встретить ферромагнитные антенны и фильтры для сети, устраняющие помехи. Цель настоящей работы литературный обзор методик получения феррита цинка и апробирование одной из них с целью получения ферритового катализатора. Существует группа методов получения «комплексонатной гомогенизации», основанная на совместном приготовлении цитратных комплексов железа и цинка с последующим отжигом [1,2]. В качестве дополнительных реагентов могут добавляться этиленгликоль или глицерин [2]. Рассматривается применение глицина в качестве лиганда [3]. Синтез часто содержит промежуточную стадию гелефикации. Образцы получаемые данным методом способны к ускорению окисления метилового оранжевого пероксидом водорода [2].

Сольвотермальная методика обычно содержит стадии соосаждения гидроксидов железа и цинка с последующим обработкой в автоклавном реакторе, далее с прокаливанием продукта [1,4]. Как правило, данные образцы обладают наибольшей каталитической активностью в частности в процессах озонолитического окисления [1] и окислительного дегидрирования олефинов [4].

Существует методика соосаждения оксалатов железа и цинка с последующим промыванием осадка и прокаливанием [5], использованная в настоящей работе. Полученный

образец имел вид порошка с цветом от желто-коричневого до темно-красного. Каталитический эффект был апробирован на сантимолярном растворе фенола. Применялся бытовой озонатор. Для определения концентрации фенола использовалась спектрофотометрическая методика. Поскольку продукты озонолиза поглощают в близких областях спектра, концентрацию оценивали методом Брайса-Швайна. Без добавки катализатора обработка в течении 15 минут приводила к уменьшению концентрации фенола на 5%, а при добавлении 0.2 г феррита цинка уменьшение концентрации фенола составило 37%.

#### **Литература и источники**

1. Zhang F., Wei C., Hu Y., Wu H. Zinc ferrite catalysts for ozonation of aqueous organic contaminants: phenol and bio-treated coking wastewater // Separation and Purification Technology. 2015. V. 156, Part 2. P. 625-635.

2. Ivanova N.M., Soboleva E.A., Visurkhanova Ya.A., Muldakhmetov Z. Electrochemical Synthesis of Fe–Cu Composites Based on Copper(II) Ferrite and Their Electrocatalytic Properties // Rus. J. Electrochemistry. 2020. Vol. 56. No. 7. pp. 533–543.

3. Sharma R.K., Ghose R. Synthesis and characterization of nanocrystalline zinc ferrite spinel powders by homogeneous precipitation method // Ceramics Int. 2015. V. 41. P. 14684–14691.

4. Toledo-Antonio J.A., Nava N., Mart´inez M., Bokhimi X. Correlation between the magnetism of non-stoichiometric zinc ferrites and their catalytic activity for oxidative dehydrogenation of 1-butene // Applied Catalysis A: General. 2002. V. 234. P. 137–144.

5. Lisníková S., Novák P., Kopp. J. Nickel–iron and zinc–iron bimetal oxalates: preparation, characterization and thermal decomposition to spinel ferrites // Chemical Papers. <https://doi.org/10.1007/s11696-023-03047-0>

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

## ПОЛУЧЕНИЕ ГЛИЦИНАТА МЕДИ МЕХАНОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

*Стасенко А.А., Исина К.Т.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[alisa.stasenko.04@mail.ru](mailto:alisa.stasenko.04@mail.ru)

**Аннотация:** Глицинаты металлов-микроэлементов рассматриваются в настоящее время как перспективная форма их доставки в организм, поскольку многие из них стабильны в кислой среде желудка. Использование хелатных форм позволяет повысить долю всасывания в кишечнике. Глицин – простейшая аминокислота – естественный для нашего организма лиганд. Цель работы: определить пригодность основного карбоната меди в качестве прекурсора глицината меди, получаемого методом механохимического синтеза. Использовалась следующая методика эксперимента. На технохимических весах отбирались стехиометричные основного карбоната навески меди и глицина. Масса оценивалась исходя из емкости агатовой ступки, в которой затем вещества смешивались и перетирались. Синтез проводился с использованием сухих порошков, также применялся вариант, в котором после 15 минутного перетирания добавлялось несколько капель растворителя с продолжением перетирания. В качестве растворителей использовалась дистиллированная вода, этанол 70%-й и 96%-й. При реакции сухих порошков значительных изменений в спектре не наблюдается. В присутствии нескольких капель воды развивается полоса в области 650 нм, визуально заметная по появлению интенсивного синего окрашивания порошка. Было выяснено, что во всех случаях наблюдаются фазы исходных соединений и продукта, которые совпадают с приводимыми в базе данных рентгенограмм. Кроме того, возникает дополнительная кубическая гранецентрированная фаза, с параметром решетки 7.5 ангстрем. Доля данной неидентифицированной фазы выше при проведении реакции без растворителей. Таким образом, предложена методика механохимического синтеза глицината меди. Показано, что достичь 100% выхода в ступке не получается. Рентгенографическим методом показано существование промежуточного продукта реакций с гранецентрированной кубической решеткой. Идентификации промежуточного продукта будут посвящены последующие работы.

**Ключевые слова:** глицинаты, медь, комплексные соединения, механохимический синтез.

Глицинаты металлов-микроэлементов рассматриваются в настоящее время как перспективная форма их доставки в организм, поскольку многие из них стабильны в кислой среде желудка. Использование хелатных форм позволяет повысить долю всасывания в кишечнике. Глицин – простейшая аминокислота – естественный для нашего организма лиганд.

Цель работы: определить пригодность основного карбоната меди в качестве прекурсора глицината меди, получаемого методом механохимического синтеза.

Задачи:

1. Получение глицината меди из основного карбоната меди при совместном измельчении реагентов в агатовой ступке.

2. Анализ и определение свойств продукта химическими и физико-химическими методами (рентгеноструктурный анализ и УФ-вид спектроскопия диффузного отражения).

Использовалась следующая методика эксперимента. На технохимических весах отбирались стехиометричные основного карбоната навески меди и глицина. Масса оценивалась исходя из емкости агатовой ступки, в которой затем вещества смешивались и перетирались. Синтез проводился с использованием сухих порошков, также применялся вариант, в котором после 15 минутного перетирания добавлялось несколько капель растворителя с продолжением перетирания. В качестве растворителей использовалась дистиллированная вода, этанол 70%-й и 96%-й.

На рис. 1 приведены спектры диффузного отражения порошков основного карбоната меди, разбавленного бромидом калия, продукта механохимической реакции порошков основного карбоната меди и глицина без растворителей и при их добавлении.

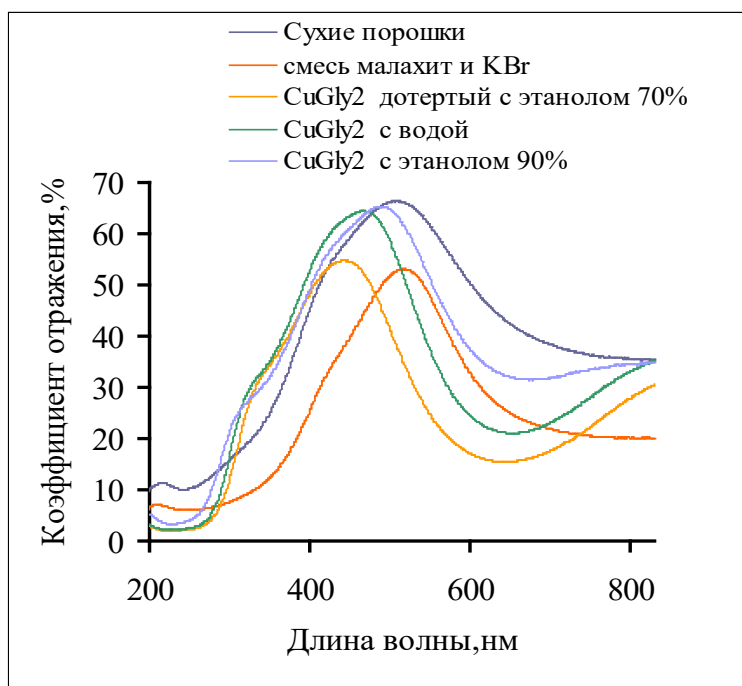


Рисунок 1. Спектры диффузного отражения исходных веществ и продукта реакции

При реакции сухих порошков значительных изменений в спектре не наблюдается. В присутствии нескольких капель воды развивается полоса в области 650 нм, визуально заметная по появлению интенсивного синего окрашивания порошка. Также виден сдвиг полосы в ближней ультрафиолетовой области. При добавлении нескольких капель 70%-го этанола наблюдаются изменения спектра аналогичные добавлению воды, однако при применении 96%-го этанола результат близок к полученному без растворителей.

Результаты рентгенографического исследования представлены на рис. 2. Было выяснено, что во всех случаях наблюдаются фазы исходных соединений и продукта, которые совпадают с приводимыми в базе данных рентгенограмм. Кроме того, возникает дополнительная кубическая гранцентрированная фаза, с параметром решетки 7.5 ангстрем. Доля данной неидентифицированной фазы выше при проведении реакции без растворителей.

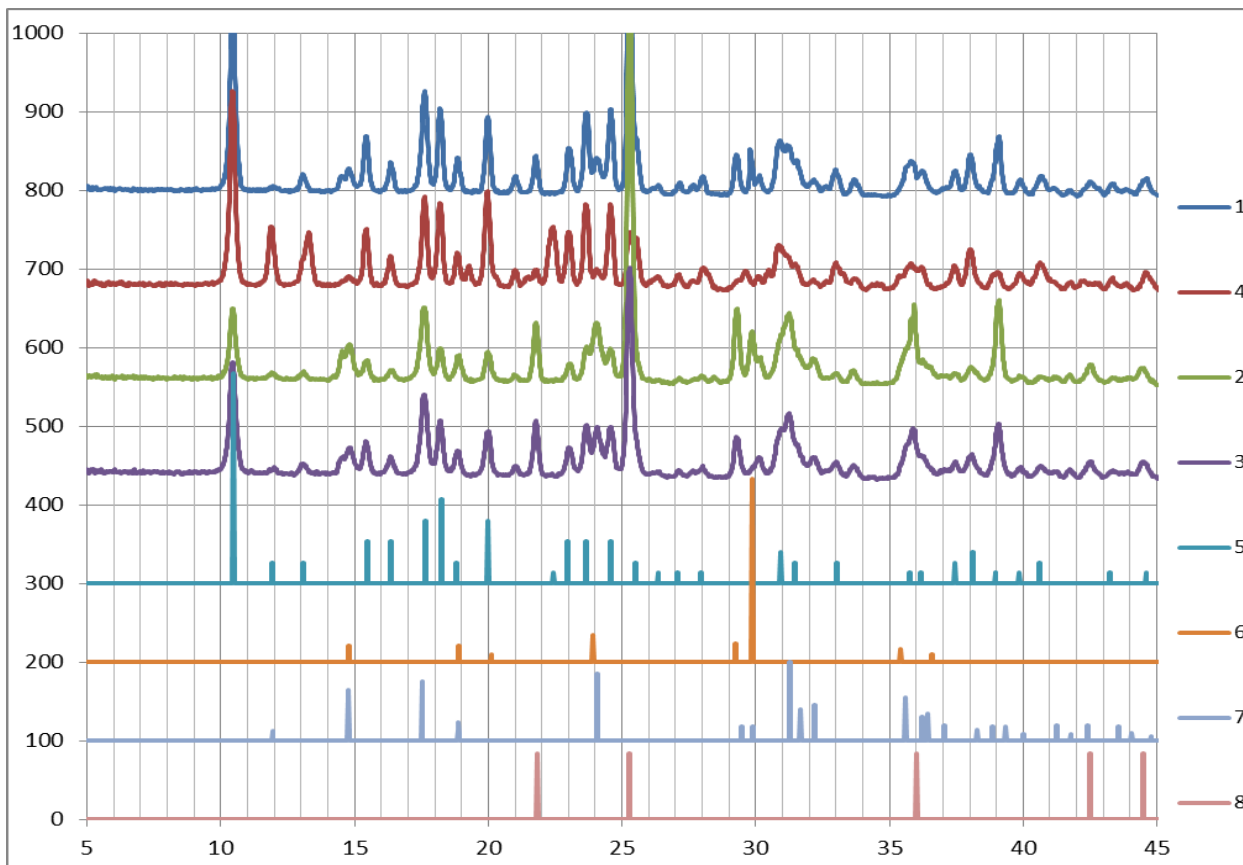


Рисунок 2. Дифрактограммы продуктов синтеза в присутствии воды (1 и 4) и при реакции сухих порошков (2 и 3); штрих-диаграммы из рентгенометрических баз глицината меди (5), глицина (6), меди углекислой основной (7) и штрих-диаграмма неизвестной фазы X (8), возможно, ГЦК-типа (показаны только положения рефлексов)

Выводы: Предложена методика механохимического синтеза глицината меди. Показано, что достичь 100% выхода в ступке не получается. Рентгенографическим методом показано существование промежуточного продукта реакций с гранцентрированной кубической решеткой. Идентификации промежуточного продукта будут посвящены последующие работы.

Автор благодарит к.х.н., доцента Валерия Михайловича Пугачева за проведенный рентгенофазовый анализ.

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



# ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА. МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

УДК 519.85:331.2

## ЭЛЕКТРОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ «ОЛИМПИАДНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ»

*Ломонова П.В., Чушев А. В.*

Кафедра фундаментальной математики КемГУ, г. Кемерово  
lomonova.polina@mail.ru

**Аннотация:** Работа посвящена созданию электронных материалов «Олимпиадное программирование». В работе содержится два основных модуля, начального и продвинутого уровней. Постановки задач и теория для создания электронных материалов были взяты с сайта [informatics.msk.ru](http://informatics.msk.ru), но полностью переработаны и решены самостоятельно для того чтобы материал был актуален и полезен для использования. В первом модуле рассматриваются задачи начального уровня, такие как типы данных и отладка, массивы, НОД и НОК. А во втором модуле более сложные задачи: рекурсия, алгоритм поиска в глубину, динамическое программирование, сортировка слиянием и так далее. В теории даются сразу готовые решения и разборы на языке программирования Java, а практические задачи решены на языке Python. Данные материалы полезны не только для учащихся школ, колледжей и студентов начальных курсов, а также профессиональным программистам, которые хотят улучшить свои навыки. Электронные материалы очень полезны и важны, так как даётся легкий и быстрый способ к информации, учащиеся могут просматривать материалы в любое время и в любом месте. Идет полностью сохранение прогресса, учащиеся всегда смогут вернуться к пройденным разделам и вспомнить ранее изученный материал. А также важны экономия времени и ресурсов и современный универсальный подход. В целом, электронные материалы по олимпиадному программированию играют значительную роль в обучении и подготовке к международным олимпиадам. Целью данной работы является создание электронных материалов по алгоритмическому программированию. Предмет работы: задачи по программированию на языках Python и Java, а также их способы решения.

**Ключевые слова:** Олимпиадное программирование, задачи, решения, Python, олимпиады, алгоритмы, Java.

**Цель:** Целью работы является создание электронных материалов по алгоритмическому программированию начального и продвинутого уровней.

Олимпиадное программирование является отличным способом прокачать свои навыки программирования заявить о себе и получить возможность без экзаменов поступить в ВУЗы. Решения как легких, так и сложных задач олимпиады в ограниченное время помогает развить логику, алгоритмическое мышление и скорость решения задач. Созданные материалы полезны не только для учащихся школ, колледжей и студентов начальных курсов, а также профессиональным программистам, которые хотят улучшить свои навыки в нестандартных задачах. В связи с этим тема является актуальной.

Электронные материалы по олимпиадному программированию могут быть использованы, для подготовки к олимпиадам: «IT-Планета», Всероссийская олимпиада школьников «Путь в IT», Технокубок - олимпиада по программированию для школьников, Открытая олимпиада школьников ИТМО, Международная олимпиада «Innopolis Open». Участие в данных олимпиадах приносит дополнительные баллы к ЕГЭ и различные подарки.

Для достижения поставленной цели в создании электронных материалов были определены и выполнены задачи:

1. Подобрать и подготовить материал для электронных материалов. Материал должен быть актуальным и полезным для целевой аудитории.
2. Оформить электронные материалы в соответствии классическими книгами.
3. Порешать и придумать большое количество олимпиадных задач из различных олимпиад и сайта [informatics.msk.ru](http://informatics.msk.ru)

В работе содержится два основных модуля, начального и продвинутого уровней. Теоретическая часть и подсказки с решением представлены на языке программирования Java, причем после каждой главы есть дополнительные решения задач на Python.

Рассмотрим содержание модулей. Первый модуль включает следующие темы, которые представлены на рисунке 1.

Содержание Модуля 1 (начальный уровень):
Глава 1 – Знакомство с курсом
Глава 2 – Типы данных и отладка
Глава 3 – Решение задач из области арифметики
Глава 4 – НОД(GCD) и НОК(LKM)
Глава 5 – Однопроходные алгоритмы
Глава 6 – Массивы
Глава 7 – Сортировка массива
Глава 8 – Символы и строки в Java
Глава 9 – Двумерные массивы
Глава 10 – Графы I. Определения, хранение
Глава 11 – Стек и очередь
Глава 12 – Графы II. Поиск в ширину
Подсказки
Разборы задач
Решение задач на Python

Рисунок 1. Модуль 1 (начальный уровень)

Темы первого модуля: введение в программирование, основы Java, изучение и решение задач на типы данных в Java, операции с типами данных, отладка кода, работа с переменными, изучение операторов, отладка простых ошибок.; арифметические операции в Java, решение задач с использованием арифметики: на сложение, вычитание, умножение, деление, остаток от деления; алгоритмы нахождения наибольшего общего делителя (НОД) и наименьшего общего кратного (НОК), использование их в задачах; алгоритмы, обрабатывающие данные за один проход, примеры таких алгоритмов и задачи для поиска максимума/минимума, суммы элементов. Также в электронных материалах присутствуют темы, посвященные работе с массивами в Java (циклы for, задачи на поиск, сортировка массивов: пузырьковая сортировка, сортировка выбором). Далее идет работа с символами, создание и изменение строк, задачи на поиск, сравнение; работа с двумерными массивами в Java, основные операции с двумерными массивами; реализация стека и очереди, задачи на использование стека и очереди. Заключаящими темами идут Графы I (определение графа, типы графов, способы хранения графов в памяти) и Графы II (алгоритм поиска в ширину в графах, задачи на поиск кратчайшего пути).

Содержание второго модуля продвинутого уровня представлено на рисунке 2.

Содержание Модуля 2 (продвинутый уровень):
Глава 1 – Классические задачи
Глава 2 – Рекурсия 1
Глава 3 – Рекурсия 2
Глава 4 – Алгоритм поиска в глубину
Глава 5 – Применения поиска в глубину
Глава 6 – Сортировка слиянием
Глава 7 – Быстрая сортировка
Глава 8 – Динамическое программирование 1
Глава 9 – Динамическое программирование 2
Глава 10 – Системы счисления
Подсказки
Разборы задач
Решение задач на Python

Рисунок 2. Модуль 2 (продвинутый уровень)

Второй модуль содержит в себе усложненные задачи и темы, для изучения. Для начала формулируются классические задачи, такие как обращение чисел, палиндром и треугольник Паскаля. Затем переходим к изучению рекурсии 1 (базовые принципы рекурсивных алгоритмов, изучение принципов рекурсии и простых функций) и рекурсии 2 (более сложные рекурсивные алгоритмы, изучение методов оптимизации). Далее идет изучение и решение задач по темам: алгоритм поиска в глубину (DFS) в графах, его реализация и применение; примеры применения алгоритма DFS в различных задачах; алгоритм сортировки слиянием, его реализация и анализ сложности; алгоритм быстрой сортировки, его реализация и анализ сложности. На последних страницах следует плотное изучение динамического программирования (решение простых и сложных задач с использованием динамического программирования) и систем счисления (перевод чисел из одной системы в другую).

В каждом модуле указаны подсказки, помогающие в решении задач, а также разборы задач на языке программирования Python.

Приведем пример постановки задачи «Полный граф» из модуля продвинутого уровня с применением алгоритма поиска в глубину: Неориентированный граф с кратными рёбрами называется полным, если любая пара его различных вершин соединена хотя бы одним ребром. Для заданного списком рёбер графа проверьте, является ли он полным.

Формат входных данных:

Сначала вводятся числа  $n$  ( $1 \leq n \leq 100$ ) - количество вершин в графе и  $m$  ( $1 \leq m \leq 10000$ ) - количество рёбер. Затем следует  $m$  пар чисел - рёбра графа.

Формат выходных данных:

Выведите "YES", если граф является полным, и "NO" в противном случае.

Пример входных и выходных данных представлен в таблице 1.

Таблица 1. Входные и выходные данные

Входные данные	Выходные данные
3 3 1 2 1 3 2 3	YES
3 2 1 2 2 3	NO

Алгоритм поиска в глубину (англ. Depth-first search, DFS) - это рекурсивный алгоритм по поиску всех вершин графа или дерева. Стратегия поиска в глубину состоит в том, чтобы идти «вглубь» графа, насколько это возможно.

Алгоритм поиска описывается рекурсивно:

1. Сначала создаем словарь `graph`, который представляет собой список смежности графа.
2. Затем рекурсивно обходим граф с помощью функции `dfs`, чтобы проверить, является ли он полным.
3. Если все вершины графа достижимы из любой другой вершины, то граф полный.
4. В противном случае граф не полный.

Разберем поэтапно реализацию решения данной задачи на языке программирования Python:

На первом этапе импортируем класс `defaultdict` из модуля `collections`. Класс `defaultdict` является подклассом класса `'dict'`, который автоматически создает новую пару ключ-значение, если ключ не найден в словаре. Это полезно в сценариях, когда вы хотите перебрать все ключи в словаре, даже если некоторые ключи отсутствуют в словаре. Далее рассмотрим функцию `is_comlete`, которая принимает 3 аргумента:

`n`: Количество вершин в графе.

`m`: Количество ребер в графе.

`edges`: Список кортежей, представляющих ребра.

Функция возвращает "YES", если граф полный, "NO" - в противном случае.

Второй этап посвящен созданию словаря graph с помощью функции defaultdict(list). В цикле for по всем ребрам edges: сначала добавляем в список graph[edge[0]] вершину edge[1], затем добавляем в список graph[edge[1]] вершину edge[0]. То есть перебираем список ребер и добавляем каждое ребро в граф, а само ребро представлено кортежем из двух вершин, и вершины добавляются в списки соседей соответствующих вершин в графе.

Третьим этапом определяем рекурсивную функцию dfs, в которой node - текущая вершина, а visited - множество для отслеживания посещенных вершин. Функция возвращает True, если граф полный, False - если нет.

Четвертый этап посвящен выяснению является ли граф полным, путем проверки наличия ребер между всеми парами вершин. Внешний цикл for перебирает все вершины i от 1 до n. Внутренний цикл for перебирает все вершины j от i + 1 до n. Условие if проверяет, существует ли ребро между вершинами i и j. Если ребра между i и j нет ни в списке edges, ни в его обратном виде (j, i), то граф не полный, значит возвращаем "NO".

Итоговым этапом является запуск поиска в глубину (DFS) из произвольной вершины. Переменная visited=set() - создает пустое множество для отслеживания посещенных вершин. Условный оператор: return dfs(1, visited) if len(visited) == n else "YES" - возвращает результат выполнения функции dfs(1, visited), если количество посещенных вершин (len(visited)) равно n. В противном случае возвращается "NO". Далее происходит считывание данных, считывается n и m из первой строки ввода, а затем m строк, содержащих по 2 числа - описание ребер. Затем вызываем результат работы функции.

В результате работы алгоритма формируем правильные выходные данные, которые были заданы в задаче. Полный и неполный графы, а также результат реализации кода представлен на рисунке 3.

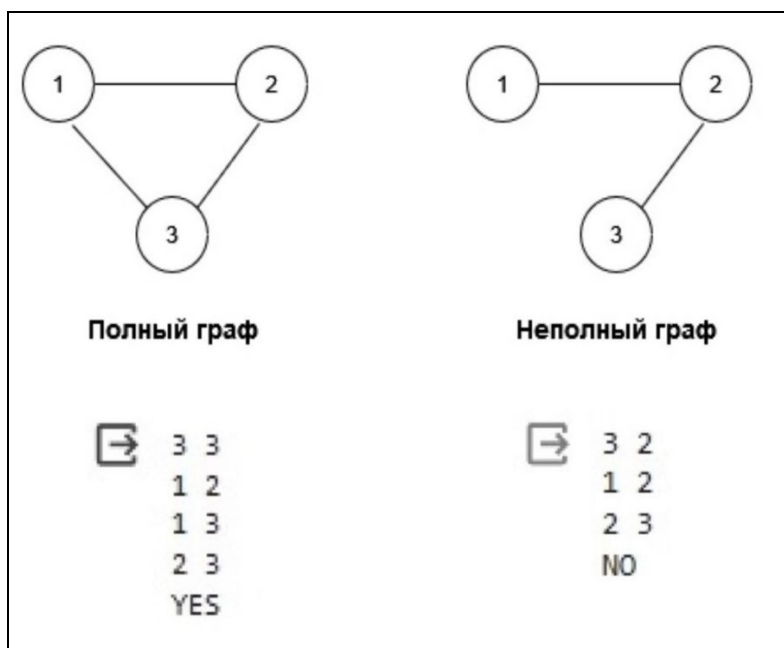


Рисунок 3. Полный и неполный графы

Итак, удалось решить олимпиадные задачи и создать практические материалы по наиболее часто встречающимся темам олимпиад, а также для подготовки школьников и студентов начальных курсов к различным олимпиадам по программированию.

В завершении заметим, что материалы будут использованы для подготовки и выступления студентов специальности 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», 09.03.03 «Прикладная информатика» на международных олимпиадах по учетно-аналитическим задачам и олимпиаде «IT-Планета».

### Литература и источники

1. Кирсанов С.Г., Чуешев А.В. «Решение олимпиадных задач по программированию на платформе "1С: Предприятие 8.3". Примеры алгоритмов». В сборнике: Новые Информационные технологии в образовании: инновации в экономике и образовании на базе технологических решений 1С Сборник научных трудов 17-й Международной научно-практической конференции. 2017. С. 67-69.

2. Кирсанов С.Г., Чуешев А.В. «Идеальный алгоритм». В сборнике: Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты сборник материалов Международной научно-практической конференции. Западно-Сибирский научный центр, 2016. С. 117-125.

3. Лааксонен А. Олимпиадное программирование. / Антти Лааксонен. — 2-е изд. — М.: ДМК Пресс, 2020. — 328 с.

*Научный руководитель - к.ф.-м.н., доцент Чуешев А. В., КемГУ*

**Аннотация:** Работа посвящена решению международных учетно-аналитических задач на платформе 1С. Рассматриваются олимпиадные задачи регионального и заочных туров с 2019 по 2023 годы. Цель каждой из представленных задач создать отчет и предоставить готовый результат в требуемом формате. Во всех олимпиадных задачах есть начальная база, объекты которой нельзя изменять. В готовой начальной базе необходимо проделать все решения для представления готового результата. Чаще всего, в задании дана таблица, которая должна получиться в результате выполнения задачи. Практически в каждой олимпиадной задаче, представленной в данной работе, описываются два метода решения задачи в «1С: Предприятии»: через таблицу значений и с помощью табличного документа. В некоторых задачах представлены более 2 решений. Например, в задании 1-го заочного тура 2019 года представлены три метода решения задачи: через таблицу значений, применяя табличный документ и используя схему компоновки данных. Каждая задача на итоговом этапе проверяется в пользовательском режиме и сравнивается предполагаемым видом. Заметим, что в некоторых задачах представлены решения содержащие новые подходы и методы в 1С. Например, применен метод решения системы линейных алгебраических уравнений. В итоге, на основе решённых олимпиадных задач различными методами, создан электронный учебник. Работа будет полезна для подготовки студентов ВУЗов различных направлений к международной олимпиаде по учетно-аналитическим задачам на платформе 1С. Сама олимпиада по учетно-аналитическим задачам проводится в два тура. Региональный тур проводится очно или заочно практически во всех больших городах России. Финальный тур проводится в Москве. Олимпиада проводится следующим образом: зачитывается постановка задачи, выдается начальная база, определяется в каком виде требуется получить отчет. На заранее подготовленных тестах проверяется решения участников олимпиады. Целью работы является изучение учетно-аналитических задач на платформе «1С». Создание электронного учебника – решебника таких задач. Предмет работы: задачи на программирование в «1С», а также всевозможные способы решения.

**Ключевые слова:** Программирование на платформе 1С, олимпиада, специалист по платформе, Система компоновки данных, внешний отчет.

**Цель:** Целью работы является изучение и решения учетно-аналитических задач на платформе «1С», а также разработка учебных материалов, которые помогут студентам подготовиться к олимпиаде по объектно-ориентированному программированию.

Работа содержит решения учетно-аналитических задач на современной платформе 1С. Постановки задач взяты с ежегодных международных олимпиад по 1С. Олимпиады охватывают задачи региональных и заочных туров с 2019 по 2023 годы, где основной целью является создание отчетов и предоставление результатов в требуемом формате. В каждой из олимпиадных задач предоставляется начальная база данных, которую нельзя изменять, и требуется выполнить все расчеты для получения готового результата. Чаще всего студентам предоставляется таблица, которую им необходимо сформировать в процессе работы.

Созданные решения олимпиадных задач предполагают использование как минимум двух методов решения в системе «1С: Предприятие»: через таблицу значений и с помощью табличного документа, иногда представлены и другие способы. Например, в одной из задач заочного тура 2019 года предлагается три метода решения: таблица значений, табличный документ и схема компоновки данных.

Приведем пример постановки задачи из олимпиады регионального тура 2024 г:

Гостиница, принимающая как землян, так и инопланетян-пришельцев из других миров, находится труднодоступном месте, старается заселить всех.

С самого первого дня открытия все посетителей оформляются в программе, интегрированной с системой «1С: Предприятие». Для заселения используется документ «Гостевая книга», в шапке которого выбирается название гостиницы. В строчках данного документа фиксируется информация об имени и фамилии гостя, дне прибытия и дне отъезда. Поскольку в различных мирах используются разные системы измерения времени и календари, хозяйка гостиницы регистрирует прибытия и отъезды гостей по номерам дней с момента открытия отеля (рис. 1).

N	Имя гостя	День приезда	День отъезда
1	Дю Барнстокр	1	6
2	Хинкус	2	6
3	Брюн	2	5
4	Луарвик Л. Луарвик	3	8
5	Ольга Мозес	3	8
6	Петер Глебски	4	6
7	Симон Симонэ	5	6
8	Олаф Андварафорс	6	

Рисунок. 1 Вид документа «Гостевая книга»

После трудовых будней администратор решил выяснить, сколько гостей за весь период работы отеля принималось каждый день. Он прошел обучение на курсах по разработке в 1С и написал программу, которая должна была найти день с максимальной загрузкой отеля. Однако администратор столкнулся с трудностями по работе с отчетами и не решил задачу. Цель вашей работы: разработать программу, которая поможет определить день  $D_{\max}$  с наибольшим количеством гостей  $N_{\max}$  за всю историю существования гостиницы.

В техническом задании администратор указал, что необходимо учесть следующие особенности:

- прибытие гостей могут быть в хаотическом порядке, в любой день;
- дни прибытия и дни отъезда посетителей целиком считаются днями пребывания в отеле. Проживающий может приехать и уехать в один день, в этом случае день отъезда совпадает с днем прибытия. Считается, что день отъезда всегда позже дня прибытия;
- если день отъезда не заполнен в документе, означает, что гость приехал, но еще не уехал и проживает в гостинице. В случае, если день прибытия не указан, это означает ошибку, которую внес администратор и такую запись необходимо пропускать.

Необходимо реализовать задачу в «1С: Предприятии» в выданной конфигурации, причем в виде внешнего отчета. Данный отчет должен позволять, в форме, выбрать документ. В результате формирования отчета необходимо выдать день с наибольшей загрузкой посетителями отеля, а также вывести максимальное количество гостей в этот день. По результатам выполнения отчета будет сформирована таблица с необходимой информацией (таблица 1).

Таблица 1.

Справка	
Отель:	У погибшего альпиниста-1
Максимальная загрузка (чел.)	7
Первый день с максимумом гостей	5

При этом, если существует несколько дней с одинаково максимальной загрузкой, необходимо выбрать тот, который первым встретился.

Важно отметить, что при выполнении задания следует строго придерживаться олимпиадной конфигурации "как есть", не допуская изменения существующих объектов или добавления новых.

Разберем поэтапно реализацию решения данной задачи:

Первый этап посвящен созданию отчета с четырьмя реквизитами: «ВыбранныйДокумент», «ВыбранныйОтедь», «ДеньМакс», «МаксЗагр». Формируется форма отчета и производится настройка вида.

На втором этапе происходит создание команды «СформироватьРезультат» и технические процедуры.

На третьем этапе в алгоритме вызываем конструктор запроса с обработкой результата. Он предоставляет возможность составить текст запроса, сформировать часть программного кода, которая выполняет этот запрос и выводит результаты в виде таблицы в документ, а также создать временную таблицу в конструкторе запроса.

На четвертом этапе редактируем получившийся код, добавляя в него алгоритмическую часть с циклами по обработке данных и формирования промежуточных таблиц значений.

Завершающий этап включает проверку отчета в режиме пользователя. Выбираются разнообразные тестовые наборы данных для различных сценариев и осуществляется анализ полученных результатов.

Технологии и методы решений применяются для задач других лет и туров.

Получилось успешно решить ряд олимпиадных задач, связанных с учетом и аналитикой за последние годы, а также разработать полезные материалы для подготовки студентов к олимпиаде. Некоторые решения других авторов были оптимизированы, с учетом появившихся возможностей платформы 1С.

Отметим, что материалы будут применены для специальностей «Математика и компьютерные науки», «Прикладная информатика», а также могут быть полезны всем, кто готовится к аналитическим олимпиадам.

#### **Литература и источники**

1. Теплякова Д. В., Чуешев А. В. ОЛИМПИАДНЫЕ ЗАДАЧИ НА ПЛАТФОРМЕ 1С Симпозиум XVIII (L) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, приуроченной к 50-летию КемГУ. Том Выпуск 24. Сост. А.А. Звекон. Кемерово, 2023 С. 130-131 <https://elibrary.ru/item.asp?id=53751971>

2. Теплякова Д. В., Чуешев А. В. РЕШЕНИЕ УЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ Информационные технологии в управлении техническими системами и моделирование Сборник часть 13 2023. С. 361-364 [https://www.bstu.ru/research/graduation\\_candidacy/otdel\\_oonirs/conf](https://www.bstu.ru/research/graduation_candidacy/otdel_oonirs/conf)

3. Гончаров, Д. И. Введение в конфигурирование в системе «1С: Предприятие 8.2». Основные объекты [Текст] / Д. И. Гончаров. – М.: ООО «1С – Учебный центр №3», 2010. – 101 с.

4. Кирсанов С. Г., Чуешев А.В. «Решение олимпиадных задач по программированию на платформе "1С: Предприятие 8.3". Примеры алгоритмов». В сборнике: Новые Информационные технологии в образовании: инновации в экономике и образовании на базе технологических решений 1С Сборник научных трудов 17-й Международной научно-практической конференции. 2017. С. 67–69.

5. Кирсанов С.Г., Чуешев А.В. «Алгоритмы решений олимпиадных задач по программированию на платформе 1с». В сборнике: Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты сборник материалов Международной научно-практической конференции. Западно-Сибирский научный центр. 2016. С. 115-116.

6. Кирсанов С. Г., Чуешев А.В. «Идеальный алгоритм». В сборнике: Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты сборник материалов Международной научно-практической конференции. Западно-Сибирский научный центр, 2016. С. 117–125.

*Научный руководитель - к.ф.-м.н., доцент Чуешев А. В, КемГУ*



**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СО СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ,  
ВОЗНИКАЮЩЕЕ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ НА ПЛОСКОМ ФИЛЬТРОВАЛЬНОМ  
ЭЛЕМЕНТЕ**

*Ануфриев Д.А.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[nufa.s@yandex.ru](mailto:nufa.s@yandex.ru)

**Аннотация:** Оптимальное проектирование и управление различными производствами должно оставаться на глубоком анализе отдельных технологических процессов. Особый интерес проявляется в нефтехимической, нефтеперерабатывающей, угольной, химической, пищевой и других отраслях промышленности, представляющие процессы разделения неоднородных систем. Одним из них является фильтрация суспензий – это системы, состоящие из множества твердых частиц, распределенных в однородной жидкой среде. Фильтрация является весьма сложным гидродинамическим процессом, сложность которого заключается, в частности при образовании сжимаемых осадков, является препятствием, которое сдерживает развитие теории этого процесса. Инструментом, которым можно расширить теорию и обеспечить переход от лабораторных исследований к промышленному производству, является метод математического моделирования. Организация и проведение вычислительного эксперимента заключается в разработке математических моделей, численных алгоритмов решения нелинейных систем и в создании соответствующего программного обеспечения. Зачастую выбор определенного метода решения связан с возможностью получить решения, например, учесть наличие подвижных межфазных границ. Процесс заключается в том, что имеется плоский фильтровальный элемент. Суспензия помещается, соприкасаясь с первоначальным фильтрующим слоем. Благодаря разности давлений, которая постоянна, начинается процесс разделения суспензии. Рассматривается одномерная задача, которая подразумевает, что координатная ось, на которой наблюдается изменение толщины осадка, направлена противоположно движению суспензии. В задаче не будем учитывать зависимость модуля сжимаемости осадка и его удельного сопротивления от порового давления. Реализуя численный подход решения, получаем уравнение, которое является нелинейным. Решение будет находиться, используя метод Ньютона, который заключается в том, что в окрестности имеющегося приближения, задача заменяется некоторой вспомогательной линейной задачей.

**Ключевые слова:** Уравнения мат физики, численные методы, дифференциальные уравнения, мат анализ, фильтрация суспензий, задача Стефана.

Интерес в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой и некоторых других отраслях промышленности представляют процессы разделения неоднородных систем. Одним из них является фильтрация суспензий – весьма сложным гидродинамический процесс, сложность и многофакторность которого, в особенности при образовании сжимаемых осадков, является препятствием, сдерживающим развитие теории этого процесса. Инструментом, позволяющим расширить теорию и обеспечить переход от лабораторных исследований к промышленному производству, является метод математического моделирования.

Суть процесса заключается в том, что разделение суспензии происходит под действием разности давлений на суспензию, соприкасающуюся с плоским фильтровальным элементом. Разность давлений предполагается постоянной.

Задача рассматривается в одномерной постановке и при этом координатная ось, на которой отслеживается изменение толщины осадка, направлена противоположно движению суспензии.

**Цель работы:** выбор и реализация численного алгоритма решения задачи фильтрации суспензии на плоском фильтровальном элементе.

**Постановка задачи.** Пусть имеется фильтровальный элемент (Рис. 1). В процессе фильтрования суспензии непрерывно увеличивается толщина осадка  $g(t)$  за счет перемещения границы раздела осадок-суспензия.

Обозначим:  $p$  - поровое давление;  $p_0, p_1, p_2$  - давление жидкости в начальный момент времени, на входе в слой осадка, на выходе из фильтрующего слоя (фильтрующий слой составляет осадок и исходный фильтрующий слой);  $\mu$  - вязкость жидкости;  $r$  - удельное сопротивление осадка;  $u$  - коэффициент наружного отложения осадка;  $G$  - модуль сжимаемости осадка;  $z$  - координата осадка;  $b$  - коэффициент консолидации, являющимся аналогом коэффициента температуропроводности и характеризующий реакцию сжимаемого осадка на внешнее поле давлений,  $b = \frac{G}{\mu \cdot r}$ . Этот коэффициент является обобщенной характеристикой сжимаемой пористой среды, так как учитывает основные ее свойства – сжимаемость и проницаемость.

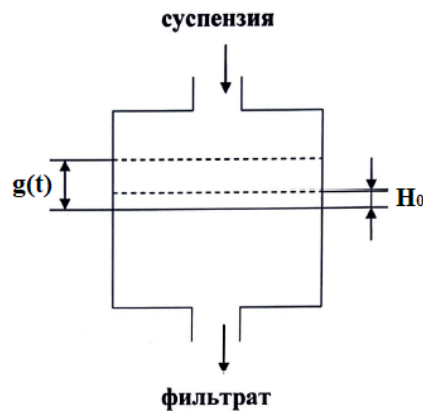


Рисунок 1. Схема процесса фильтрования на плоском фильтровальном элементе

Тогда математическая модель фильтрования, записанная относительно гидродинамического давления будет выглядеть так:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = b \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}, \quad 0 \leq z \leq g(t), \quad (1)$$

$$p[g(t), t] = p_1; \quad p[0, t] = p_2, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (2)$$

$$p[z, 0] = p_0, \quad 0 \leq z \leq H_0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} \Big|_{z=g(t)} = l \cdot \frac{dg}{dt}, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (4)$$

где  $g(0) = H_0$  и  $l = \frac{r \cdot \mu}{u}$ .

В приведенной задаче не учитывается зависимость модуля сжимаемости осадка и его удельного сопротивления от порового давления, поэтому входящие в задачу параметры  $b, l$  являются постоянными величинами. Также постоянны параметры  $p_1$  и  $p_2$ , а  $p_0 = p_2 + \frac{z \cdot (p_1 - p_2)}{H_0}$ ,  $0 \leq z \leq H_0$ . Поставленная задача нелинейная, связано это с наличием неизвестной границы  $g(t)$ . Кроме того, в качестве неизвестного выступает поровое давления  $p(z, t)$ .

Рассмотрим численный алгоритм решения задачи (1)-(4). Так как необходимо определить неизвестную границу раздела осадок-суспензия, с ней связывается узел расчетной сетки.

Области  $Q = \{0 \leq t \leq T, 0 \leq z \leq g(t)\}$  сопоставим дискретную область, состоящую из узлов  $(z_i, t_j)$ ,  $j = \overline{0, N}$ ,  $i = \overline{0, M_0 + j}$ , где  $t_j = j \cdot \tau$ ,  $N \cdot \tau = T$ , (для простоты считаем значения

величин  $\tau$  и  $T$  соизмеримыми так, что  $N$  - целое число),  $z_i = i \cdot h, i = \overline{0, M_0}, M_0 \cdot H = H_0, z_{M_0+k} = H_0 + H_1 + \dots + H_k, k = \overline{1, j}$ . При этом  $H_k$  - величина, определяющая сдвиг раздела осадок-суспензия за временной промежуток  $[t_{k-1}, t_k]$ .

Считаем, что за время  $\tau$  неизвестная граница сдвигается на один шаг пространственной сетки. Вследствие определения неизвестных величин  $H_k, k = \overline{1, j}$  добавляется в каждый момент времени  $t_j$  новый узел сетки, в результате чего расширяется семейство отрезков  $[0, H_0 + H_1 + \dots + H_k]$ . Сеточная область схематично представлена на рисунке 2.

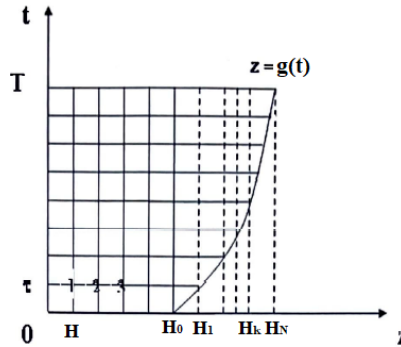


Рисунок 2. Схематичное изображение расчетной сетки

Поставим в соответствие уравнению (1) следующую неявную разностную схему:

$$\frac{p_i^j - p_i^{j-1}}{\tau} = \frac{2 \cdot b}{h_{i+1} + h_i} \cdot \left( \frac{p_{i+1}^j - p_i^j}{h_{i+1}} - \frac{p_i^j - p_{i-1}^j}{h_i} \right), j = \overline{1, N}, i = \overline{1, M_0 + j - 1}, \quad (5)$$

где  $p_i^j = p(z_i, t_j), j = \overline{1, N}, i = \overline{1, M_0 + j - 1}$ .

Аппроксимируем граничные и начальные условия (2)-(3) следующими равенствами:

$$p_0^j = p_2, p_{M_0+j}^j = p_1, j = \overline{0, N}, \quad (6)$$

$$p_i^0 = p_0, i = \overline{1, M_0 - 1}, \text{ где } p_0 = p_2 + \frac{z_i \cdot (p_1 - p_2)}{H_0}, i = \overline{0, M_0}. \quad (7)$$

Принимая во внимание предположение о сдвиге границы на один узел, имеем:

$\frac{dg}{dt}(t_j) \approx \frac{h_{M_0+j}}{\tau}, j = \overline{1, N}$ . Тогда условие (4) аппроксимируем следующим образом:

$$\frac{p_{M_0+j}^j - p_{M_0+j-1}^j}{h_{M_0+j}} = l \cdot \frac{h_{M_0+j}}{\tau}, j = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Анализ представленной разностной задачи (5)-(8) показывает, что она аппроксимирует исходную дифференциальную задачу (1)-(4) с погрешностью  $O(\tau + h^2)$ .

Кроме того, выполнено необходимое для устойчивости условие Неймана.

Алгоритм решения задачи в момент времени  $t_j$  выглядит следующим образом:

1. вычисление прогоночных коэффициентов  $u_j, v_j, j = \overline{1, M_0 + j - 1}$ .

Прогоночные коэффициенты имеют вид  $u_{i+1} = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot u_i}, v_{i+1} = \frac{D_i + C_i \cdot v_i}{B_i - C_i \cdot u_i}$ , где

$$A_i = \frac{1}{h_{i+1}}, B_i = \frac{1}{h_{i+1}} + \frac{1}{h_i} + \frac{h_{i+1} + h_i}{2 \cdot b \cdot \tau}, C_i = \frac{1}{h_i}, D_i = \frac{h_{i+1} + h_i}{2 \cdot b \cdot \tau} \cdot p_i^{j-1}.$$

2. применение метода Ньютона к уравнению, полученному из уравнения (5) при  $i = M_0 + j - 1$  после подстановки  $h_{M_0+j}$  из формулы (8) и выражения  $p_{M_0+j-2}^j = u_{M_0+j-1} p_{M_0+j-1}^j + v_{M_0+j-1}$ , для нахождения давления в узле  $M_0 + j - 1$ ;

3. определение границ раздела осадок-суспензия в момент  $t_j$  посредством вычисления сдвига  $h_{M_0+j}$  из формулы (8);

4. реализация обратного хода метода прогонки для определения давления внутри фильтрующего слоя по формулам:  $p_i^j = u_{i+1}p_{i+1}^j + v_{i+1}, i = \overline{1, M_0 + j - 2}$ .

Таким образом был предложен алгоритм реализации численного решения задачи со свободной границей, моделирующей процесс разделения суспензий на плоском фильтровальном слое.

#### **Литература и источники**

1. Самарский, А.А. Вычислительная теплопередача./ А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

2. Федоткин, И.М. Гидродинамическая теория фильтрования суспензий./ И.М. Федоткин, Е.И. Воробьев, В.И. Вьюн – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 166 с.

*Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Жалнина А.А., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

**Аннотация:** Данная статья посвящена актуальной на сегодняшний день для отечественного образования теме – это реализация межпредметных связей в решении нестандартных задач математики и информатики. Статья адресована студентам педагогических ВУЗов и педагогических направлений, учителям-предметникам, осуществляющим образовательную деятельность по дисциплинам «математика» и «информатика и ИКТ» в общеобразовательных школах, а так же всем неравнодушным к этому вопросу. В ходе исследования были рассмотрены определения понятий межпредметных связей, нестандартных задач, а также системы задач. В статье описана, разработанная в ходе исследования, система нестандартных задач по математике и информатике для обучающихся 9-ых классов, а также рассмотрена и решена одна из задач этой системы. Выдвинутая гипотеза исследования – это решение нестандартных задач с межпредметными связями позволяет обучающимся плодотворно использовать свои математические знания в информатике и знания информатики в математике. Для проверки гипотезы был проведен педагогический эксперимент, поставленный в МБОУ «СОШ №55» города Кемерово с учениками 9-ых классов, который кратко описан в статье вместе с некоторыми результатами. В ходе эксперимента обучающимся была предложена анкета на проверку реализации межпредметных связей. Анкетирование проходило до серии занятий по решению задач системы нестандартных задач и после. Основываясь на результатах анкетирования, были получены результаты педагогического эксперимента. Получен вывод, что разработка системы нестандартных задач с межпредметными связями по математике и информатике и использование её в занятиях усиливает интерес к изучаемым дисциплинам, углубляет знания и позволяет обучающимся плодотворно применять свои математические знания в информатике и знания информатики в математике.

**Ключевые слова:** математика, информатика, межпредметные связи, нестандартные задачи, система нестандартных задач.

Современное отечественное образование характеризуется широким применением информационных технологий в обучении, внедрением новых методик обучения и развитием межпредметных связей между математикой и информатикой. Ориентир в обучении математике и информатике на межпредметные связи позволяет продемонстрировать учащимся целостность картины мира, продолжить развитие системного мышления и умения применять знания и навыки из разных областей для решения комплексных проблем.

Говоря о межпредметных связях, стоит вспомнить Г.Ф. Федорец, который определяет настоящие связи как особую педагогическую категорию, которая отражает связи между разными учебными предметами, помогая обучающимся лучше понимать мир вокруг них, умение анализировать и синтезировать информацию, а также расширять кругозор. Эти связи могут быть в виде общих тем, концепций или идей, которые проходят через несколько предметов [3].

Многие педагоги и методисты задаются вопросом, о том, как действительно реализовать межпредметные связи. Ответы на этот вопрос ученые и педагоги дают разные, но один из них, по нашему мнению, недостаточно освещен в современной педагогической и методической литературе, и это использование нестандартных задач.

Самым полным и четко сформулированным определением нестандартных задач среди всех, предложенных исследователями, является определение Л. М. Фридмана.

Нестандартные задачи – это такие, для которых в курсе математики не имеется общих правил и положений, определяющих точную программу их решения [4].

Нестандартные задачи в школьном курсе могут иметь различные цели и функции. Некоторые из них могут быть направлены на развитие творческого мышления учащихся, способности к анализу и решению нетипичных задач. Другие задачи могут помочь стимулировать интерес к изучаемому предмету, показать его применение в реальной жизни или просто разнообразить учебный процесс. Нестандартные задачи также могут помочь выявить индивидуальные способности и таланты учащихся, а также развить их умение работать в команде и совместно решать сложные задачи.

Решение нестандартных задач по математике и информатике может быть эффективным средством развития межпредметных связей, так как такие задачи требуют от учащихся применения знаний из различных предметных областей, а также умения анализировать и синтезировать информацию, что является важным навыком в современном мире.

Продуктивность процесса обучения во многом зависит от выбора и формы представления задач, от способа организации деятельности обучающихся по их решению. Методисты и ученые утверждают, что для более плодотворного достижения образовательных целей целесообразно использовать системы задач со строгой структурой.

Система задач представляет собой группу задач, организованных и подобранных в соответствии с определенной целью, которые взаимодействуют и взаимосвязаны друг с другом, для достижения заданного результата

Система задач может дать обучающимся полноту представлений, способствует углублению и осознанности знаний. Организация учебного процесса средствами системы задач позволяет не только обобщить и систематизировать полученные знания, но и продемонстрировать взаимосвязь отдельных тем курса, дать обучающимся разнообразные методы решения задач [2].

**Целью исследования** является разработка системы нестандартных задач с межпредметными связями математики и информатики.

При разработке системы нестандартных задач с межпредметными связями важно учитывать следующие аспекты:

1. Система должна быть создана с учетом требований к полноте, преемственности, направленности, последовательности, перспективности и гибкости [1, с 283-284].

2. Элементами системы являются классы нестандартных задач по математике и информатике, направленные на формирование межпредметных связей. Классификация задач проведена по методам решения (полнота и целенаправленность).

3. Каждый класс нестандартных задач включает в себя задачи, которые можно решить, как средствами Математики, так и Информатики (преемственность).

4. Нестандартные задачи в системе нестандартных задач с межпредметными связями составлены на двух уровнях сложности базовом и профильном (вариативность).

5. Система нестандартных задач с межпредметными связями может быть дополнена задачами с другими межпредметными связями (перспективность).

Таким образом, в эту систему были включены задачи на следующие темы:

1. Элементы математической логики;
2. Системы счисления;
3. Элементы теории вероятностей и математическая статистика;
4. Теория графов;
5. Функция и её график.

Покажем одну из нестандартных задач по информатике, которую можно решить с помощью теории графов.

Агенту Иванову нужно передать секретное сообщение на базу по специальному каналу связи, на котором используется секретный двоичный код и содержатся только буквы А, Б, Г, И, М, Р, Я. Так же особенность данного канала, заключается в том, что секретный код должен удовлетворять условию Фано.

Условие Фано (Префиксный код) — это такой код, в котором ни одно кодовое слово не является префиксом (началом) другого кодового слова.

Известны кодовые слова для следующих букв:

А: 010;

Б: 011;

Г: 100.

Определите наименьшее количество битов (один двоичный знак равен одному биту), для кодирования в двоичную систему слова «МАГИЯ»

Решение:

Строим граф – дерево возможных вариантов (рис. 1). Отмечаем коды заданных букв из условия. По дереву определяем, что только одна буква может иметь два символа другие минимум три символа, так как по условию Фано – ни одно кодовое слово не является началом другого кодового слова.

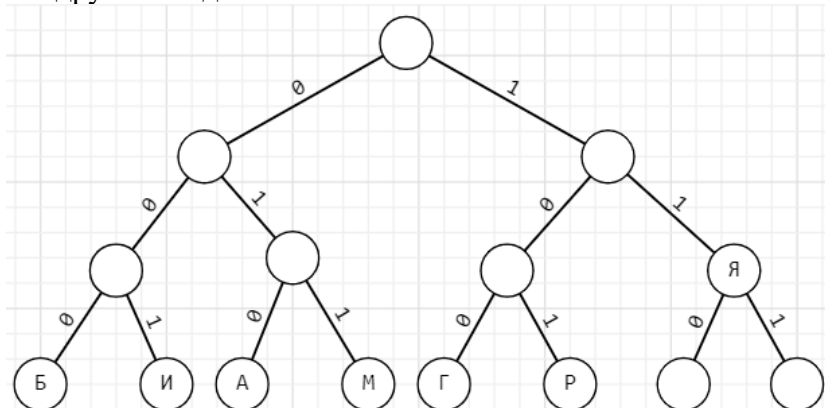


Рисунок 1 Дерево возможных вариантов

Исходя из построения – Для кодирования слова МАГИЯ понадобится  $2 + 3 + 3 + 3 + 3 = 14$  двоичных знаков, то есть 14 битов.

Выдвинем **гипотезу** нашего исследования: решение нестандартных задач с межпредметными связями позволяет обучающимся плодотворно использовать свои математические знания в информатике и знания информатики в математике.

Для проверки гипотезы проводился эксперимент с обучающимися 9-ых классов МБОУ «СОШ №55» города Кемерово в количестве 49 человек. Были проведены внеурочные занятия, в ходе которых рассматривались задачи из составленной системы нестандартных задач. Каждая из предложенных задач решалась обучающимися как методами математики, так и информатики. До и после нескольких занятий обучающимся была предложена анкета на проверку реализации межпредметных связей у обучающихся, которая была составлена на основе анкеты Е.В. Якушевой [5]. В анкете обучающимся было предложено дать ответы на несколько вопросов. Но наибольший интерес для исследования представляли результаты по последним двум вопросам, а именно: «Решали бы Вы математическую задачу методами информатики или задачу по информатике методами математики? Как вы думаете, Вы бы успешно справились с такой задачей?». Результаты наглядно можно представить в виде диаграммы (рис. 2), где на горизонтальной оси отмечены вопросы анкеты, а на вертикальной – количество обучающихся, дававших положительные ответы на вопросы:

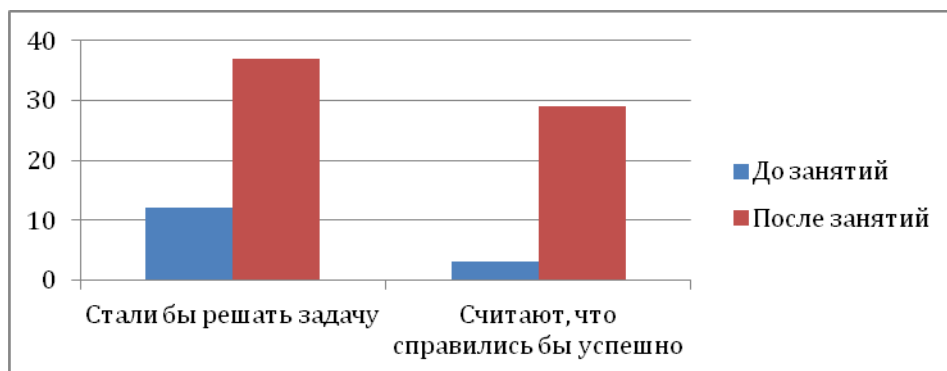


Рисунок 2. Некоторые результаты анкетирования

Из полученных результатов следует, что разработка системы нестандартных задач с межпредметными связями по математике и информатике и использование её в занятиях усилила интерес к изучаемым дисциплинам, углубила знания и позволила обучающимся плодотворно применять свои математические знания в информатике и знания информатики в математике.

### Литература и источники

1. Глухова О.Ю., Гудов А.М., Тимофеева Н.А Роль методических задач-заданий в системе самостоятельных работ по профильным дисциплинам. Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Гуманитарные и общественные науки. 2023. Т. 7. № 3 (27). С. 281-289.
2. Ковалева Г.И. Приемы конструирования систем математических задач // Наука и школа. 2010. №2. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/priemy-konstruirovaniya-sistem-matematicheskikh-zadach> (Дата обращения: 02.04.2024).
3. Федорец Г.Ф. Межпредметные связи в процессе обучения / Г.Ф. Федорец. – СПб., 1994. – 250 с.
4. Хабибуллин, К. Я. Решение нестандартных задач – основа творческой деятельности учащихся / К. Я. Хабибуллин // Школьные технологии. – 2000. – №2. – С. 137-141.
5. Якушева Е.В. Отношение учащихся и учителей к интегрированному обучению – URL: [http://elenayakusheva.ucoz.ru/otnosheniya\\_uchashhikhsja\\_i\\_uchitelej\\_k\\_integrirov.docx](http://elenayakusheva.ucoz.ru/otnosheniya_uchashhikhsja_i_uchitelej_k_integrirov.docx) (Дата обращения: 03.04.2024).

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



## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СМИТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗВЕНА 1 ПОРЯДКА

*Григорьева А. Е.*

*Кемеровский государственный университет Кемерово, Россия*

[annagri2022@mail.ru](mailto:annagri2022@mail.ru)

**Аннотация:** Построение математических моделей объекта или создание алгоритмов их автоматического получения является первым этапом математического моделирования. Под дискретной моделью понимают оператор, переводящий входной сигнал измеренный в дискретный момент времени в выходной сигнал измеренные в дискретные моменты времени. В статье рассмотрено цифровое моделирование апериодического объекта первого порядка на основе метода дискретного моделирования, который основан на замене нулей и полюсов непрерывной передаточной функции на нули и полюса дискретной передаточной функции с помощью Z- преобразования. Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что метод Смита, основанный на использовании формулы согласованного Z-преобразования, можно применять для построения дискретной модели, с целью ее последующего включения в автоматического регулирования, при условии, что шаг дискретизации будет взят равным 1. Метод Смита не только сохраняет дробно-рациональную структуру дискретной передаточной функции, но и приводит к полному соответствию s и z полюсов и нулей. Однако, преобразование не учитывает дополнительные полюса и нули, которые влияют на точность дискретной модели. За единицу времени можно брать 1 секунду, 1 минуту, 1 час и так далее, в зависимости от специфики объекта. Однако невозможность произвольно менять шаг дискретизации уменьшает область применения данного метода и вынуждает исследователя искать другие пути построения дискретной модели. Построены дискретные модели методом Смита. Сделан вывод, о возможности использования данного метода только при шаге дискретизации равном одному.

**Ключевые слова:** Апериодический объект первого порядка, непрерывная передаточная функция, дискретная передаточная функция, конечно-разностное уравнение, Z-преобразование.

Целью работы является построение модели динамического объекта, заданного апериодическим звеном первого порядка с помощью метода Смита.

Построение дискретной модели динамического объекта необходимо для включения ее в замкнутую систему автоматического регулирования объектом. Рассмотрим метод дискретного моделирования, основанный на замене нулей и полюсов НПФ на нули и полюса ДПФ путем использования формулы согласованного Z-преобразования [1]:

$$z = e^{\Delta s} . \quad (1)$$

Дж. М. Смит в своей работе [2] предложил представить непрерывную передаточную функцию (НПФ) объекта в виде:

$$G(s) = K \frac{\prod_{i=1}^m (s - s_i^0)}{\prod_{i=1}^n (s - s_i)}$$

где  $s_1, s_2, \dots, s_n$  – полюса НПФ,  $s_1^0, s_2^0, \dots, s_m^0$  – ее нули.

Тогда дискретная передаточная функция (ДПФ) примет вид:

$$G(z) = k \frac{\prod_{i=1}^m (z - z_i^0)}{\prod_{i=1}^n (z - z_i)}$$

где  $z_1, z_2, \dots, z_n$  – полюса ДПФ,  $z_1^0, z_2^0, \dots, z_m^0$  – ее нули.

Предлагалось с помощью формулы (1) перевести характеристические точки (нули и полюса) НПФ из  $S$ -плоскости непрерывного преобразования Лапласа в  $Z$ -плоскость дискретного преобразования Лапласа, и, тем самым, определить характеристические точки, образующие ДПФ. Коэффициент передачи ДПФ подбирался так, чтобы выполнялась теорема о конечном значении [3].

Найдем преобразование Лапласа переходной характеристики [3] объекта (1):

$$Y(s) = \int_0^{+\infty} y(t) e^{-st} dt = \int_0^{+\infty} K \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) e^{-st} dt.$$

Заменим интеграл интегральной суммой и найдем сумму ряда:

$$Y(s) = \sum_{n=0}^{+\infty} K \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) e^{-st} \Delta = K\Delta \sum_{n=0}^{+\infty} e^{-sn\Delta} - K\Delta \sum_{n=0}^{+\infty} e^{-\frac{n\Delta}{T}} e^{-sn\Delta}.$$

Первое слагаемое является геометрической прогрессией со знаменателем  $e^{-s\Delta}$ , с суммой:

$$S_1 = \frac{K\Delta}{1 - e^{-s\Delta}}.$$

Второе слагаемое является геометрической прогрессией со знаменателем  $e^{-(1/T+s)\Delta}$ , с суммой:

$$S_2 = \frac{K\Delta}{1 - e^{-\left(\frac{1}{T}+s\right)\Delta}}.$$

Используя формулу (1) заменим переменную непрерывного преобразования Лапласа  $s$  на переменную согласованного  $Z$ -преобразования  $z$ .

Тогда  $Y(z)$  –  $Z$ -преобразование переходной характеристики, примет вид:

$$Y(z) = \frac{K\Delta}{1 - z^{-1}} - \frac{K\Delta}{1 - e^{-\frac{1}{T}} z^{-1}} = \frac{K\Delta z^{-1} \left( 1 - e^{-\frac{1}{T}} \right)}{\left( 1 - z^{-1} \right) \left( 1 - e^{-\frac{1}{T}} z^{-1} \right)}.$$

Сделаем замену  $A = e^{-1/T}$ .

Найдем дискретную передаточную функцию:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{K\Delta z^{-1} (1 - A)}{\left( 1 - z^{-1} \right) \left( 1 - Az^{-1} \right)} : \frac{1}{1 - z^{-1}} = \frac{K\Delta z^{-1} (1 - A)}{1 - Az^{-1}}.$$

Построим КРУ:

$$y[n] = Ay[n-1] + K(1-A)\Delta x[n-1].$$

Построим график КРУ для объекта (1) при различных шагах дискретизации.

При  $\Delta = 0,1$  график дискретной переходной характеристики примет вид, приведенный на рисунке 1.

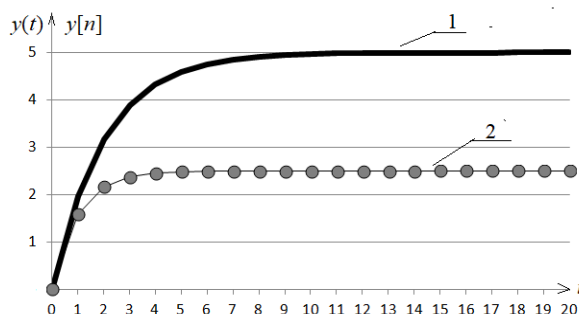


Рисунок 1. Сравнительный анализ непрерывной – 1 и дискретной – 2 переходной характеристики объекта (1) при шаге дискретизации  $\Delta = 0,5$

При  $\Delta = 1$  график дискретной переходной характеристики примет вид, приведенный на рисунке 2.

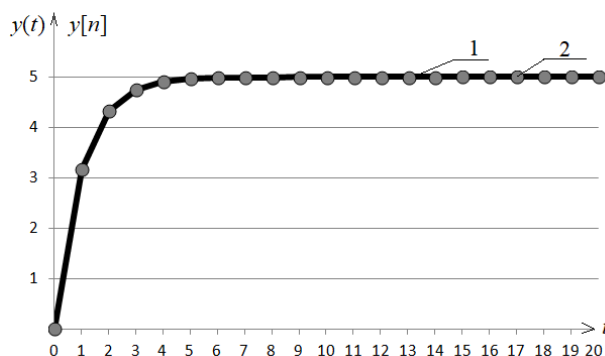


Рисунок 2. Сравнительный анализ непрерывной – 1 и дискретной – 2 переходной характеристики объекта (1) при шаге дискретизации  $\Delta = 1$

При  $\Delta = 2$  график дискретной переходной характеристики примет вид, приведенный на рисунке 3.

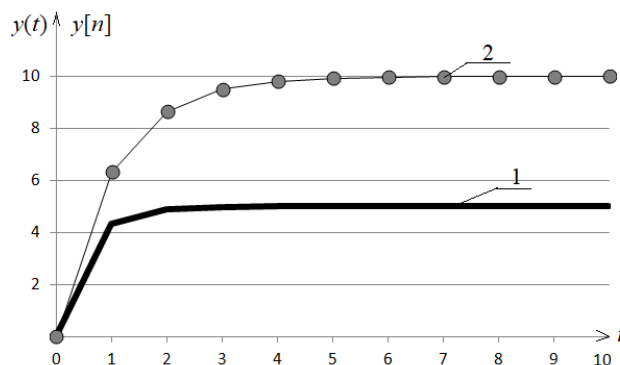


Рисунок 3. Сравнительный анализ непрерывной – 1 и дискретной – 2 переходной характеристики объекта (1) при шаге дискретизации  $\Delta = 2$

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что непрерывная и дискретная модель совпадают при шаге дискретизации  $\Delta = 1$ . И наблюдается расхождение установившихся значений, пропорциональное величине шага дискретизации, при  $\Delta \neq 1$ .

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что метод Смита, основанный на использовании формулы согласованного Z-преобразования, можно применять для построения дискретной модели, с целью ее последующего включения в автоматического регулирования, при условии, что шаг дискретизации будет взят равным 1. Это условие несложно выполнить. За единицу времени можно брать 1 секунду, 1 минуту, 1 час и так далее, в зависимости от специфики объекта. Однако невозможность произвольно менять шаг

дискретизации уменьшает область применения данного метода и вынуждает исследователя искать другие пути построения дискретной модели.

#### **Литература и источники**

1. Dorf R., Bishop R, Modern Control Systems. Pearson education limited, 2017, – 832 p
2. Smith J.M. Mathematical modeling and digital simulation for engineers and scientist. New York: Wiley, 1987. 271 p.
3. 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.
4. Гугова С.Г., Новосельцева М.А., Каган Е.С. Сравнительный анализ методов моделирования динамических объектов / Наука и образование. Сборник трудов участников XV Международной научной конференции. Красноярск, 2023. С. 3-9.  
*Научный руководитель – к.т.н., доцент Гугова С.Г., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

## ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКЕ НА УРОВНЕ ВЫСШЕГО, СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И СРЕДНЕГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Земляков В.Н.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[vitalii4242@mail.ru](mailto:vitalii4242@mail.ru)

**Аннотация:** Преемственность – связь между явлениями в процессе развития в природе, обществе и познании, когда новое сменяет старое и сохраняет в себе некоторые его элементы. Цель работы – выявить преемственные связи между уровнями образования по информатике и разработать блоки заданий, направленные на развитие преемственности. Проведен сравнительный анализ календарно-тематического планирования материала в десятом классе средней школы и на первом курсе учреждения среднего профессионального образования (СПО), на основе которого сформировали выводы. В основе школьной программы лежат фундаментальные знания, а в программе СПО основной акцент сделан на прикладные. Дальнейшее обучение в ВУЗе направлено на более детальное изучение и углубление в курс учебной подготовки. Сравнительный анализ производился на основе темы «Базы данных», в школьном курсе – Excel. По результатам проведенного исследования было установлено, что студенты ВУЗов изучают программу SQL, в изучении которой подспорьем служат программы Excel и Базы данных. Работа по созданию блоков заданий с преемственными связями трудоемка, требует детального изучения программ и подготовки учебных материалов на уровне довузовского обучения. Проведенный анализ показал наиболее высокий уровень знаний студентов, получающих высшее образование, по сравнению со школьниками, а именно в знании и применении теоретических аспектов Информатики. Однако, школьники сталкиваются с трудностями при решении прикладных заданий в отличие от выпускников СПО из-за недостаточного количества практических навыков. Последовательность процесса обучения на различных уровнях образования способствует разрешению данного противоречия. Разработка блоков заданий по Информатике позволяет достигнуть данной цели.

**Ключевые слова:** преемственность обучения в Информатике, блок заданий.

Преемственность - связь между явлениями в процессе развития в природе, обществе и познании, когда новое, сменяя старое, сохраняет в себе некоторые его элементы. В обществе означает передачу и усвоение социальных и культурных ценностей от поколения к поколению, от формации к формации [1].

Исходя из данного определения, мы можем сказать, что информатика, которая продолжает изучаться на различных уровнях высшего и среднего профессионального образования, должна продолжать развивать знания, умения, навыки обучающихся средней школы.

Цель работы – выявить преемственные связи между уровнями образования по информатике и разработать блоки заданий, направленные на развитие преемственности.

Для реализации сравним 2 программы по одной из основных тем информатики на основе календарно-тематического планирования [2 - 3]. Сравнивая планирование материала в 10 классе средней школы и на 1 курсе учреждения среднего профессионального образования (СПО) мы видим, что в основе школьной программы лежат теоретические знания, а по программе СПО основной акцент – практические знания (таблица 1.). Ясно, без теоретических знаний будущему студенту будет сложно понять почему именно так работает тот или иной процесс, а также на основе теоретических знаний можно развивать практические умения и навыки, но решение задач – это основная проблема.

Таблица 3.

Сравнительный анализ планирования 10 – 11 класс (уровень среднего общего образования) и 1 курс (уровень среднего профессионального образования)

Тема	10 класс (уровень среднего общего образования)			1 курс (уровень среднего профессионального образования)		
	всего	теория	практика	всего	теория	практика
Введение. Структура информатики	1	1	0	1	1	0
Информация	11	6	5	7	2	5
Информационные процессы	5	3	2	7	3	4
Программирование	18	8	10	17	5	12
<b>Всего</b>	<b>35</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>32</b>	<b>11</b>	<b>21</b>

Другой особенностью является организационная форма уроков и занятий. На уровне среднего общего образования: лекция, лабораторная работа, проект и его защита, а на уровне среднего профессионального образования: лекция, практическая работа, самостоятельная работа, индивидуальная работа, проектное задание и зачет. Как мы можем видеть - прослеживается преемственность между организационными формами уроков и занятий.

Разработка блоков заданий по различным темам и разделам позволяет еще ярче показать преемственные связи. Приведем пример некоторых заданий.

Тема хранение данных:

В 10 классе обучающиеся изучают: как посчитать объем файла, как обрабатывается информация, кодирование, поиск и передача информации, а как следствие – хранение.

На 1 курсе студенты, рассматривают программы для архивирования, учатся работать с проводниками, но понять, как это работает и как считается объем помогает именно школьный курс информатики.

Тема «Базы данных»:

По программе 10 класса обучающиеся только знакомятся с понятием базы данных и начинают осваивать азы, а по программе 1 курса студенты изучают данную тему глубоко, выполняют лабораторные работы, которые позволяют больше поработать с данными инструментами. Так, например, в лабораторной работе «Проектирование баз данных. Использование запросов для отбора данных по установленным критериям» перед студентами ставится практическое задание: по указанным параметрам спроектировать базу данных.

Преемственность в довузовском образовании и вузовском прослеживается в теме «База данных». Учащиеся 10-11 классов и СПО работают в одной из разновидностей баз данных «Microsoft excel», а студенты ВУЗов работают в SQL, SQL - это язык запросов, который применяют, чтобы работать с базами данных, структурированных особым образом. Главные задачи SQL — составлять запросы так, чтобы находить среди большого объема информации ту, что нужна для конкретных целей, сортировать её, структурировать и представлять в наиболее простом и понятном виде. [4].

Задание: Создайте таблицу, посчитайте средний балл успеваемости 10-ти учеников по трем предметам.

В excel – заполняем данные «ФИО», «Русский язык», «Математика», «Литература», в колонку «Средний балл» вводим в каждой строке «СРЗНЧ(B2:E2)». Тем самым мы получим в последнем столбце под названием «Средний балл» средний балл по трем предмета у каждого ученика.

В SQL – создаем таблицу командой «CREATE TABLE Studens», далее пишем: (FirstName NVARCHAR(20), RussianLanguage INT, Mathematics INT, Literature INT, AverageScore VARCHAR(20)) данными командами мы создадим таблицу с колонками «ФИО», «Русский язык», «Математика», «Литература» и «Средний балл».

Далее пишем запрос: SELECT FirstName, AVG(points) AS AverageScore FROM RussianLanguage, Mathematics, Literature GROUP FirstName

В данном решении запрос «AVG» – аналог «СРЗНАЧ» в excel, что помогает студентам понять принцип его работы, но именно на основе полученных при работе с такой БД как

excel, студенты изучают новый язык программирования, который помогает в перспективе более функциональные из-за разнообразия технические возможности.

При выполнении заданий преемственность основана на понимании предложенной задачи. Умении студентов собрать и разместить данные, при необходимости выполнить проверку простым способом.

Работа по созданию блоков заданий с преемственными связями трудоемкая и требует от нас знания программ и содержания учебного материала на уровне довузовского обучения, но с другой стороны, преподаватель на вузовском уровне может использовать знания и умения обучающихся в решении задач.

Как показывает анализ, студенты уровня высшего образования окончив школу знают теоретические аспекты Информатики, но тяжело справляются с практическими заданиями в отличии от выпускников СПО. Преемственность процесса обучения на различных уровнях образования и должна разрешить данное противоречие. Разработка блоков заданий по Информатике позволяет достигнуть данной цели.

### **Литература и источники**

1. Эл. Ресурс «Педагогическая энциклопедия»  
<https://didacts.ru/termin/preemstvennost.html>
2. Семакин И.Г. Информатика. Углубленный уровень : учебник для 10 класса: в 2 ч. Ч. 1 / И.Г. Семакин, Т.Ю. Шеина, Л.В. Шестакова – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 184 с. : ил.
3. Трофимов, В. В. Информатика : учебник для среднего профессионального образования / В. В. Трофимов, М. И. Барабанова. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 795 с.

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

**РАСЧЕТ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ  
РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ РЕЗЕРВУАРА С МЕТАНОМ***Караулова К.Р.*

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

[krk4@tpu.ru](mailto:krk4@tpu.ru)

**Аннотация:** Расчёт риска возникновения чрезвычайной ситуации при разгерметизации резервуара с метаном является важной задачей для обеспечения безопасности производства и окружающей среды. Например, метан является высокоэнергетическим газом, который при попадании в атмосферу может создать опасные ситуации, такие как пожары, взрывы и загрязнение окружающей среды. Проведение расчёта риска позволяет определить наиболее вероятные сценарии возникновения чрезвычайной ситуации и разработать меры по их предотвращению или минимизации последствий. Это позволяет повысить безопасность персонала, оборудования и окружающей среды. Процесс разрушения резервуара имеет достаточно сложный механизм. Наиболее нагруженный элемент конструкции – узел сопряжения стенки с днищем, который разрушается из-за радиальных усилий давления жидкости. При таком истечении обстоятельств наносится значительный ущерб экологии. Кроме того, при наличии источников зажигания или искрения существует высокая вероятность возникновения взрыва, что может привести к уничтожению или повреждению зданий и оборудования, а также к травмам и гибели людей. Исследования в области расчёта риска при разгерметизации резервуара с метаном имеют важное значение для развития технологий безопасного хранения и транспортировки этого газа, что способствует улучшению экологической ситуации и предотвращению возможных чрезвычайных ситуаций. В большинстве случаев чрезвычайные ситуации при разгерметизации резервуара вызываются нарушением технологии производства, правил эксплуатации резервуара, низкой трудовой и технологической дисциплиной, несоблюдением мер безопасности, отсутствием должного надзора за состоянием оборудования. На современных промышленных предприятиях и в быту часто используются пожаровзрывоопасные вещества, которые таят в себе риск возникновения чрезвычайной ситуации. В качестве примера такого вещества возьмем метан. **Целью работы** является оценка риска возникновения чрезвычайной ситуации при разгерметизации резервуара с метаном. В результате расчета было определено 6 зон ударной волны с определенными радиусами. Для каждой зоны рассчитали площадь зоны и количество пострадавших в этих зонах. Далее было определено количество пострадавших людей, пораженных ударной волной на открытой местности. При расчете получилось 3 человека. Таким образом, общее количество людей, пострадавших от ударной волны – 53 человека. После этого было рассчитано количество пострадавших в результате теплового воздействия. Тепловой поток на поверхности огненного шара составит 200 кВт/м<sup>2</sup>. Количество пострадавших от огненного шара – 31 человек. Общее число пострадавших в зонах от теплового потока – 5676 человек. Для конечного результата рассчитываем общее количество людей, пострадавших в результате аварии. Для этого рассчитаем количество пострадавших в зонах совместного воздействия ударной волны и теплового потока. Количество пострадавших в этих зонах определяется на основе сложения вероятности гибели людей от двух поражающих факторов. Совместных зон вышло 8. Количество пострадавших в этих зонах в результате расчета – 858 человек. Общее количество пострадавших в результате аварии на пожаровзрывоопасном объекте – 934 человека.

**Ключевые слова:** Метан, чрезвычайная ситуация, расчет риска, разгерметизация, резервуар.

Расчёт риска возникновения чрезвычайной ситуации при разгерметизации резервуара с метаном является важной задачей для обеспечения безопасности производства и окружающей среды. Например, метан является высокоэнергетическим газом, который при



попадании в атмосферу может создать опасные ситуации, такие как пожары, взрывы и загрязнение окружающей среды.

Проведение расчёта риска позволяет определить наиболее вероятные сценарии возникновения чрезвычайной ситуации и разработать меры по их предотвращению или минимизации последствий. Это позволяет повысить безопасность персонала, оборудования и окружающей среды.

Процесс разрушения резервуара имеет достаточно сложный механизм. Наиболее нагруженный элемент конструкции – узел сопряжения стенки с днищем, который разрушается из-за радиальных усилий давления жидкости. При таком истечении обстоятельств наносится значительный ущерб экологии. Кроме того, при наличии источников зажигания или искрения существует высокая вероятность возникновения взрыва, что может привести к уничтожению или повреждению зданий и оборудования, а также к травмам и гибели людей.

Исследования в области расчёта риска при разгерметизации резервуара с метаном имеют важное значение для развития технологий безопасного хранения и транспортировки этого газа, что способствует улучшению экологической ситуации и предотвращению возможных чрезвычайных ситуаций.

В большинстве случаев чрезвычайные ситуации при разгерметизации резервуара вызываются нарушением технологии производства, правил эксплуатации резервуара, низкой трудовой и технологической дисциплиной, несоблюдением мер безопасности, отсутствием должного надзора за состоянием оборудования. На современных промышленных предприятиях и в быту часто используются пожаровзрывоопасные вещества, которые таят в себе риск возникновения чрезвычайной ситуации. В качестве примера такого вещества возьмем метан.

Метан – не имеющий запаха бесцветный газ; температура плавления  $-182,48$  °С, температура кипения  $-161,49$  °С, плотность  $0,415$  кг/м<sup>3</sup>; малорастворим в воде. Горит слабосветящимся пламенем, теплота сгорания  $56$  МДж/кг; с воздухом образует взрывоопасные смеси, что является причиной взрывов на угольных шахтах; температура самовоспламенения  $537,8$  °С. Нетоксичен. Метан взрывоопасен в воздухе при концентрации от  $4,4\%$  до  $17\%$ . Наиболее взрывоопасно при  $9,5\%$  [1].

Метан – основной компонент природных горючих, попутных нефтяных и рудничных газов; образуется при термической переработке нефти и нефтепродуктов, коксовании и гидрировании твёрдых горючих ископаемых. Его широко используют как бытовое и промышленное топливо и как сырьё для промышленности [2].

**Целью работы** является оценка риска возникновения чрезвычайной ситуации при разгерметизации резервуара с метаном.

Для расчета были взяты следующие исходные данные: Вместимость резервуара с метаном –  $110$  т., плотность размещения персонала на объекте: на открытой местности -  $0,0007$  чел/м<sup>2</sup>; в промышленном здании -  $0,2$  чел/м<sup>2</sup>; в административном здании -  $0,3$  чел/м<sup>2</sup>, площадь: промышленного здания -  $100$  м<sup>2</sup>; административного -  $100$  м<sup>2</sup>. Для упрощения расчета принимаем, что действие поражающих факторов источника ЧС не выходит за территорию объекта. Резервуар окружен технологическим оборудованием, размещенным с высокой плотностью.

В результате расчета было определено  $6$  зон ударной волны с определенными радиусами. Для каждой зоны рассчитали площадь зоны и количество пострадавших в этих зонах. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

## Результаты воздействия ударной волны

№ зоны	R, м.	S, м <sup>2</sup>	N, чел.
6	107,96	36597,84	25
5	123,95	11643,88	8
4	139,07	12487,35	6
3	175,08	35521,38	8
2	215,4	30653	1
1	247,3	46397,16	2
Общее число погибших:			50

Далее было определено количество пострадавших людей, пораженных ударной волной на открытой местности. При расчете получилось 3 человека. Таким образом, общее количество людей, пострадавших от ударной волны – 53 человека.

После этого было рассчитано количество пострадавших в результате теплового воздействия. Тепловой поток на поверхности огненного шара составит 200 кВт/м<sup>2</sup>.

Количество пострадавших от огненного шара – 31 человек. Общее число пострадавших в зонах от теплового потока – 5676 человек.

Для конечного результата рассчитываем общее количество людей, пострадавших в результате аварии. Для этого рассчитаем количество пострадавших в зонах совместного воздействия ударной волны и теплового потока. Количество пострадавших в этих зонах определяется на основе сложения вероятности гибели людей от двух поражающих факторов. Совместных зон вышло 8. Количество пострадавших в этих зонах в результате расчета – 858 человек. Общее количество пострадавших в результате аварии на пожаровзрывоопасном объекте – 934 человека.

Предотвращение возникновения чрезвычайной ситуации при разгерметизации резервуара с метаном требует строгого соблюдения мер безопасности и проведения специальных мероприятий. Например:

1. Регулярная проверка состояния резервуара;
2. Использование надежного оборудования;
3. Своевременное и качественное обучение персонала правилам безопасности;
4. Использование газоанализаторов;
5. Разработать план действий при чрезвычайной ситуации и обучить ему персонал;
6. Соблюдение правил хранения и использования метана.

Соблюдение этих мероприятий поможет минимизировать риски возникновения чрезвычайной ситуации при разгерметизации резервуара с метаном и обеспечить безопасность персонала и окружающей среде.

#### Литература и источники

1. ГОСТ 5542-2022. Газ природный промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия: дата введения 2023-01-01. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200183891>.

2. ГОСТ 33986-2016. Баллоны высокого давления для компримированного природного газа, используемого в качестве моторного топлива. Технические требования: дата введения 2018-02-01. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200145942>.

*Научный руководитель – к.т.н., доцент Амелькович Ю.А., ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»*

## РЕШЕНИЕ «В ЦЕЛОМ» ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ЭЙКОНАЛА

Кохась М.Е.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

kokhas01@mail.ru

**Аннотация:** Настоящая работа посвящается нелокальной разрешимости задачи Коши для уравнения эйконала. Уравнение эйконала – нелинейное дифференциальное уравнение с частными производными первого порядка. Встречается в задачах распространения волн, когда волновое уравнение аппроксимируется с помощью квазиклассического приближения. Уравнение эйконала - основное уравнение, описывающее поведение света в приближении геометрической оптики и потому лежат в основе всей геометрической оптики. Уравнение эйконала встречается также в задачах гидромеханики, моделирующих докритические течения газа с возможным достижением скорости звука, а также в механике твердого тела для расчета упруго-пластических деформаций.

Как известно, общая теория нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка гарантирует существование и единственность решения с данными на нехарактеристической кривой лишь в ее малой окрестности. В данной работе показано, что для нелинейного уравнения эйконала с двумя независимыми переменными решение задачи Коши может быть построено в «целом», если кривая с данными Коши удовлетворяет некоторым специальным условиям, например, представляет собой замкнутый выпуклый контур.

Задача поставлена на гладкой выпуклой кривой на плоскости переменных  $xOy$ , причем ее кривизна во всех точках не меньше некоторого положительного числа. Для данной кривой была рассмотрена специальная параметризация: в каждой точке кривой построена подвижная декартова система координат, образованная касательной в этой точке, направленная в сторону положительного обхода этой кривой и ее внутренней нормалью. Таким образом в качестве параметра выступает угол наклона касательной в точке кривой к оси  $Ox$ , отсчитываемый от ее положительного направления. Решение задачи получено в параметрической форме, позволяющей оценить «размеры» области определения решения.

**Ключевые слова:** нелинейное уравнение с частными производными, уравнение эйконала, задача Коши, нелокальная разрешимость.

В настоящей работе рассматривается задача, которая является частью более общих краевых задач со свободными границами, возникающими при моделировании докритических течений газа с возможным достижением скорости звука, а также в механике твердого тела для расчета упруго пластических деформаций [1].

Общая теория нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка гарантирует существование и единственность решения задачи Коши с данными на не характеристической кривой в ее малой окрестности [2-4]. В данной работе показано, что для нелинейного уравнения эйконала решение задачи Коши может быть построено в целом, если кривая с данными Коши удовлетворяет некоторым специальным ограничениям (представляет собой замкнутый выпуклый контур).

**Постановка задачи.** Пусть  $\Gamma$  - выпуклая гладкая кривая на плоскости переменных  $xOy$ , причем кривизна во всех точках  $\Gamma$  не меньше некоторого числа  $\chi_0 > 0$ . Рассмотрим специальную параметризацию этой кривой. Пусть  $R$  - произвольная точка  $\Gamma$ , и  $x_1Ry_1$  - подвижная декартова система координат, образованная касательной  $Rx_1$  к  $\Gamma$  в точке  $R$ , направленной в сторону положительного обхода  $\Gamma$  (рис. 1) и внутренней нормалью  $Ry_1$ . Пусть  $\beta$  обозначает углы наклона касательной  $Rx_1$  к оси  $Ox$ , отсчитываемый от последней. Предполагается, что начало координат  $O$  находится внутри области, ограниченной контуром  $\Gamma$ , и касательная к  $\Gamma$  в точке  $R_0$  ее пересечения с положительной полуосью  $Ox$  перпендикулярна к  $Ox$ .

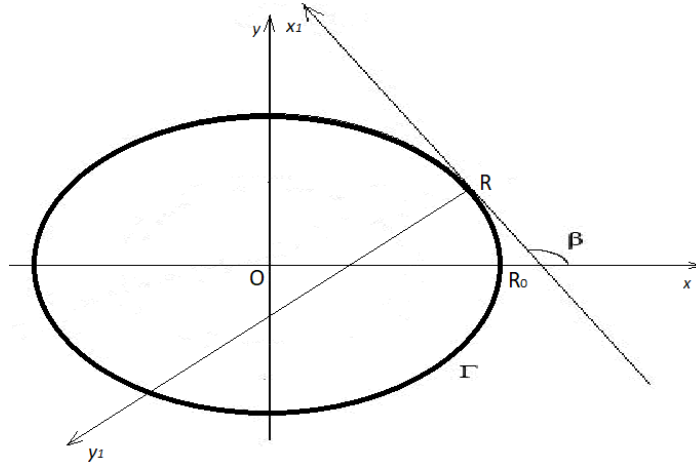


Рисунок 1.

В качестве параметра примем угол  $\beta$ ,  $\pi/2 \leq \beta \leq 5\pi/2$ . Значение  $\beta = \pi/2$  соответствует точке  $R_0$ . При указанных условиях уравнение кривой  $\Gamma$  можно представить в виде

$$\begin{cases} x_{\Gamma}(\beta) = \mu'(\beta) \cos \beta + \mu(\beta) \sin \beta, \\ y_{\Gamma}(\beta) = \mu'(\beta) \sin \beta - \mu(\beta) \cos \beta. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $\mu(\beta)$  - опорная функция контура  $\Gamma$ .  $\mu(\beta) > 0$  - расстояние от начала координат  $O$  до касательной к  $\Gamma$  в точке, соответствующей параметру  $\beta$ . Каждому  $\beta \in [\pi/2, 5\pi/2)$  соответствует по формулам (1) единственная точка  $R \in \Gamma$ . Радиус кривизны  $\Gamma$  выражается по формуле:

$$\rho(\beta) = \mu(\beta) + \mu''(\beta).$$

Предполагается, что  $\rho(\beta) \geq \rho_{\min} = \text{const} > 0$ .

Рассмотрим двухсвязную область  $B$ , ограниченную контуром  $\Gamma$ , заданным уравнением (1) и кусочно-гладкой кривой  $L$ , не имеющей с  $\Gamma$  общих точек (рис. 2).

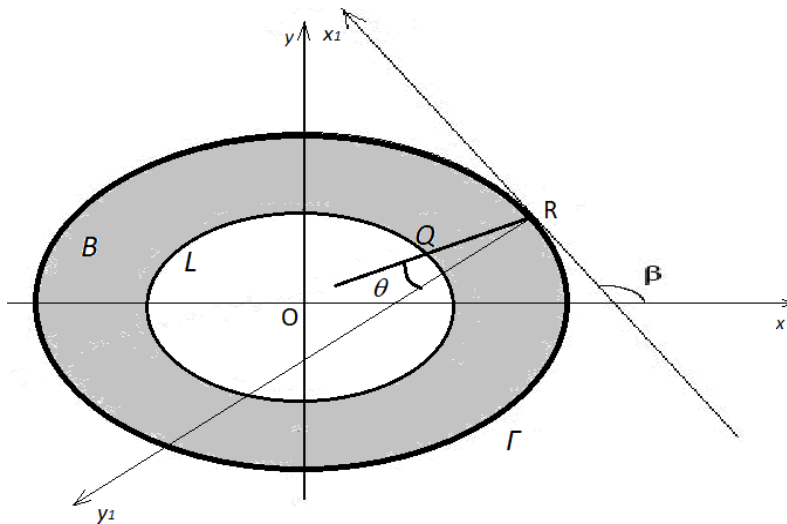


Рисунок 2.

**Задачей I.** назовем задачу определения непрерывно-дифференцируемой в области  $\bar{B} = \Gamma + B + L$  функции  $\psi(x, y)$  такой что:

$$\psi_x^2 + \psi_y^2 = a^2 \quad \text{в } B, \quad (2)$$

$$\psi|_{\Gamma} = v(\beta), \quad \nabla \psi \cdot \vec{n} > 0 \quad \text{на } \Gamma \quad (3)$$

где  $a = \text{const} > 0$ ,  $v(\beta)$  - заданная непрерывно дифференцируемая функция на промежутке  $[\pi/2, 5\pi/2)$ ,  $\bar{n}$  - единичный вектор внутренней нормали к  $\Gamma$ .

Сформулируем условие на контур  $L$ , гарантирующее существование единственного решения задачи I в классе  $C^2(\bar{B})$ .

**Условие А.** Пусть кривая  $L$ , лежащая в области  $D$  с границей  $\Gamma$  удовлетворяет следующим условиям:

а) Кривая  $L$  допускает параметрическое представление вида

$$\begin{cases} x_L(\beta) = x_\Gamma(\beta) + \frac{1}{a} \mu_1(\beta) N(\beta) \cos \beta - \frac{1}{a} \mu(\beta) N(\beta) \sin \beta, \\ y_L(\beta) = y_\Gamma(\beta) + \frac{1}{a} \mu_1(\beta) N(\beta) \sin \beta + \frac{1}{a} \mu(\beta) N(\beta) \cos \beta. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь  $x_\Gamma(\beta)$ ,  $y_\Gamma(\beta)$  определены в (1),

$$\mu(\beta) = a \cos \theta(\beta), \quad \mu_1^2(\beta) = a^2 \sin^2 \theta(\beta), \quad \mu_1(\beta) = \frac{v'(\beta)}{\rho(\beta)},$$

где  $0 \leq \theta(\beta) \leq \pi/2$  - периодическая функция с периодом  $2\pi$ , непрерывная на промежутке  $[\pi/2, 5\pi/2)$ .

б) Для любых двух различных значений угла  $\beta = \beta_1$  и  $\beta = \beta_2$  из промежутка  $[\pi/2, 5\pi/2)$  отрезки прямых  $R_1Q_1$  и  $R_2Q_2$  не имеют общих точек (рис. 2). Здесь точки  $R_i \in \Gamma$  соответствуют значениям  $\beta_i$  по формулам (1), а  $Q_i \in L$  соответствуют значениям  $\beta_i$  по формулам (4).

**Замечание.** Кривая  $L$ , удовлетворяющая условию А, является простой жордановой кривой, причем каждому значению угла  $\beta \in [\pi/2, 5\pi/2)$  отвечает по формулам (4) одна и только одна точка  $Q \in L$ ; при этом величина  $N(\beta)$  есть величина отрезка  $RQ$  вдоль прямой, составляющей угол  $\theta$  с нормалью  $Ry_1$  (рис. 2).

**Теорема.** Пусть внешняя граница  $\Gamma$  области  $B$  удовлетворяет указанным выше условиям, а внутренний контур  $L$  удовлетворяет условию А. Пусть для  $2\pi$ -периодической функции  $v(\beta)$  выполнено условие

$$|v'(\beta)| \leq a \cdot \rho(\beta) - \varepsilon, \quad \varepsilon > 0.$$

Тогда задача I имеет единственное решение, представимое в параметрическом виде формулами:

$$\begin{cases} x = \left( \mu'(\beta) + \frac{1}{a} \mu_1(\beta) u \right) \cos \beta + \left( \mu(\beta) - \frac{1}{a} \mu(\beta) u \right) \sin \beta, \\ y = \left( \mu'(\beta) + \frac{1}{a} \mu_1(\beta) u \right) \sin \beta - \left( \mu(\beta) - \frac{1}{a} \mu(\beta) u \right) \cos \beta, \\ \psi = v(\beta) + au; \end{cases}$$

где  $\beta \in [\pi/2, 5\pi/2)$ ,  $0 \leq u \leq N(\beta)$ .

### **Литература и источники**

1. Кучер Н.А. Краевые задачи механики неклассических сред: учеб. пособие. Кемерово: КГУ, 1987. 79 с.
2. Курант Р. Уравнения с частными производными. М.: Мир, 1964. 832 с.
3. Петровский И.Г. Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 208 с.
4. Полянин А.Д., Зайцев В.Ф., Журов А.И. Методы решения нелинейных уравнений математической физики. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 256 с.

*Научный руководитель - к.ф.-м.н., Жалнина А. А., ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

**Аннотация:** Современные образовательные технологии имеют значительный потенциал для применения, в качестве учебных инструментов. Они могут быть использованы в обучении учащихся различных возрастов и уровней. Эти технологии предоставляют доступ к образовательным материалам, проверке знаний, проведению тренингов и различным интерактивным урокам. Благодаря передовым технологиям, обучающие программы могут быть настроены под индивидуальные потребности и уровень знаний каждого студента. В данной статье рассматриваются преимущества по использованию обучающих систем. Выделены несколько систем дистанционного обучения, раскрыта их сущность. Даны такие понятия как: дистанционное обучение, онлайн-курс. Указано ключевое преимущество по использованию дистанционной образовательной платформы. Проведен анализ образовательных обучающих систем, на основе чего определена лучшая из перечисленных. При применении онлайн-курсов в процессе обучения математике было определено множество преимуществ. Описание практического применения программы iSpring Suite на занятиях по математике. Указаны встроенные функции данной программы, возможность подключать сторонние окна с сайтов. В статью внесен план по разработке онлайн-курса по дисциплине Математика для СПО, разделен на блоки по темам. Применение онлайн-курса в рамках занятий по математике позволило увеличить качественные показатели учащихся. После проведенного анкетирования были получены в большей степени положительные ответы, в частности это удобство использования учебных материалов для подготовки и самопроверки. Таким образом, современные системы онлайн-обучения имеют огромный потенциал для совершенствования процесса обучения и повышения его эффективности. Использование таких систем позволяет персонализировать учебный процесс, делая его более комфортным, интересным и результативным для каждого учащегося.

**Ключевые слова:** онлайн-курс, обучающие системы, математика, дистанционное обучение, образовательные платформы.

Современные образовательные технологии имеют значительный потенциал для применения, в качестве учебных инструментов. Они могут быть использованы в обучении учащихся различных возрастов и уровней. Эти технологии предоставляют доступ к образовательным материалам, проверке знаний, проведению тренингов и различным интерактивным урокам. Благодаря передовым технологиям, обучающие программы могут быть настроены под индивидуальные потребности и уровень знаний каждого студента.

**Целью работы** является сравнительный анализ современных систем дистанционного обучения и исследование опыта их использования.

Современное общество требует современных технологий. В настоящий момент ведутся разработки новых государственных информационных систем, и их реализация в образовательной деятельности. От 11 октября 2023 года постановлением правительства были утверждены правила применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ [4].

При использовании электронного обучения обучающийся должен самостоятельно выполнять задания, по индивидуальной программе, разработанной педагогом.

Дистанционное обучение – это осознанный шаг со стороны обучающегося, поскольку желание обучаться самостоятельно присуще не всем.

Одним из ключевых преимуществ дистанционных образовательных платформ является их доступность и простота использования. Ученики могут заниматься в любое время и в любом месте, независимо от расписания занятий. Кроме того, программа может автоматически контролировать прогресс обучения и давать обратную связь, также обучение может осуществляться совместно с зарубежными педагогами [5].

Рассмотри несколько систем дистанционного обучения:

1) iSpring Suite – лидер среди стран по использованию в системе дистанционного обучения. Данная надстройка понятна своим интерфейсом, проста в использовании. Содержит в себе множество интерактивных объектов: конструктор тестов, каталог, ассистент-педагог.

2) Skillspase – отечественная разработка для онлайн обучения. Позволяет выгружать учебные материалы. Так же к возможностям относятся: автоматическая проверка заданий пять типов вопросов, временное ограничение на прохождение заданий; встроенный онлайн чат; предоставление к курсам на время. Имеется мобильное приложение.

3) eTutorium – облачная система ДО. Данная программа обладает конструктором по сбору тестов, заданий, удобна в проведении вебинаров. Реализована мотивационная составляющая. Из недостатков – не поддерживаются SCORM пакеты.

4) Moodle – бесплатная система online обучения. Содержит в себе множество плагинов, расширяющих функционал. Имеется возможность добавления модулей, определения исполнителя, ограничения времени на выполнения задания.

Современные образовательные платформы – эффективное средство улучшения навыков и расширения знаний. С их помощью можно создать онлайн курс для проверки успеваемости обучающихся.

Стандартный набор функций обучающей системы разделяется на два режима: обучение (лекционный материал) и экзамен (контрольные точки), что присуще онлайн-курсу.

Онлайн-курс – это один из способов электронного обучения. Но не каждый электронный курс можно считать онлайн-курсом [2]. Вид обучения – это особенность учебной деятельности, связан с применением образовательных приемов. Однако онлайн-курс не является видом или формой обучения, это разновидность электронного или дистанционного обучения. Также в некоторых случаях такие курсы определяются как УМК.

Наиболее часто онлайн-курсы используются при массовом обучении, характерной чертой в таком случаи считается открытый доступ к учебным материалам [1].

Использование онлайн-курсов в обучении математике имеет множество преимуществ:

1) Разнообразие тем. На онлайн платформах в открытом доступе множество различных тем, от начала алгебры и до дифференцированных уравнений, что позволяет студентам выбрать курс в соответствии с их уровнем знаний и целями обучений;

2) Индивидуализация. Возможность изучения курсов в индивидуальном формате и режиме, с уклоном на интересующие темы;

3) Наглядное построение графиков и объёмных тел, что очень важно при решении геометрических задач [3].

Многие онлайн-курсы содержат в себе интерактивные задания, тесты и квизы, которые помогают разнообразить учебный процесс, сделать его более интересным и насыщенным. А автоматизация подсчета ответов укажет на «западающие» темы.

В организации образовательного процесса используются новые информационные технологии. В настоящий момент многие педагоги используют в своей работе интернет-сервисы не только в рамках дистанционного обучения, но также и в классическом представлении.

Ниже указаны причины выбора, наилучшей в работе, образовательной обучающей системы.

Skillspase – работа платформы осуществляется только через интернет. Есть ограничение по количеству учеников, что не подходит для полных групп в составе 25-30 человек. Нет возможности делиться курсами с коллегами. Исходя из ранее перечисленного на практике платформа реализовала себя не в полной мере.

Платформа Moodle это совокупность курсов, закрепленных за группами и педагогами. Самостоятельно педагог не может добавить учащегося, что делает ее доступной не в полной мере. Перечень предлагаемых ресурсов (тест, страница, файл и т.д.) не всегда позволяет реализовать творческую задумку педагога.

eTutorium работает только при использовании сервиса VPN, что не удобно как для педагогов, так и для учащихся.



Наиболее удобной в работе стала платформа iSpring Suite. Педагоги в своей работе используют презентации, для лучшего понимания и усвоения учебного материала. Настройка iSpring Suite в Power Point дает возможность оживить готовую разработку, сделать ее динамичной и интерактивной.

В настройках раздела «Интерактивность» большой перечень предлагаемых вариантов, использование которых помогает сделать курс интересным и насыщенным для студентов (Рис. 1).

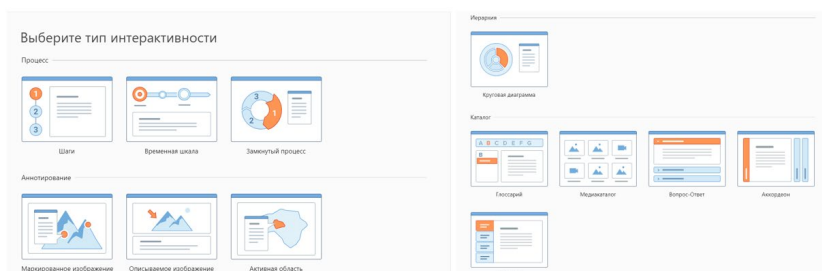


Рисунок 1. «Новая интерактивность»

Так же в презентации с iSpring Suite можно добавить Web-объекты. Так, например в презентацию удобно встраивается Web-страница с «подвижным» чертежом из GeoGebra (Рис.2).

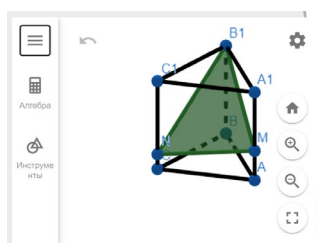


Рисунок 2 Интерактивный чертеж

Включение игровых моментов в образовательном процессе с iSpring Suite позволяет разнообразить занятие, побудив у учащихся мотивацию к обучению.

На данный момент ведется разработка курса по дисциплине «Математика» для студентов СПО. Курс будет состоять из нескольких файлов, которые разделены между собой по разделам:

- 4) Повторение курса математики основной школы;
- 5) Степени и корни. Степенная, показательная и логарифмическая функции;
- 6) Элементы теории вероятностей и математической статистики;
- 7) Прямые и плоскости в пространстве. Координаты и векторы в пространстве;
- 8) Многогранники и тела вращения;
- 9) Основы тригонометрии. Тригонометрические функции;
- 10) Производная и первообразная функции.

При использовании презентаций, на дисциплине Математика, составленных с помощью iSpring Suite качественные показатели знаний учащихся возросли, что означает увеличение мотивационной составляющей, а также продуктивную работу на занятии. Также учащиеся, отсутствующие по какой-либо причине, на занятии, смогли самостоятельно изучить материалы и закрепить полученные знания с помощью интерактивности в виде теста, что позволило им не отстать от одногруппников и показать хорошие результаты на контрольном срезе.

Данный подход был использован на лекционных занятиях, в качестве материалов для повторения на дом. В качестве домашнего задания студенты выполняли интерактивные задания из курса, самостоятельно отслеживая собственную готовность к дальнейшим занятиям.

Ответы, полученные при проведении анкетирования по теме «Использование электронного курса на занятии», среди студентов 1 курса: «интересный формат занятия», «удобно для самостоятельной подготовки», «удобные тесты».

Вышеперечисленное позволяет сделать вывод, что применение данной обучающей системы наиболее удобно, как в качестве совместного использования с педагогом, так и для самостоятельного обучения.

Таким образом, современные системы онлайн-обучения имеют огромный потенциал для совершенствования процесса обучения и повышения его эффективности. Использование таких систем позволяет персонализировать учебный процесс, делая его более комфортным, интересным и результативным для каждого учащегося.

#### **Литература и источники**

1. Гречушкина, Н. В. Онлайн-курс: определение и классификация [Текст] / Н. В. Гречушкина // высшее образование в России. — 2018. — № 6. — С. 125-134.

2. Коннова, Л. П., Липагина, Л. В., Постовалова, Г. А., Рылов, А. А., Степанян, И. К. Развитие науки в эпоху цифровизации: проблемы, тенденции, прогнозы [Текст] / Л. П. Коннова, Л. В. Липагина, Г. А. Постовалова, А. А. Рылов, И. К. Степанян. — Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2019 — 5-50 с.

3. Постников, С. Н. Подходы к оценке онлайн-курса при реализации образовательных программ в дистанционной форме [Текст] / С. Н. Постников // Материалы научно-методической конференции СЗИУ РАНХИГС. — 2022. — № 1. — С. 105-112.

4. Приказ Минобрнауки РФ от 19.05.2022 №137 «О признании утратившим силу приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 23 августа 2017 г. N 816 "Об утверждении Порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ"» (Приказ Минобрнауки РФ №465, Минпросвещения РФ №343).

5. Хачатурова, С. С. Обучающие системы в образовании [Текст] / С. С. Хачатурова // Международный журнал экспериментального образования. — 2017. — № 3. — С. 188-189. *Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор. Смоленцев Н.К., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

**КОМБИНИРОВАННЫЙ БЛОЧНЫЙ АЛГОРИТМ ШИФРОВАНИЯ С ОТКРЫТЫМ КЛЮЧОМ НА БАЗЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ***Кутовая А.С., Сергеева О.А.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[askutovaia0010@mail.ru](mailto:askutovaia0010@mail.ru), [okoin@yandex.ru](mailto:okoin@yandex.ru)

**Аннотация:** В работе представлен комбинированный вариант блочного эллиптического шифрования. Для комбинирования с целью повышения криптостойкости в представленном алгоритме были выбраны: ключевой обмен с идеей Диффи-Хеллмана, рекуррентная формула и гаммирование с точками эллиптической кривой, блочные элементы и матричные преобразования Хилла. Используемый обмен ключами является представителем асимметричной криптографии, что позволяет избежать передачи ключа по секретному каналу и обеспечивает высокую криптостойкость системы сложностью решения задачи дискретного логарифмирования. Гаммирование позволяет скрыть истинную частоту встречаемости символов открытого текста, а шифр Хилла позволяет использовать блочную матричную реализацию для точек эллиптической кривой и тем самым скрывает возможные уязвимые места гаммирования. Блоками в разработанном шифре выступают аналоги числовых биграмм – матрицы  $2 \times 2$ , составленные из координат точек эллиптической кривой. Кроме этого, гамма-последовательность также разбивает текст на блоки равные ее длине. Сочетание различных методов шифрования позволяет обеспечить комплексный подход к решению вопроса безопасности защищаемой информации и повышает эффективность криптосистем при подходящем выборе входных параметров. Одной из ключевых особенностей комбинированных алгоритмов является их способность объединять различные методы шифрования для повышения уровня безопасности. Такой подход позволяет снизить уязвимости, связанные с каждым из методов в отдельности. Главным достоинством комбинированных блочных криптографических алгоритмов является их способность обеспечить многоуровневую защиту текстовых данных, что даже при условии взлома одного из используемых методов, позволяет сохранить конфиденциальность защищаемых текстовых данных.

**Ключевые слова:** криптоалгоритм, шифрование, комбинированные криптоалгоритмы, открытый ключ, эллиптическая кривая, гаммирование, шифр Хилла.

В современном мире, где объем цифровых данных растет с каждым днем, а информация становится все более ценным ресурсом, важным является защита информации от несанкционированного доступа. Криптография лежит в основе защиты данных, обеспечивая их конфиденциальность, целостность и доступность только для тех, кому это разрешено.

Актуальность комбинированных методов защиты информации высока, поскольку современные информационные системы сталкиваются с широким спектром угроз, требующих комплексного подхода к обеспечению безопасности. Комбинированные блочные криптографические алгоритмы представляют собой методы шифрования, которые объединяют в себе различные подходы к защите данных.

Одной из ключевых особенностей комбинированных алгоритмов является их способность объединять различные методы шифрования для повышения уровня безопасности. Например, можно комбинировать алгоритмы с симметричным и асимметричным шифрованием. Такой подход позволяет снизить уязвимости, связанные с каждым из методов в отдельности.

Блочные криптографические алгоритмы работают с текстовыми данными путем разбиения их на блоки фиксированного размера, которые затем преобразуются при шифровании. Стоит отметить важное преимущество блочного шифрования перед поточным – оно позволяет скрыть входящие в блок исходные элементы и их частоту встречаемости.

Главным достоинством комбинированных блочных криптографических алгоритмов является их способность обеспечить многоуровневую защиту текстовых данных, что даже при условии взлома одного из используемых методов, позволяет сохранить конфиденциальность защищаемых данных.

Таким образом, была поставлена цель: *разработка комбинированного блочного криптографического алгоритма с возможностью применения эллиптических кривых.*

Рассмотрим основные этапы данного алгоритма.

Алгоритм обмена ключом. Для шифрования и дешифрования текстового сообщения генерируется общий секретный ключ пользователей на основе их личных открытых и секретных ключей. Общий секретный ключ пользователей будут представлять два элемента: числовая гамма-последовательность  $\Gamma$  и ключ-матрица  $K$ . Параметры используемой эллиптической кривой  $E_p(a, b)$  ( $p$ -простое число,  $G$  – генерирующая точка) и длина  $2n$  гамма-последовательности могут быть общедоступной информацией или быть переданы от одного пользователя другому в зашифрованном виде.

Для того, чтобы задать гамма-последовательность максимально возможной длины для гаммирования открытого текста и при этом ограничиться минимальным количеством входных данных, воспользуемся рекуррентной формулой для вычисления всех гамма-значений.

Официальные пользователи системы (далее напарники), каждый в отдельности, выбирают свой личный секретный ключ – последовательность из двух чисел  $(s_1, s_2)$ . При помощи генерирующей точки  $G$  и своих секретных чисел они находят упорядоченную пару точек  $(B_1, B_2)$  – свой открытый ключ и выкладывают его в общий доступ. Узнав открытый ключ своего напарника, каждый пользователь независимо от другого вычисляет две точки  $P_1$  и  $P_2$  эллиптической кривой по формулам:

$$P_1 = s_1 \cdot B_1, P_2 = s_2 \cdot B_2,$$

где  $B = (B_1, B_2)$  – упорядоченная пара открытого ключа пользователя-напарника,  $S = (s_1, s_2)$  – личный секретный ключ самого пользователя. Последующие точки, необходимые для формирования общего секретного ключа, пользователи получают, применяя рекуррентную формулу по двум первым точкам  $P_1$  и  $P_2$  эллиптической кривой  $E_p(a, b)$ . Например, рекуррентная формула может иметь вид:

$$P_{i+2} = n \cdot P_i + P_{i+1}$$

где  $i = 1, \dots, n$ ;  $n$  – общее количество точек  $P_i \in E_p(a, b)$ , не равное порядку эллиптической кривой  $E_p(a, b)$  по простому модулю  $p$ . Применение рекуррентной формулы позволяет получить общую для напарников секретную последовательность из  $n$  точек  $\{P_i\}_{i=1}^n$  кривой  $E_p(a, b)$ . Входные точки  $P_1$  и  $P_2$  рекуррентной формулы являются частью полученной последовательности и на основе именно этих двух точек построено формирование общей для напарников ключ-матрица  $K$  размером  $2 \times 2$ .

Таким образом, на основе общей секретной последовательности точек эллиптической кривой  $\{P_i\}_{i=1}^n$ ,  $P_i = (x_i, y_i) \in E_p(a, b)$ , будут сгенерированы общие секретные ключи напарников, представленные ключ-матрицей  $K = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{pmatrix}$  размером  $2 \times 2$  и числовой гамма-последовательностью  $\Gamma = x_1 y_1 x_2 y_2 \dots x_n y_n$  длиной  $2n$ .

Алгоритм шифрования. Символам открытого текста ставим в соответствие точки эллиптической кривой  $E_p(a, b)$ . Получаем кодировочную последовательность пар числовых эквивалентов для открытого текста. Далее шифрование выполняем в два последовательных этапа:

1. На полученную последовательность точек накладывается гамма-последовательность  $\Gamma$ . Каждый элемент гамма-последовательности будет определять кратность соответствующей ему точки эллиптической кривой, поэтому после наложения производим гаммирование, то

есть перемножаем точки с элементами гамма-последовательности. В итоге получаем последовательность точек эллиптической кривой  $P_\gamma$  – промежуточный шифр.

Стоит отметить, что при гаммировании на первом этапе в виду особенностей эллиптической кривой возможно повторение некоторых точек и даже сохранение отдельных исходных точек неизменными. Поэтому следующим этапом шифрования был выбран матричный способ с использованием блоков (биграмм), который позволяет скрыть следы всех исходных значений, так как работает по правилу: каждый символ в блоке вносит вклад в шифрование других символов в этом же блоке.

2. Составляем биграммы из точек последовательности  $P_\gamma$ , формируя последовательность матриц  $2 \times 2$ . Если точек было нечетное количество в конец добавляем первую букву сообщения, чтобы получилось составить матричную бигramму. После этого каждую матрицу последовательности перемножаем по модулю  $p$  с ключ-матрицей  $K$ , образуя новую последовательность матриц по аналогии с методом Хилла. В итоге получаем последовательность матриц  $S$  и передаём ее напарнику.

Алгоритм расшифрования. Напарник получает шифр  $S$  в виде последовательности матриц. Для возможности расшифрования полученного сообщения ему необходимо найти обратную матрицу по модулю  $p$  к ключ-матрице  $K$  и обратные значения к элементам гамма-последовательности  $\Gamma$ . Его действия:

1. Вычисляет матрицу  $K^{-1}$  – обратную по модулю  $p$  к ключ-матрице  $K$  и числовую последовательность  $\Gamma^{-1}$ , состоящую из обратных значений по модулю  $N$  для элементов гамма-последовательности.
2. Перемножает шифр-матрицы на обратную ключ-матрицу  $K^{-1}$  и получает последовательность матриц – биграмм. Далее разбивает их на части, каждая строка – это упорядоченная пара координат точек кривой. Восстанавливает последовательность точек промежуточного шифра  $P_\gamma$ .
3. Затем накладывает обратную гамма-последовательность  $\Gamma^{-1}$  на полученную последовательность точек  $P_\gamma$  и производит гаммирование. В итоге получает последовательность точек эллиптической кривой, которым ставит в соответствие символы алфавита и восстанавливает исходный открытый текст. Если в тексте сообщения было нечетное количество символов, то после расшифрования последняя буква окажется лишней, так как при шифровании ее добавляли в конец для формирования последней биграммы.

Таким образом, в ходе исследования был разработан комбинированный блочный криптографический алгоритм с использованием точек эллиптических кривых.

Для комбинирования с целью повышения криптостойкости в представленном алгоритме были выбраны: ключевой обмен с идеей Диффи-Хеллмана, рекуррентная формула и гаммирование с точками эллиптической кривой, блочные элементы и матричные преобразования Хилла. Используемый обмен ключами является представителем асимметричной криптографии, что позволяет избежать передачи ключа по секретному каналу и обеспечивает высокую криптостойкость системы сложностью решения задачи дискретного логарифмирования. Гаммирование позволяет скрыть истинную частоту встречаемости символов открытого текста, а шифр Хилла позволяет использовать блочную матричную реализацию для точек эллиптической кривой и тем самым скрывает возможные уязвимые места гаммирования (каждый символ в блоке вносит вклад в шифрование других символов в этом же блоке). Блоками в разработанном шифре выступают аналоги числовых биграмм – матрицы  $2 \times 2$ , составленные из координат точек эллиптической кривой. Кроме этого, гамма-последовательность также разбивает текст на блоки равные ее длине.

В заключение отметим, что комбинированные блочные криптоалгоритмы с использованием эллиптических кривых представляют собой перспективное направление в области криптографии, которое сочетает в себе преимущества традиционных блочных алгоритмов и возможности эллиптических кривых. Дальнейшее развитие и исследование

комбинированных блочных криптографических алгоритмов с использованием эллиптических кривых может привести к созданию высоко эффективных и безопасных методов защиты информации.

#### **Литература и источники**

1. Кутовая А. С. Матричные алгоритмы криптографической защиты информации // *Фундаментальные и прикладные исследования в физике, математике и информатике: XVII (XLIX) Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей»*. - Кемерово: КемГУ, 2022. - С. 171–174.
2. Сергеева О.А., Кутовая А.С. Основы криптографии: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / О.А. Сергеева., А.С. Кутовая – Кемерово: Кемеровский государственный университет. – Текстовое электронное издание (объем 2,26 Мб), 2024, № госрегистрации 0322400576.
3. Фороузан Б.А. Криптография и безопасность сетей: Учебное пособие. / Б.А. Фороузан; Пер. с англ. Под ред. А.Н. Берлина. – Москва: Интернет-Университет Информационных технологий: БИНОМ, 2010. – 784 с.
4. Эллиптические кривые и их применение в криптографии: учеб. пособие / Жданов О.Н., Чалкин В.А. – Красноярск: СибГАУ, 2011. — 65 с.

*Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Сергеева О.А., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВТОРИЧНОГО ТЕЧЕНИЯ В АРТЕРИЯХ С ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗВИТОСТЬЮ***Малеев Д. А.<sup>1</sup>, Хетеева Э.Э.<sup>2</sup>*

- ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

2 - ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России

DtIsFox@mail.ru, elina.kheteeva@mail.ru

**Аннотация:** Патологическая извитость внутренней сонной артерии – это одна из наиболее часто встречающихся причин нарушений кровоснабжения головного мозга, приводящих к тяжёлым последствиям, таким как инсульт. На участках патологической извитости наряду с поступательным движением крови вдоль осевой линии артерии возникает значительный процент так называемого вторичного течения в плоскостях поперечных сечений. Наличие вторичного течения влияет на распределение гемодинамических показателей на стенке сосуда, которые связывают с рисковыми факторами различного рода нарушений мозгового кровообращения, и поэтому его изучение представляет собой актуальную задачу. Цель работы – исследование характеристик вторичного течения в нормальной и патологических моделях внутренней сонной артерии. Геометрические модели строились на основании данных компьютерной ангиографии пациентов. Численные расчеты в построенных геометрических моделях осуществлялись методами вычислительной гидродинамики. Стенки сосудов предполагались жёсткими. Моделировалось установившееся периодическое течение, вызванное периодическим изменением объёмной скорости на входе сосуда. Зависимость объёмной скорости течения на входном сечении задавалась в соответствии с данным доплерографии здорового человека. По результатам численных расчетов методом постпроцессинга вычислялись поля вторичного течения в ортогональных сечениях, расположенных в различных областях сосудов. Исследовались его качественные характеристики – сравнивалась топологическая структура поля вторичного течения в различных ортогональных сечениях в различные моменты времени, строились фазовые портреты. Вычислялись интегральные значения доли вторичного течения в общем потоке эти данные сравнивались как между различными течениями, так и для различных фаз сердечного цикла.

**Ключевые слова:** численное моделирование кровотока, пристеночное напряжение сдвига, гемодинамика, вторичное течение, патологическая извитость артерий

Внутренние сонные артерии (ВСА) – это две основные артерии, ответственные за кровоснабжение головного мозга, и нарушение кровотока в ВСА может служить причиной таких тяжёлых последствий как инсульт. Второй (после атеросклеротического поражения) по важности причиной таких нарушений является патологическая извитость ВСА [1] связанная с удлинением артерии и, как следствие образованием на ней петель, резких изгибов и закручиваний. В результате структура потока усложняется и наряду с поступательным движением крови вдоль осевой линии артерии возникает существенный процент так называемого вторичного течения в плоскостях поперечных сечений.

Цель работы – исследование методами вычислительной гидродинамики характеристик вторичного течения в персонально-специфических моделях ВСА со слабой и патологической извитостями.

На основании данных КТ обследования группы пациентов, в приложении SimVascular [2] строились геометрические модели кровеносных сосудов. Построенные модели представляют собой отрезки сонных артерий, включающие дистальный участок общей сонной артерии (ОСА), бифуркацию, проксимальный участок наружной сонной артерии (НСА) и участок ВСА до её вхождения в наружное отверстие сонного канала. Определялись участки извитости артерий, проводилась их классификация, вычислялись геометрические характеристики, такие как площади ортогональных сечений, углы разворота потока, общее удлинение артерии. Численные расчеты кровотока методом конечных элементов также



осуществлялись в SimVascular. Течение описывалось нестационарными трехмерными уравнениями Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Кровь считалась ньютоновской жидкостью с плотностью  $1060 \text{ кг/м}^3$  и динамической вязкостью  $4.0\text{e-}3 \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ . Стенки сосуда считались жёсткими и на них ставилось условие непротекания. Моделировалось установившееся периодическое течение, вызванное периодическим изменяющейся объёмной скоростью течения на входном сечении (ОСА). Форма пульсовой кривой выбиралась на основании литературных источников [3]. На выходных сечениях (НСА и ВСА) ставились трёхкомпонентные условия RCR, описывающие сопротивление последующей сосудистой сети.

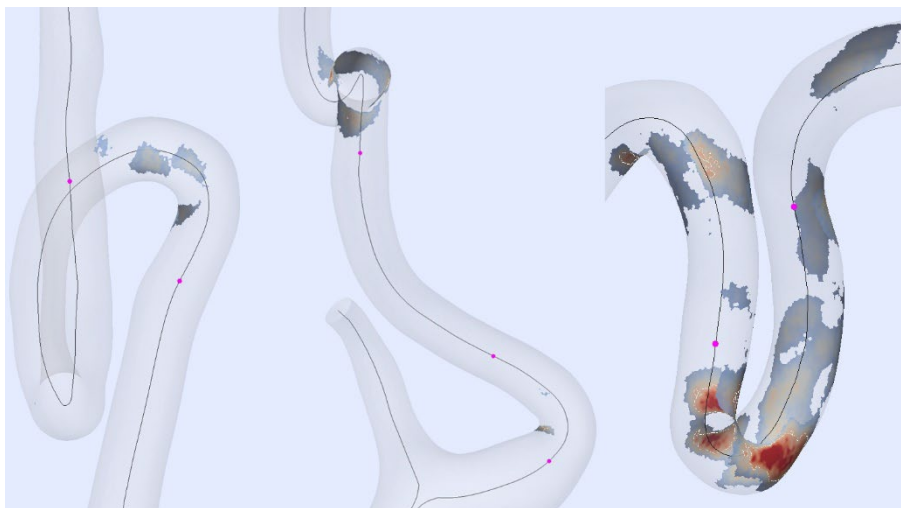


Рисунок 1. Патологически извитые ВСА с критическими зонами гемодинамического показателя WSS

По результатам численных расчётов методом постпроцессинга анализировалось распределение гемодинамического показателя пристеночного напряжения сдвига WSS (Wall Shear Stress). На рисунке 1 изображены патологически извитые артерии с критическими зонами, соответствующими значениям  $WSS > 15 \text{ Па}$  [4]. Для постпроцессинга и анализа результатов расчётов, использовалось приложение [5]. На стенках сосудов строились критические зоны гемодинамических показателей, связанных с WSS [6] и изучались характеристики вторичного течения в окрестностях этих зон и вне их. Критические зоны, изображённые на рисунке 1 существуют по времени в области систолического максимума скорости кровотока. Вторичное течение рассчитывалось как проекция вектора скорости течения на ортогональные сечения сосуда. Для анализа качественных характеристик вторичного течения строились фазовые портреты его траекторий в различные фазы сердечного цикла (см. рисунки 2, 3).

На рисунке 2в изображены два ортогональных сечения модели со слабой извитостью. На рисунках 2а и 2б приведены фазовые портреты поля скоростей вторичного течения в сечениях «а» и «б», соответственно. При этом рисунки «а» соответствует пику систолической фазы сердечного цикла, а рисунки «б» – области систолического спада скорости.



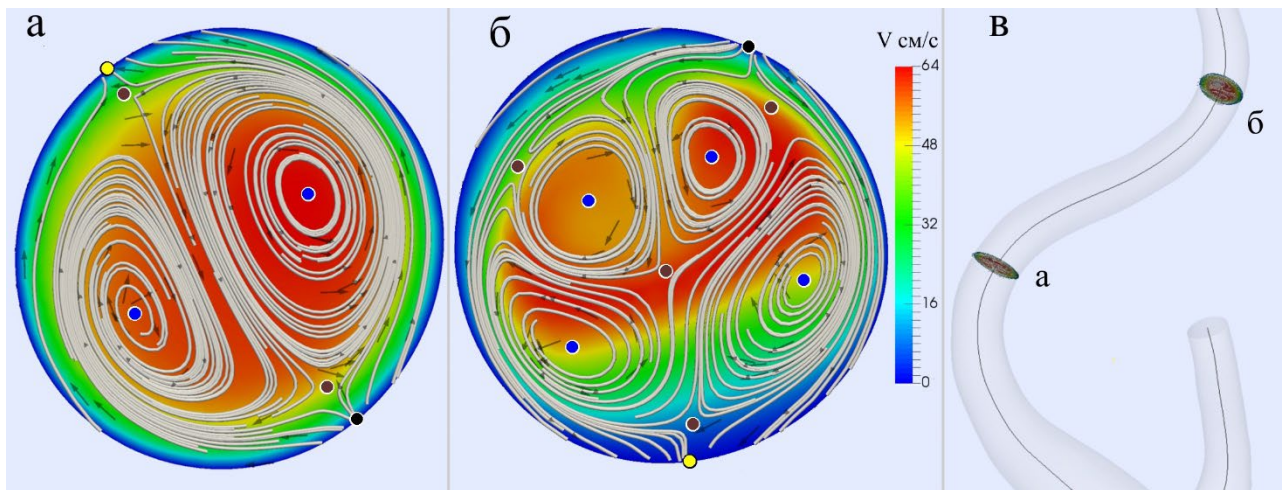


Рисунок 2. а) фазовый портрет сечения «а» в окрестности пика скорости, б) фазовый портрет сечения «б» на спаде скорости, в) слабо извитая модель с сечениями «а», «б»

На рисунке 3 приведены аналогичные изображения для сосуда с патологической извитостью. Рисунки 3а и 3б также соответствуют пику и спаду скорости.

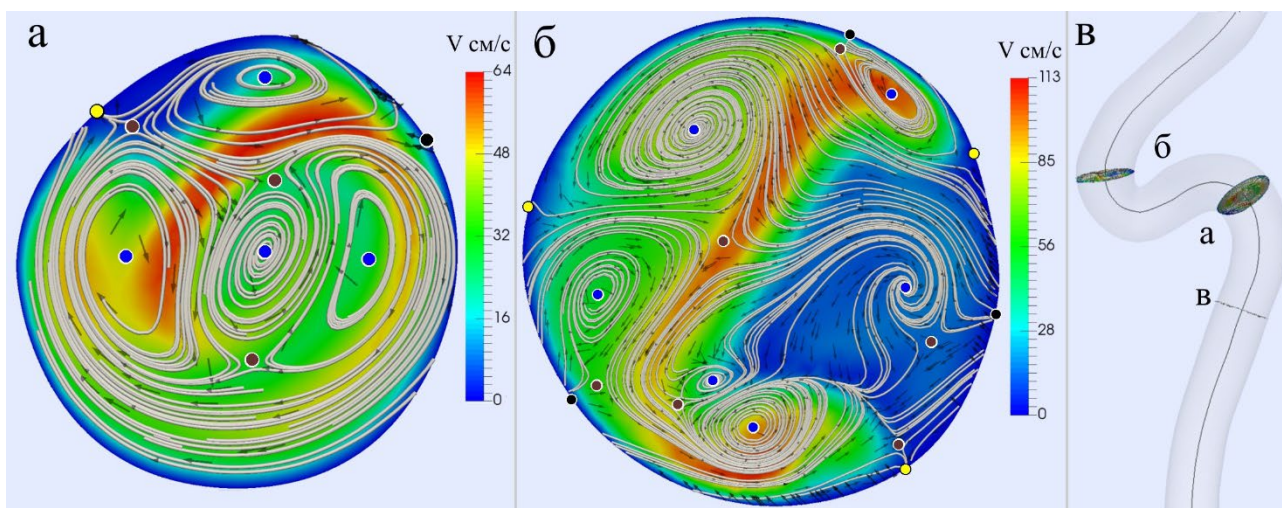


Рисунок 3. а) фазовый портрет сечения «а» на пике скорости, б) фазовый портрет сечения «б» на спаде скорости, в) патологически извитая модель с сечениями «а», «б», «в»

По периметру сечений на рисунках отмечены неустойчивые (чёрные) и устойчивые (жёлтые) точки покоя одномерного течения вдоль периметра. Синими и коричневыми точками соответственно, отмечены фокусы и седла двумерного поля вторичного течения. Стрелки указывают направление вектора вторичного течения, белые линии – это фазовые траектории поля скоростей вторичного течения. Градацией цвета от синего к красному обозначается величина полной скорости потока в точках сечения, в соответствии с приведённой цветовой шкалой. Отметим, что топологическая структура фазового пространства, приведённая на рисунке 2а соответствует классическим вихрям Дина в изогнутой трубе, она сохраняется для сечения 2а на протяжении всего сердечного цикла.

Как легко заметить, рисунки 3а и 2б топологически эквивалентны, причём для этих сечений такая структура и близкие к ней существуют только на систолическом спаде скорости. В диастолической фазе и в фазе систолического роста топологическая структура сечения 3а соответствует рисунку 2а.

На рисунке 3б изображён пример фазового портрета, вторичного течения в одноимённом сечении в первой трети систолического спада скорости. В этом сечении топологическая структура вторичного течения нестабильна, она постоянно меняется, и принимает некоторую стабильную форму только в конце диастолической фазы. Строились, также фазовые портреты для сечения 3в. Топологическая структура вторичного течения для этого сечения при всех значениях времени соответствует рисунку 2а.

Для оценки значимости фактора вторичного течения вычислялись процентные отношения  $V_s$  интегральных значений модуля скорости вторичного течения к интегральным значениям модуля полной скорости потока для различных моментов времени. Установлено, что минимальные значения  $V_s$  достигаются на стадии систолического роста скорости, максимальные – в окрестности систолического пика скорости. Показатель  $V_s$  в диастолической фазе несколько меньше значений  $V_s$  в систолической фазе, при этом в диастолической фазе он значительно более стабилен. В таблице 1 приведены максимальные значения  $V_s$  в систолической и диастолической фазах и минимальные значения на стадии систолического роста скорости.

Таблица 1

Максимальные и минимальные значения $V_s$					
	2 а	2 б	3 а	3 б	3 в
$V_s$ sist max	16.0%	12.4%	44.6%	37,6%	15.0%
$V_s$ sist min	9.4%	4.6%	26.7%	26.7%	6.5%
$V_s$ diast max	17.0%	12.3%	41.4%	31.4%	11.1%

### Литература и источники

1. Э.Э. Хетеева, Э.Р. Виноградова, Е.И. Зяблова, М.А. Мирзаева, В.П. Дербилова «Индекс извитости внутренней сонной артерии, как возможный предиктор инсульта». Журнал Диагностическая и интервенционная радиология. 2023; 17(2); 6-12.
2. Updegrove 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. 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.
4. Клышников, К. Ю. Моделирование гемодинамики сосудистых протезов «КемАнгипротез» in silico / К.Ю. Клышников, Е.А. Овчаренко, В.Г. Борисов, И.Н. Сизова, Н.Н. Бурков, А.В. Батрагин, Ю.А. Кудрявцева, Ю.Н. Захаров, Ю.И. Шокин // Мат. биол. и биоинф. – 2017. Т. 12, № 3. – С. 559-569, doi: 10.17537/2017.12.559.
5. Ayachit U., The ParaView Guide: A parallel visualization application. Kitware. 2015. ISBN 978-1930934306.
6. Borisov V.G., Zakharov Y.N., Vinogradov R.A., Derbilova V.P., Ivanova N.V. Mathematical modeling in assessing the risk of restenosis after carotid endarterectomy // Biomedical Physics and Engineering. 2024, 10(3), 035011.

*Научный руководитель - к.ф.-м.н., доцент Борисов В. Г. ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

**РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ КОНТЕНТОМ***Маслобоев И.А.*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»  
co4hbiu54@gmail.ru

**Аннотация:** Дистанционное образование активно развивается и адаптируется к современным технологическим и социальным реалиям. Важность этого направления возросла в последние годы, охватывая не только школьное образование, но и обучение в высших учебных заведениях, колледжах, техникумах, а также в сфере дополнительного образования и репетиторства. В первой части статьи рассмотрено понятие «Дистанционное обучение», разобрана актуальность и показана роль дистанционного обучения в школьном образовании, в колледжах, техникумах, вузах, а также частном преподавании. Во второй части был проведен анализ самых популярных систем для ведения дистанционного обучения, рассмотрен их функционал, а также сильные и слабые стороны каждой системы. В третьей части была рассмотрена проблематика использования стандартных средств дистанционного обучения, при ведении образовательной деятельности. В четвертой части на основе опроса была приведена идея создания гибкой образовательной платформы и необходимые возможности для расширения функционала стандартных средств дистанционного обучения через самостоятельную разработку; выдвинуты необходимые требования к внутренней структуре платформы, показаны преимущества использования индивидуальной разработки в рамках расширения функционала относительно стандартных средств дистанционного обучения. В пятой части представлены технологические и программные решения, необходимые для разработки и настройки платформы дистанционного обучения, включающие в себя фронтенд-разработку, бэкенд-разработку, базы данных, прочие необходимые технологии, а также инструменты для адаптации учебных материалов. В заключении представлены выводы по индивидуальной разработке образовательной платформы, а также показаны перспективы развития индивидуальных решений в дистанционном образовании.

**Ключевые слова:** Дистанционное обучение, разработка, плагины, интеграция, Python, JavaScript.

Дистанционное обучение (ДО) – это процесс получения знаний, при котором учитель и ученик физически не находятся в одном месте. Это значит, что весь процесс обучения проходит удаленно – на дистанции.

Актуальность и популярность ДО в последние 5 лет обусловлена различными факторами:

- **Цифровизация:** современные технологии становятся все более доступны обычным людям, повсеместно применяются технологические новинки, позволяющие упростить человеческий быт.

- **Индивидуализация обучения:** ДО дает возможность адаптировать образовательный процесс под потребности и возможности каждого отдельного ученика.

- **Гибкость:** ДО позволяет совмещать процесс обучения с повседневной деятельностью, не привязывает ученика к конкретному месту, позволяя учиться «из любой точки мира»

- **Доступность:** ДО требует от ученика лишь персональное устройство с доступом в интернет.

- **Развитие индивидуальных навыков:** ДО способствует развитию навыков самоорганизации, тайм-менеджмента, цифровой грамотности и самостоятельного обучения.

[1]

Роль дистанционного образования:

- Школьное образование: ДО применяется для организации обучения детей с ограниченными возможностями здоровья, детей, проживающих в отдаленных районах, а также для реализации индивидуальных образовательных траекторий.

- Дополнительное образование: ДО расширяет доступ к кружкам, секциям, курсам по интересам для детей и взрослых.

- Репетиторство: ДО позволяет репетиторам работать с учениками из разных городов и стран, оптимизируя время и ресурсы.

- Колледжи, техникумы, вузы: ДО используется для реализации программ среднего профессионального и высшего образования, включая проведение лекций, семинаров, практических занятий, а также промежуточной и итоговой аттестации.

Зачастую, ведение дистанционного обучения осуществляется через соответствующие сервисы. Каждый из них представляет не только своё виденье проведения занятий, но и различный внутренний функционал. Рассмотрим некоторые из них:

1. Zoom: Сервис видеоконференций, позволяющий проводить онлайн-занятия, вебинары, групповые проекты и индивидуальные консультации. Функционал: демонстрация экрана, чат, запись сессий, виртуальные фоны.

2. Google Classroom: Платформа для организации учебного процесса, включающая инструменты для создания заданий, проверки работ, общения с учениками, хранения материалов. Интегрируется с другими сервисами Google.

3. Moodle: Система управления обучением с открытым исходным кодом. Позволяет создавать курсы, тесты, опросы, форумы, вести журнал успеваемости. Гибкая настройка и широкие возможности для адаптации под конкретные задачи.

4. Различные сервисы онлайн-образования: Платформы онлайн-образования, предлагающие курсы от ведущих университетов и компаний мира. Разнообразный контент, интерактивные задания, сертификаты об окончании курсов. [2]

Для того, чтобы в полной мере покрыть потребности применения дистанционного образования, необходимо понимать требования педагогического сообщества к электронным образовательным ресурсам:

- Удобство и простота использования.
- Функциональность.
- Интеграция с другими сервисами.
- Безопасность и конфиденциальность.
- Стоимость.
- Техническая поддержка.
- Адаптивность.
- Интерактивность.
- Возможность отслеживания прогресса освоения знаний. [3]

Рассматривая возможности популярных сервисов ведения дистанционного обучения, можно заметить, что многие из них не обладают в полной мере перечнем всех выдвинутых требований, каждый из них имеет свои преимущества, но не «идеален во всем». При этом, некоторые вышеперечисленные требования конфликтуют друг с другом. Так, например, красивый, безопасный и функциональный ресурс не может работать «за бесплатно» - все его прелести должны кем-то поддерживаться, разрабатываться, а это влечет за собой затраты, которые необходимо покрывать.

Одним из вариантов «получить» идеальный сервис ведения ДО, который будет в полной мере отвечать всем выдвинутым педагогическим сообществом требованиям – это самостоятельно разработать такое программное решение.

При составлении технического задания на разработку, для того, чтобы определить, какие функции и инструменты должен поддерживать сервис, был проведен опрос среди педагогов школ, ВУЗов, техникумов, преподавателей-фрилансеров. Результаты опроса показали, что у каждого преподавателя есть своё виденье платформы: потребности в определенных инструментах и функциях у опрашиваемых разнятся. Так как первоначальной целью было создание «идеального» сервиса «для всех», была выдвинута следующая идея:

## *Идея*

Создание гибкой образовательной платформы, которая может быть адаптирована под специфические потребности конкретного учебного заведения, частного преподавания, программы или даже отдельного курса. Это достигается через разработку и внедрение специализированных инструментов и модулей. При этом, платформа поддерживает модульную структуру, при которой она предоставляет базовые функции, требуемые для ведения ДО: видеоконференции, чат, файлообмен и т.д. Но при необходимости, подключение специализированных модулей, расширяют ее функционал.

## *Возможности*

Индивидуальное использование модулей: преподаватель или учебное заведение будет использовать только те инструменты, которые им необходимы, например, видеоконференция, электронное размещение материалов, внутренний документооборот. При этом, при резкой необходимости, они могут расширить свой функционал, используя уже готовые решения.

Интеграция с внешними сервисами: Платформа может быть интегрирована с различными сервисами, мессенджерами, онлайн-библиотеками и т.д.

Использование технологий искусственного интеллекта: Использование ИИ в наши дни стало широко-распространено, его интеграция в платформу поможет, например, для анализа данных об успеваемости, прогнозирования трудностей, подбора индивидуальных рекомендаций, автоматизации рутинных задач преподавателя.

## *Преимущества индивидуальной разработки*

Повышение эффективности обучения: Инструменты и модули, разработанные с учетом специфики учебного процесса, помогают лучше усваивать материал, развивать необходимые навыки, повышать мотивацию.

Гибкость и адаптивность: Платформа может быть легко изменена и дополнена новыми функциями по мере необходимости.

Конкурентное преимущество: Уникальный функционал платформы может стать отличительной чертой сервиса и привлечь больше людей.

Следует понимать, что простой пользователь без необходимого багажа знаний и умений не сможет создать сложные инструменты, удовлетворяющие специфике платформы и выдвинутым требованиям. Конечно, существуют различные конструкторы решений, но даже для их полноценного использования, нужны минимальные знания.

Рассмотрим технологии и языки программирования, необходимые для воплощения задуманной идеи:

### 1) Фронтенд-разработка (клиентская сторона):

- HTML, CSS, JavaScript.
- Фреймворки и библиотеки JavaScript: React, Angular, Vue.js
- Библиотеки для визуализации данных: D3.js, Chart.js

### 2) Бэкенд-разработка (серверная сторона):

- Python
- Java.
- Node.js

### 3) Базы данных:

- MySQL, PostgreSQL
- MongoDB: NoSQL

### 4) Другие технологии:

- Cloud computing.
- API
- Технологии искусственного интеллекта

### 5) Инструменты для адаптации учебных материалов

На основании изложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Индивидуальные решения в дистанционном образовании имеют большой потенциал для трансформации учебного процесса и обеспечения равного доступа к качественному

образованию для всех. Этот подход позволяет создавать платформы, максимально соответствующие специфическим потребностям учебных заведений, программ и отдельных курсов.

2. Использование современных технологий и методик позволяет повысить эффективность обучения, мотивацию учащихся и качество образования в целом.

3. Необходимо дальнейшее развитие модульных платформ с возможностью простой интеграции различных инструментов и сервисов.

4. Целесообразна интеграция технологий искусственного интеллекта для персонализации обучения, анализа данных и автоматизации рутинных задач.

5. Крайне актуально использование инструментов геймификации для повышения мотивации и вовлеченности учащихся.

#### **Литература и источники**

1. Уильям Хортон, Кэтрин Хортон. Электронное обучение: инструменты и технологии. Москва: Кудиц-образ, 2005. – 638 с

2. Электронное обучение [Электронный ресурс] // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Электронное\\_обучение](https://ru.wikipedia.org/wiki/Электронное_обучение) (дата обращения: 08.03.2024)

3. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] / Акционерное общество «Информационная компания «Кодекс» / Об утверждении методики применения дистанционных образовательных технологий в образовательных учреждениях высшего, среднего и дополнительного профессионального образования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901836763> (дата обращения: 08.03.2024)

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

**ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 7-9 КЛАССАХ  
НА ТЕМУ «СВОЙСТВА БИСSEКТРИС В РАВНОБЕДРЕННОМ  
ТРЕУГОЛЬНИКЕ С УГЛОМ 100°»**

*Матвиенко Т. А.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»  
t-ma01@mail.ru

**Аннотация:** В данной теме рассматривается организация исследовательской деятельности в рамках изучения свойств биссектрис в равнобедренном треугольнике с углом  $100^\circ$ . Целью работы является разработка комплекта материалов для организации школьного исследования или проекта для учащихся. Учащиеся будут изучать геометрические законы и применять их для поиска закономерностей и свойств биссектрис данного треугольника. Работа над этой темой способствует развитию логического мышления, аналитических способностей и навыков решения задач. Она также позволяет ученикам самостоятельно проводить исследования, формулировать гипотезы и выводы, а также делиться результатами с товарищами. Рассматривается важность организации исследовательской деятельности на уроках математики для развития ученических познавательных способностей и аналитического мышления. На уроках математики ученикам предлагается решать задачи, которые требуют нестандартного подхода и самостоятельного исследования. Они изучают новые математические методы, применяют их на практике, исследуют различные математические явления. Преподаватели стимулируют учащихся к проведению собственных исследований, поощряя творческий подход к решению задач. Ученики приобретают навыки самостоятельного поиска решений, а также умение представлять результаты исследования в виде презентации или отчета. Исследовательская деятельность учит детей работать в группе, обмениваться идеями, аргументировать свои выводы и принимать обоснованные решения. Это помогает им развивать коммуникативные навыки и учиться работать в коллективе. Таким образом, организация исследовательской деятельности на уроках математики в 7-9 классах способствует формированию универсальных учебных умений, которые будут полезны учащимся как в учебе, так и в их будущей профессиональной деятельности.

**Ключевые слова:** Исследовательская деятельность, биссектриса, равнобедренный треугольник, геометрия, методические рекомендации.

Актуальность данной темы заключается в том, что современная школа выдвигает перед собой задачу развития личности, способной к самостоятельному поиску знаний, и критическому мышлению. Организация исследовательской деятельности на уроках математики позволяет стимулировать познавательную деятельность школьников, проводить объективные исследования, формулировать обоснования и рассматривать их на практике. Важно помнить, что организационно-исследовательская деятельность на уроках математики должна быть структурированной и целенаправленной, чтобы обеспечить достижение поставленных целей образования.

**Целью работы** является разработка комплекта материалов для организации школьного исследования или проекта для учащихся 7-9 классов на тему «Свойства биссектрис в равнобедренном треугольнике с углом  $100^\circ$ ».

Методические рекомендации по организации исследовательской деятельности на уроках математики [2].

1. Поставьте перед учащимися цели и задачи исследования. Важно, чтобы ученики понимали, что им необходимо достичь и какие шаги для достижения поставленных целей нужно сделать.

2. Предоставьте учащимся самостоятельность. Дайте ученикам возможность самостоятельно обдумать материал, предоставив им задачи или проблемы, которые требуют творческого подхода и самостоятельного решения.



3. Поддерживайте соблюдение процесса исследования. Будьте готовы к участию в процессе исследования, но не решайте задачи за учеников. Поддержка учителей должна быть направлена на стимулирование мыслительных процессов учащихся.

4. Побуждайте учащихся высказывать свои мысли и мнения, а также обосновывать свои решения математически. Это поможет им использовать навыки аргументации и критического мышления.

5. Оценивайте результаты исследования. Проводите обсуждение результатов и оценивайте их совместно с учениками. Подчеркните не только правильность решений, но и процесс исследования, которые они применили.

6. Используйте различные методы исследования. Например, самостоятельные исследования, коллективное обсуждение и т. д. Подбирайте методы в зависимости от целей задачи и уровня подготовки учащихся.

Работа над исследовательским проектом рассчитана на 1-3 школьника. При подготовке школьники используют два вида работы: работа в классе с учителем и самостоятельная работа. Работа выполняется в течение 1 и 2 четвертей обучения, включает в себя 28 часов занятий с учителем, 14 недель (уроков) по 2 часа в неделю.

План проведения исследовательской деятельности.

1 занятие. Введение в исследовательскую деятельность. Обсуждения с учениками целей и задач.

2-3 занятия. Введение в тему. Понятие биссектрисы в треугольнике. Свойства биссектрис равнобедренного треугольника. Свойства равнобедренного треугольника. Разбор способов решения математических задач.

4 занятие. Постановка первой задачи. Дан равнобедренный треугольник с углом  $100^\circ$  при вершине В, на биссектрисе угла А выбрана точка М, так что  $AM=AB$ . Найдите угол ВСМ. Разбор решения с помощью программы GeoGebra.

5-7 занятия. Решение задачи, используя свойства равнобедренного треугольника и его биссектрис. Решение задачи с помощью симметрии. Решение задачи векторным методом.

8 занятие. Постановка и обсуждение второй задачи. Дан равнобедренный треугольник АВС, на прямой, делящий угол А пополам, выбрана точка М, так что  $AM=AB$ . Оказалось, что угол ВСМ в четыре раза меньше угла ВСА. Найдите углы треугольника АВС. Разбор решения с помощью программы GeoGebra.

9-10 занятия. Решение задачи разными способами.

11-14 занятия. Оформление, обобщение и систематизация полученных результатов.

Основные теоретические сведения [1].

Определение 1. Равнобедренный треугольник — треугольник, в котором две стороны равны между собой по длине. Боковыми называются равные стороны, а последняя неравная им сторона — основанием.

Определение 2. Биссектриса угла треугольника — луч, который исходит из вершины угла и делит этот угол на два равных угла.

Свойства равнобедренного треугольника:

1. В равнобедренном треугольнике углы при основании равны.

2. В равнобедренном треугольнике биссектриса, проведенная к основанию, является медианой и высотой.

3. Если провести из углов основания к боковым сторонам биссектрису, медиану или высоту, эти отрезки будут равны друг другу.

Первый способ решения первой задачи. Треугольник АВМ – равнобедренный, так как  $AB=AM$  отсюда следует что угол АМВ равен углу АВМ и равен  $80^\circ$ . Из треугольника ВВА угол ВВА равен  $60^\circ$ . Угол АМК =  $100^\circ$ . Треугольники АВЛ и АМК равны. Угол МКС и угол МЛС равны  $120^\circ$ . Треугольник АКЛ – равнобедренный, значит угол АКЛ и угол АЛК равны  $80^\circ$ . Угол КСЛ =  $40^\circ$  и равен углу ЛСК. Треугольник КЛС – равнобедренный, значит  $КС=КЛ$ . Угол МКЛ =  $20^\circ$ , угол КМЛ равен  $80^\circ$ , отсюда следует что треугольник КМЛ – равнобедренный. Так как  $КМ = КЛ$ , значит  $КМ = КС$ . Угол МКС равен  $120^\circ$ , значит угол КМС равен углу МСК и равен  $30^\circ$ . Угол МСЛ =  $40^\circ - 30^\circ = 10^\circ$ . Ответ:  $10^\circ$ .



Второй способ решения первой задачи – это конструирование по условию задачи в программе GeoGebra [3] (рис. 1).

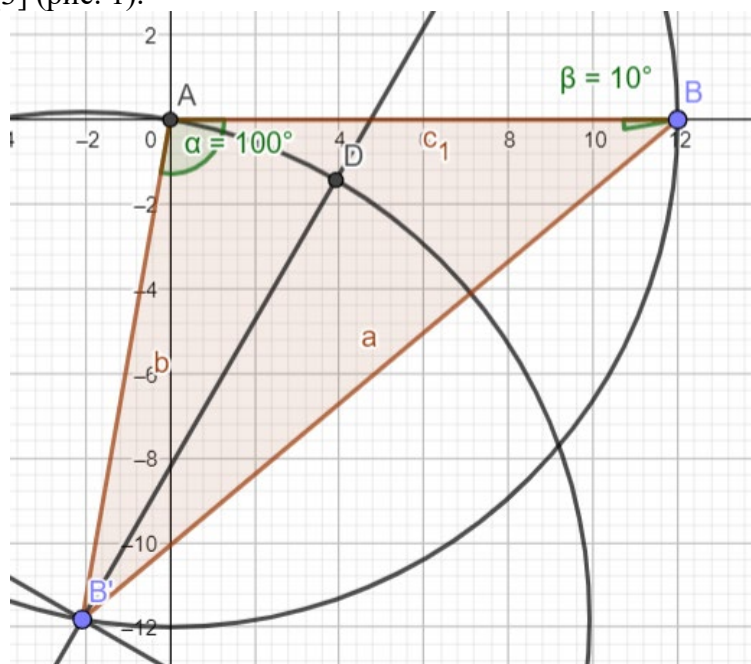


Рисунок 1. Решение первой задачи в GeoGebra

Первый способ решения второй задачи – это конструирование по условию задачи в программе GeoGebra [3] (рис. 2).

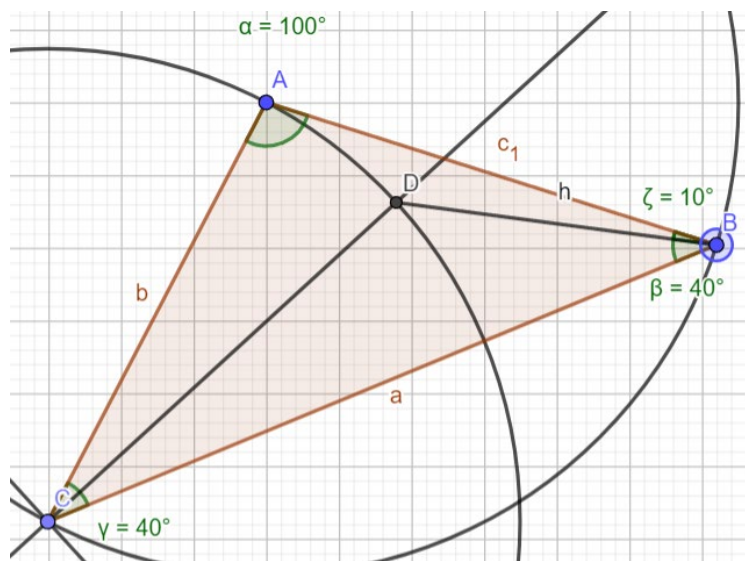


Рисунок 2. Решение второй задачи в GeoGebra

#### Литература и источники

1. Атанасян Л.С., Бутузов В.Ф., Кадомцев С.Б. и др. Геометрия. 7-9 классы: учеб. для общеобразоват. учреждений. – 20-е изд. – М.: Просвещение, 2010. – 384 с.
2. Обухов А.С. Развитие исследовательской деятельности учащихся. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Национальный книжный центр, 2015. – 280 с.
3. Онлайн версия программы GeoGebra - URL: <https://www.geogebra.org/classic?lang=ru/> (Дата обращения: 09.04.2023).
4. Хизбуллин Р. А. Geogebra. Краткое руководство. Применение на уроках математики - URL: <https://nsportal.ru/shkola/algebra/library/2016/03/19/geogebra-kratkoe-rukovodstvo-primenenie-na-urokah-matematiki> (Дата обращения: 09.04.2023).

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

## ПРИМЕНЕНИЕ ШИФРА ВИЖЕНЕРА В ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЯХ ПО МАТЕМАТИКЕ И КРИПТОГРАФИИ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ

*Назарова С.В.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[cnazarova@bk.ru](mailto:cnazarova@bk.ru)

**Аннотация:** Целью работы является исследование особенностей применения классических шифров в олимпиадных заданиях по математике и криптографии для школьников среднего и старшего звена. Актуальность выбранной темы исследования заключается в том, что разбор олимпиадных задач по математике и криптографии и анализ методов их решения способствует повышению интереса к таким олимпиадам и улучшению качества подготовки к ним, а также расширяет математический кругозор и развивает познавательный интерес школьников к математике и криптографии. Школьники чаще всего знакомятся с шифрованием и дешифрованием информации на основе таких простейших методов как метод подстановки (замены), метод перестановки и метод гаммирования. Данные методы встречаются и в олимпиадных задачах по математике и криптографии. Шифр Виженера – это метод полиалфавитного шифрования буквенного текста с использованием ключевого слова. Он состоит из последовательности нескольких шифров Цезаря с различными значениями сдвига. В работе приводятся подробные решения двух типовых олимпиадных задач для школьников, использующих шифр Виженера. Используя приведенные в решениях алгоритмы шифрования и дешифрования, можно прийти к решению других олимпиадных задач для школьников, связанных с шифрованием. Решение таких задач способствует развитию математического мышления и криптографических навыков у школьников, а также ориентирует их к изучению наук, связанных с безопасностью и защитой информации. Результаты данного исследования имеют практическую ценность для разработки практических материалов по подготовке школьников к олимпиадам по математике и криптографии.

**Ключевые слова:** криптография, шифр Виженера, олимпиадные задачи, шифрование, дешифрование.

Неоценимую пользу в развитии учащихся школы оказывают различные олимпиады, помогающие создать основу логического мышления и всестороннее воспитание личностных качеств. Олимпиадные задачи по математике и криптографии, как правило, сформулированы так, что не похожи на стандартные задачи. Тем не менее, их решение обычно не требует знаний, выходящих за рамки школьной программы. Часть основ криптографии включена в школьный курс математики и информатики. Алгебра и теория чисел являются одними из основных инструментов в теоретических исследованиях и практических реализациях криптографических преобразований. Школьники чаще всего знакомятся с шифрованием и дешифрованием информации на основе таких простейших методов как метод подстановки (замены), метод перестановки и метод гаммирования. Данные методы встречаются и в олимпиадных задачах по математике и криптографии.

**Целью** работы является исследование особенностей применения классических шифров в олимпиадных заданиях по математике и криптографии для школьников. Актуальность выбранной темы исследования заключается в том, что разбор олимпиадных задач по математике и криптографии и анализ методов их решения способствует повышению интереса к таким олимпиадам и улучшению качества подготовки к ним, а также расширяет математический кругозор и развивает познавательный интерес школьников к математике и криптографии.

Шифр Виженера – метод полиалфавитного шифрования буквенного текста с использованием ключевого слова. Он состоит из последовательности нескольких шифров Цезаря с различными значениями сдвига. Для шифрования может использоваться алфавитная таблица Виженера (Рисунок 1).

**Буквы исходного текста**

	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я
А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	
Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б
В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В
Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г
Д <td>Е</td> <td>Ж</td> <td>З</td> <td>И</td> <td>Й</td> <td>К</td> <td>Л</td> <td>М</td> <td>Н</td> <td>О</td> <td>П</td> <td>Р</td> <td>С</td> <td>Т</td> <td>У</td> <td>Ф</td> <td>Х</td> <td>Ц</td> <td>Ч</td> <td>Ш</td> <td>Щ</td> <td>Ъ</td> <td>Ы</td> <td>Ь</td> <td>Э</td> <td>Ю</td> <td>Я</td> <td>А</td> <td>Б</td> <td>В</td> <td>Г</td> <td>Д</td>	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д
Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е
Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И
Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й
К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К
Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л
М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М
Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н
О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О
П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П
Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р
С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С
Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т
У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У
Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф
Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х
Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц
Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч
Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш
Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ
Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ
Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы
Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь
Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э
Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю
Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я

**Буквы ключа**

Рисунок 1. Таблица Виженера

Шифр Виженера считается одним из наиболее стойких классических шифров, однако известны несколько методов, которые могут быть использованы для взлома этого шифра:

1. Атака методом частотного анализа (анализ частоты встречаемости символов в зашифрованном тексте);
2. Атака методом индекса совпадений (анализ статистических свойств текста);
3. Атака методом Касики (анализ повторяющихся последовательностей символов в зашифрованном тексте).

Ниже приведены примеры решения олимпиадных задач по криптографии и математике с применением шифра Виженера.

Пример 1. Зная, что текст «ПЕТЯ АНТОНОВ РАБОТАЕТ КУРЬЕРОМ» при шифровании шифром Виженера становится «ЯЖГК РОГЩЭПУ ЫРВЯЭРЖГ ХГСНРАПЭ», а «КТО ИЩЕТ ТОТ ВСЕГДА НАЙДЕТ» - «ХЫБ ЛЗРЫ ЕСА НЬШЖТЛ ЦУМТРЫ», зашифруйте «ЕСЛИ ПОСТАРАТЬСЯ ТО ВСЕ ПОЛУЧИТСЯ». Используются буквы русского алфавита без буквы ё.[1]

**Решение:** шифр Виженера можно представить, как шифр Цезаря, в котором буквы сдвигаются на величину, определяемую ключом. Соответственно, если известно исходное выражение «ЯЖГК РОГЩЭПУ ЫРВЯЭРЖГ ХГСНРАПЭ» в виде криптограммы, то можно определить ключ. Для этого можно использовать таблицу Виженера (Рисунок 1).

Видно, что из выражения «ПЕТЯ АНТОНОВ РАБОТАЕТ КУРЬЕРОМ» буква «П» по таблице Виженера переходит в букву «Я», следовательно, буква «П» является первой буквой ключа. «Е» переходит в «Ж», следовательно, «А» - вторая буква ключа, «Т» переходит в «Г», «Р» - третья буква ключа, «Я» переходит в «К», «К» - четвертая буква ключа. Таким образом, «ПАРК» - ключ в первом сообщении. По аналогии, можно вывести ключ во втором сообщении – «КИТВН». Видно, что эти ключи разные. Можно заметить, что они составлены по первым буквам слов в фразах открытого текста. Таким образом, приходим к выводу, что ключом шифруемого сообщения будет «ЕПТВП». С помощью найденного ключа находим шифр: «ЛБЮЛ ЯФБЕГАЖВПФП ШЮ ХФХ ХЮЮЦЗОВДВ».

Пример 2. (Периодический шифр Виженера). Открытое сообщение разбивается на блоки по  $k$  букв в каждом (при необходимости к нему приписывается нужное число букв). Секретным ключом является вектор  $(a_1, a_2, \dots, a_k)$  с натуральными компонентами. При шифровании  $i$ -я буква каждого блока заменяется буквой, стоящей в алфавите на  $a_i$  позиции

правее нее (сдвиг циклический). Зная, что  $k=3$ , и что в открытом тексте самые высокие частоты встречаемости имеют буквы О, Е, А, расшифруйте криптограмму:

ИЙББЗВУЗДК ЖСМЙС НШЧЙЬЯЛ  
 ПСЛУЪ УКТЖ ТСЕУТЖТ ЯВХЯЛ  
 УТ ПЖБППЦ ГКЫ НА ЮЖ ЦЬЬСМН  
 ЮЖ ЖММУ ИЖХГАС ГБПЯК ФЦШЕЬЙ [2]

**Решение:** попробуем установить, какая из букв представленного шифртекста соответствует наиболее часто встречающимся в русском языке буквам О, Е, А. Для этого подсчитаем частоты встречаемости букв в шифртексте (Таблица 1).

Таблица 1. Частоты встречаемости букв в тексте

«ж»	«у»	«с»	«т»	...
7	6	5	5	...

Возьмем алфавит, в котором каждая буква заменяется числом по таблице 2.

Таблица 2. Алфавит замены

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Предположим, что буква «Ж» при шифровании переходит в букву «О», тогда ключ  $k = \text{«Ж»} - \text{«О»} = 6 - 14(\text{mod}32) = 0$ . Если «У» соответствует «Е», тогда ключ  $k = \text{«У»} - \text{«Е»} = 19 - 4(\text{mod}32) = 15$ . Ключ  $k = \text{«С»} - \text{«А»} = 17 - 0(\text{mod}32) = 17$ . Получаем следующее начало сообщения с данными ключами: «ИЪР...». Очевидно, что осмысленного текста нет, значит «Ж» не переходит в «О» и ключ  $k$  не равен 0.

Предположим, что буква «Ж» при зашифровывании переходит в букву «Е», тогда ключ  $k = \text{«Ж»} - \text{«Е»} = 6 - 5(\text{mod}32) = 1$ . Если «У» соответствует «О», тогда ключ  $k = \text{«У»} - \text{«О»} = 19 - 14(\text{mod}32) = 5$ . Ключ  $k = \text{«С»} - \text{«А»} = 17 - 0(\text{mod}32) = 17$ . Для этого ключа получаем осмысленное сообщение:

«ЗДРАВСТВУЙ БАЛДА МУЖИЧОК  
 КАКОЙ ТЕБЕ НАДОБЕН ОБРОК  
 ОБ ОБРОКЕ ВЕК МЫ НЕ СЛЫХАЛИ  
 НЕ БЫЛО ЧЕРТЯМ ТАКОЙ ПЕЧАЛИ»

По требованиям ФГОС к результатам подготовки выпускников школ относят владение знаниями и умениями по защите информации. Рассмотренные решения олимпиадных задач по шифрованию на основе шифра Виженера демонстрируют особенности применения алгоритмов шифрования в олимпиадных заданиях для школьников. Используя приведенные в решениях алгоритмы шифрования и дешифрования, можно прийти к решению других олимпиадных задач для школьников, связанных с шифрованием. Решение таких задач способствует развитию математического мышления и криптографических навыков у школьников, а также ориентирует их к изучению наук, связанных с безопасностью и защитой информации.

Результаты данного исследования имеют практическую ценность для разработки практических материалов по подготовке школьников к олимпиадам по математике и криптографии.

#### Литература и источники

1. Яценко, В. В. Введение в криптографию: Издание четвертое, дополнение: Издательство МЦНМО – Москва, 2012. –33 с.
2. XIX открытая городская олимпиада школьников по криптографии [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://erudit->

[online.ru/files/konkurs/SarCrypt2020/SarCrypt2020\\_St.pdf?ysclid=luuwiaiczwp577402581](https://online.ru/files/konkurs/SarCrypt2020/SarCrypt2020_St.pdf?ysclid=luuwiaiczwp577402581) [1]

(Дата обращения: 09.04.2024)

3. Задачи третьей заочной олимпиады по криптографии [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.sgu.ru/structure/computersciences/theorcompsafe/olimpiady-po-kriptografii/tretya-zaohnaya-olimpiada-po-kriptografii/zadachi-tretye-zaohnoy-olimpiady-po-kriptografii> [2] (Дата обращения: 10.04.2024).

*Научный руководитель - к.ф.-м.н., доцент Сергеева О.А., ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*



## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ВНУТРЕННИХ АУДИТОВ

*Оптовец А.П.*

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет»

[apo3@tpu.ru](mailto:apo3@tpu.ru)

**Аннотация:** Использование статистических методов для анализа результатов внутренних аудитов позволяет расширить возможности и повысить точность оценки эффективности системы менеджмента качества, выявить скрытые тенденции, а также провести более качественное и точное прогнозирование возможных изменений и улучшений. Применение статистических методов не только возможно, но и может значительно упростить этот процесс и повысить точность полученных результатов. Статистические методы – это инструменты анализа данных, которые используются для обработки, интерпретации и принятия решений на основе статистических данных. Они представляют собой эффективный инструмент сбора и анализа информации. Могут быть использованы для оценки состояния исследуемых явлений, прогнозирования и регулирования проблем на всех этапах их жизненного цикла, а также для разработки оптимальных управленческих решений. В мировой практике существует большой набор статистических методов, которые могут быть эффективно применены для решения различных задач. Одними из самых известных и распространённых статистических методов являются уже перечисленные ранее графические методы, которые обычно называют «Семь инструментов контроля качества». Статистические методы, такие как контрольный листок, диаграмма Парето, схема Исикавы, гистограмма, диаграмма разброса, расслоение, контрольная карта, график временного ряда и др. достаточно просты в освоении, не требуют сложных вычислений. Их можно использовать как самостоятельно, так и в дополнение к другим методам. Анализ данных, полученных по результатам внутренних аудитов, также имеет большое значение, поскольку позволяет выявить сильные и слабые стороны системы управления качеством.

**Ключевые слова:** статистические методы, контроль, анализ данных, информация, аудит, процесс.

В настоящее время внутренние аудиты системы менеджмента качества (СМК) являются крайне актуальной темой для многих организаций в связи с постоянным стремлением к улучшению качества продукции и услуг. Анализ данных, полученных по результатам внутренних аудитов, также имеет большое значение, поскольку позволяет выявить сильные и слабые стороны системы управления качеством. Кроме того, в данной работе рассмотрено использование статистических методов для анализа результатов внутренних аудитов, что позволяет расширить возможности и повысить точность оценки эффективности СМК, выявить скрытые тенденции, а также провести более качественное и точное прогнозирование возможных изменений и улучшений [1].

В стандарте описаны семь основных принципов проведения внутренних аудитов, рассмотрим каждый из них более детально.

1. Честность. Данный принцип предполагает проведение аудита с полной объективностью, независимостью и честностью. аудиторы должны быть объективными и беспристрастными в своем подходе к оценке системы менеджмента качества. Они должны руководствоваться фактами и документами, а не личными предубеждениями или влиянием сторонних интересов.

2. Беспристрастное представление. Этот принцип указывает на то, что все отчеты, представленные в ходе аудита, должны быть точными, достоверными и неискаженными. В рамках проведения внутренних аудитов, аудиторы должны анализировать информацию, проводить проверку данных и убедиться в том, что отчеты, которые они представят, соответствуют реальному состоянию организации.

3. Должная профессиональная осмотрительность. Принцип подразумевает, что аудиторы должны проявлять высокий уровень внимательности, методичности и профессионализма при проведении аудита. Особенно важна для аудиторов способность принимать обдуманные решения в любых ситуациях.

4. Конфиденциальность. Конфиденциальность является ключевым аспектом проведения внутренних аудитов, поскольку она гарантирует, что компания и ее сотрудники могут быть уверены в сохранности и защите своей информации. Для обеспечения конфиденциальности, аудиторы должны иметь доступ к информации только в пределах, определенных для выполнения их обязанностей.

5. Независимость. Этот принцип означает, что аудиторы, осуществляющие внутренний аудит, должны быть независимы от деятельности или процессов, которые они анализируют, на столько, на сколько это возможно. Это позволяет избежать предвзятости и соблюсти объективность.

6. Подход, основанный на свидетельстве. Этот принцип основан на тщательном анализе доступных внутренних и внешних данных, а также на оценке достоверности их источников. Аудиторы должны проводить свою работу с использованием объективных критериев, чтобы избежать субъективного влияния на результаты аудита.

7. Риск-ориентированный подход. Риск-ориентированный подход к проведению внутренних аудитов предполагает уделение особого внимания исследованию рисков, связанных с деятельностью организации, и их влиянию на достижение целей бизнеса.

Изучив основную информацию о внутренних аудитах, можно переходить непосредственно к тому, как проводятся внутренние аудиты. Этот процесс можно разбить на три части: планирование, проведение аудита и оценка результатов [2].

Перед проведением внутреннего аудита СМК необходимо провести анализ деятельности предприятия или организации.

Во-первых, определение аудитора - специалиста или команды специалистов, которые будут проводить аудит. Они должны иметь достаточный опыт и знания в области управления качеством и аудиторской деятельности.

Во-вторых, необходимо проанализировать область аудита, то есть определить процессы, системы и функции, которые будут проверены и оценены в ходе аудита. Это может включать в себя производственные процессы, управление производством, закупки, маркетинг, обслуживание клиентов, управление человеческими ресурсами и т. д. [3].

Данный анализ дает возможность определить необходимый объем аудита: сколько времени потребуется для проведения аудита, какие особенности рабочего расписания и трудового распорядка могут повлиять на проведение аудита.

Программа для проведения аудита — это документ, который содержит подробное описание всех этапов и параметров аудиторской проверки. Она включает в себя следующие компоненты:

1. Область проведения проверок: в этом разделе указывается область деятельности или процессы, подлежащие аудиту, например, финансовая отчетность, качество продукции, соответствие законодательству и т.д.

2. Критерии аудита: здесь определяются стандарты, законы, положения, инструкции и другие документы, которым должны соответствовать проверяемые процессы.

3. Фамилия аудиторов: указывается список сотрудников, участвующих в проведении аудита, включая руководителя аудиторской группы, представителей подразделений, уполномоченных по аудиту, и других участников.

4. Дата и место проведения аудитов: указывается точная дата начала и окончания аудита, а также место его проведения.

5. Перечень процессов СМК, подлежащих проверке: здесь перечисляются конкретные процедуры, документы и процессы, которые будут проверяться в рамках аудита.

6. Наименования проверяемых подразделений: указывается список подразделений или отделов организации, подлежащих проверке.

7. Сопутствующие документы: включает в себя все необходимые документы, связанные с прошлыми аудитами, анализом рисков, отчетами о несоответствиях и т.д.

8. Особые обстоятельства: здесь приводятся любые документы о выявленных ранее несоответствиях, которые имеют отношение к данному аудиту.

Проведение внутренних аудитов системы менеджмента качества является неотъемлемой частью работы в организации, стремящейся к постоянному улучшению своих процессов и продуктов. Анализ данных, полученных по результатам внутренних аудитов СМК, позволяет выявить сильные и слабые стороны системы качества и определить направления для улучшения.

Важным шагом в анализе данных внутренних аудитов является оценка соответствия выявленных несоответствий требованиям стандарта СМК. Это позволяет оценить степень соблюдения установленных процедур и правил, а также определить области, требующие наибольшего внимания при последующих улучшениях.

Помимо этого, анализ данных внутренних аудитов позволяет выявить повторяющиеся проблемы или тенденции, которые могут быть связаны с определенными процессами или отделами организации. Это может послужить основой для разработки планов действий по устранению проблемных моментов и улучшению работы системы качества в целом.

Информация, полученная из анализа данных внутренних аудитов, имеет большое значение для улучшения процессов управления качеством в организации. Путем изучения результатов аудитов можно выявить слабые места и проблемные области в системе управления качеством.

Кроме того, анализ данных внутренних аудитов позволяет определить эффективность действующих процедур и процессов, выявить лучшие практики и узнать, где требуется обновление документации и процедур. Полученные данные также могут быть использованы для обучения персонала по управлению качеством и улучшения методов проведения аудитов.

Таким образом, анализ данных внутренних аудитов играет важную роль в процессе управления качеством, обеспечивая постоянное соответствие установленным стандартам и помогая организации находить оптимальные пути для улучшения своих систем и процессов.

Одними из самых известных и распространённых статистических методов являются уже перечисленные ранее графические методы, которые обычно называют «Семь инструментов контроля качества» [4].

1. Контрольные листки.

2. Диаграмма Исикавы.

3. Диаграмма Парето (или кривая Парето) — это графическое представление данных, которое показывает относительное влияние различных элементов на общий результат. Обычно диаграмма Парето используется для идентификации основных проблем или причин, которые оказывают наибольшее влияние на результаты или процессы [5].

4. Гистограмма — это графическое представление числовых данных в виде столбцов, где по высоте столбца определяется числовое значение определенной категории. Гистограммы часто используются для визуализации распределения данных и позволяют легко определить наиболее часто встречающиеся значения, а также общий характер распределения [6].

5. Диаграмма разброса.

6. Контрольные карты.

7. Стратификация.

По словам президента Японского общества по контролю качества Каору Исикавы «Семь инструментов контроля качества» позволяют простыми методами решить до 95 % проблем, возникающих при контроле качества в самых разных областях. Оставшиеся 5 % проблем требуют дополнительных методов решения.

Диаграмму Парето можно применять для изучения причин возникновения несоответствий, задержек в проведении аудитов и других проблем. Обычно она используется вместе с причинно-следственной диаграммой.

Также статистические методы могут применяться для анализа эффективности проведения внутренних аудитов.



Таким образом, выяснено, что статистические методы могут быть использованы для анализа данных, полученных в результате внутренних аудитов системы менеджмента качества. Эти методы позволяют оценить эффективность системы и выявить области, требующие улучшения.

### Литература и источники

1. Вахрамеева М.В. Статистическая оценка эффективности проведения внутреннего аудита // Учет. Анализ. Аудит. – 2015. №5. – С. 81-86.

2. Качалов В.А. Всегда ли должны осуществляться корректирующие действия? // ММК. – 2014. – № 6.

3. Болатбекова Д.Г., Плотникова И.В. [СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИЗДЕРЖЕК КОМПАНИИ](#) // В сборнике: Актуальные проблемы экономики и управления в XXI веке. Сборник научных статей V Международной научно-практической конференции. 2019. С. 210-214.

4. Юдин С.В. Некоторые проблемы статистического моделирования и методы их решения // Научные труды КубГТУ. - 2016. – №13. – С. 573 - 581.

5. Плотникова И.В., Редько Л.А. Статистические методы и анализ проблем управления качеством // Стандарты и качество. 2017. № 3. С. 50-53.

6. Ескерова, З. А. Основные инструменты в арсенале статистических методов контроля качества продукции // Вестник КарГУ – 2015. – 90 с.

*Научный руководитель – к.т.н., доцент Плотникова И.В., ФГАОУ ВПО «Томский политехнический университет»*

## ЛЕВОИНВАРИАНТНЫЕ КЭЛЕРОВЫ И ПОЛУКЭЛЕРОВЫ СТРУКТУРЫ НА ШЕСТИМЕРНЫХ НЕРАЗРЕШИМЫХ ГРУППАХ ЛИ

Соколова А.Ю.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[socolova.nastya25@mail.ru](mailto:socolova.nastya25@mail.ru)

**Аннотация:** В представленной работе исследован вопрос о существовании левоинвариантных кэлеровых и полукэлеровых структур на шестимерных неразрешимых группах Ли, являющихся полупрямыми произведениями трехмерных алгебр Ли. В соответствии с классификационными результатами, существует четыре алгебры Ли, которые являются полупрямыми произведениями алгебр Ли  $so(3)$ ,  $sl(2, \mathbb{R})$  и трех разрешимых алгебр Ли  $A_{3,1} = \mathbb{R}^3$ ,  $A_{3,3}$ ,  $A_{3,5}$ . В работе показано, что только алгебра Ли  $A_{3,5} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$  имеет многопараметрические семейства кэлеровых структур с интегрируемыми комплексными структурами и допускающими эйнштейновы метрики. Для нахождения кэлеровых структур находим комплексные структуры  $J = (\psi_{ij})$ , согласованные с формами  $\omega_1 = e^1 \wedge e^2 + e^2 \wedge e^4 + e^3 \wedge e^5 - e^4 \wedge e^5$ , которая найдена в работе Чиу при доказательстве того, что в шестимерном случае симплектическая группа Ли не обязана быть разрешимой и  $\omega_2 = e^1 \wedge e^3 + e^2 \wedge e^5 - e^3 \wedge e^4 + e^4 \wedge e^6$ . Получено 6 семейств комплексных структур, согласованных с формой  $\omega_1$  и 5 семейств комплексных структур согласованных с формой  $\omega_2$ . В каждом случае получили семейства кэлеровых структур  $(\omega, J, g_J)$ . Причем для каждой симплектической формы  $\omega_1$  и  $\omega_2$  есть одна кэлерова структура  $(\omega, J, g_J)$  с эйнштейновой метрикой  $g_J$ . Другие алгебры Ли  $A_{3,3} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$ ,  $A_{3,1} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$ , и  $A_{3,1} \ltimes so(3)$  допускают многопараметрические семейства полу-паракэлеровых структур с интегрируемыми паракомплексными структурами. Для того, чтобы найти полу-паракэлеровую структуру  $(\omega, P, g)$  необходимо выполнить условия полукэлеровости  $\omega \wedge d\omega = 0$  и согласованности  $\omega(PX, PY) = -\omega(X, Y)$ . Метрический тензор  $g_P$  определяется по формуле:  $g_P(X, Y) = \omega(X, PY)$ , где  $P$  – паракомплексная структура. На всех указанных алгебрах Ли имеется интегрируемая паракомплексная структура, которая имеет вид:  $P_0 = \text{diag}\{1, 1, 1, -1, -1, -1\}$ . Так же для каждой шестимерной неразрешимой алгебре Ли вычислены геометрические характеристики.

**Ключевые слова:** Шестимерные неразрешимые группы Ли, симплектические структуры, кэлеровы структуры, полукэлеровы структуры, комплексные структуры, паракомплексные структуры.

Геометрические структуры на шестимерных неразрешимых группах Ли в настоящее время не исследованы в полной мере, что обуславливает актуальность и новизну тематики.

**Целью работы** является исследование свойств кэлеровых и полукэлеровых структур и условий невырожденности внешнего дифференциала 2-форм на шестимерных неразрешимых группах Ли.

**Предварительные сведения.** Напомним основные понятия, используемые в работе. Более подробные сведения можно найти в [1]. Многообразие  $M$  называется симплектическим, если на нем задана замкнутая невырожденная кососимметричная 2-форма  $\omega$ . Риманова структура на  $M$  определяется заданием скалярного произведения  $g(x)$  в каждом касательном пространстве  $T_x M$ ,  $x \in M$ . Почти комплексной структурой на  $2n$ -мерном многообразии  $M$  называется поле  $J$  эндоморфизмов касательного расслоения  $TM$ , таких, что  $J^2 = -Id$ . Почти комплексная структура  $J$  называется интегрируемой, если ее кручение Нейенхайса обращается в нуль:

$$N_J(X, Y) = -[X, Y] + [JX, JY] - J[JX, Y] - J[X, JY] = 0.$$

Левоинвариантная кэлерова структура на группе Ли  $G$  – это тройка  $(\omega, J, g_J)$ , состоящая из левоинвариантной (псевдо)римановой метрики  $g_J$ , ортогональной левоинвариантной

комплексной структуры  $J$  и левоинвариантной симплектической формы  $\omega$ , причем  $\omega(X, Y) = g_J(JX, Y)$ ,  $\omega(JX, JY) = \omega(X, Y)$  и  $g_J(X, Y) = \omega(X, JY)$ .

Почти пара-комплексной структурой на  $2n$ -мерном многообразии  $M$  называется поле  $P$  эндоморфизмов касательного расслоения  $TM$ , таких, что  $P^2 = Id$ , причем ранги собственных распределений  $T^\pm M := \ker(Id \mp P)$  равны. Почти пара-комплексная структура  $P$  называется интегрируемой, если распределения  $T^\pm M$  инволютивны. В этом случае  $P$  называется пара-комплексной структурой. Пара-кэлерово многообразие можно определить как псевдориманово многообразие  $(M, g)$  с кососимметрической пара-комплексной структурой  $P$  и замкнутой фундаментальной формой  $\omega = g \circ P$ .

**Шестимерные неразрешимые алгебры Ли.** Пусть  $A_{3,1}$ ,  $A_{3,3}$ ,  $A_{3,5}$  – разрешимые трехмерные алгебры Ли с базисом  $\{e_1, e_2, e_3\}$  и со следующими ненулевыми скобками Ли:

$$A_{3,1} = \mathbb{R}^3, \quad A_{3,3}: [e_2, e_3] = e_1, \quad A_{3,5}: [e_1, e_2] = e_2, [e_1, e_3] = e_3.$$

Пусть  $so(3)$  – алгебра Ли группы ортогональных матриц и  $sl(2, \mathbb{R})$  – группа матриц порядка 2 с нулевым следом. На данных алгебрах Ли выберем стандартный базис  $\{e_4, e_5, e_6\}$ . Как известно [2], существует четыре шестимерных неразрешимых алгебры Ли, которые являются полупрямыми произведениями трехмерных алгебр Ли:

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

Для каждой из алгебр Ли этого списка получены результаты о существовании кэлеровых и полукэлеровых структур. Вычислены их геометрические характеристики.

**Кэлеровы структуры на алгебре Ли  $A_{3,5} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$ .** На ней существует две симплектические структуры [3, 4]:

- форма  $\omega_1 = e^1 \wedge e^2 + e^2 \wedge e^4 + e^3 \wedge e^6 - e^4 \wedge e^5$ , найденная в работе Чиу [5] при доказательстве того, что в шестимерном случае симплектическая группа Ли не обязана быть разрешимой;
- форма  $\omega_2 = e^1 \wedge e^3 + e^2 \wedge e^5 - e^3 \wedge e^4 + e^4 \wedge e^6$ .

Мы ищем комплексные структуры  $J = (\psi_{ij})$ , согласованные с формами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Получено 6 семейств комплексных структур, согласованных с формой  $\omega_1$  и 5 семейств комплексных структур согласованных с формой  $\omega_2$ . В каждом случае получаем семейства кэлеровых структур  $(\omega, J, g_J)$ . Причем для каждой симплектической формы  $\omega_1$  и  $\omega_2$  есть одна кэлерова структура  $(\omega, J, g_J)$  с эйнштейновой метрикой  $g_J$ .

Приведем для примера комплексную структуру  $J_1$ , которая имеет следующий вид:

$$J_1(e_1) = \frac{1}{\psi_{5a}} e_4, \quad J_1(e_2) = -\frac{\psi_{5a}^3}{4} e_5 + \psi_{5a} e_6, \quad J_1(e_3) = \psi_{5a} e_5, \\ J_1(e_4) = -\psi_{5a} e_1, \quad J_1(e_5) = -\frac{1}{\psi_{5a}} e_3, \quad J_1(e_6) = -\frac{1}{\psi_{5a}} e_2 - \frac{\psi_{5a}}{4} e_6.$$

Вычисления геометрических характеристик кэлеровой структуры  $(\omega_1, J, g_J)$  показывают, что метрика  $g_J(X, Y) = \omega_1(X, J_1 Y)$  эйнштейнова. Тензор Риччи и скалярная кривизна имеют вид:

$$Ric = \begin{pmatrix} -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\psi_{5a}^4}{2} & -2\psi_{5a}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2\psi_{5a}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2\psi_{5a}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & -\frac{\psi_{5a}^2}{2} \end{pmatrix}, \quad R = -12\psi_{5a}.$$

**Полукэлеровы структуры на алгебрах Ли  $A_{3,3} \ltimes sl(2, \mathbb{R}), A_{3,1} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$  и  $A_{3,1} \ltimes so(3)$ .**

Для рассматриваемых групп условие замкнутости 2-формы  $\omega$  приводит к ее вырожденности. Ослабим требование замкнутости формы  $\omega$ . Известно, что в случае почти эрмитова многообразия размерности свойство  $d(\omega^{n-1}) = 0$  фундаментальной формы  $\omega$  определяет класс полукэлеровых многообразий по классификации Грея–Харвеллы [6]. В нашем шестимерном случае это условие полукэлеровости принимает вид  $\omega \wedge d\omega = 0$ .

Если невырожденная 2-форма  $\omega$  незамкнута, то можно рассматривать 3-форму  $d\omega$ . В работе [7] Хитчин определил понятие невырожденности (стабильности) для 3-форм  $\Omega$  и построил линейный оператор  $K_\Omega$ , квадрат которого пропорционален тождественному оператору  $Id$ . Следовательно, оператор  $K_\Omega$  может определять либо почти комплексную, либо почти паракомплексную структуру  $P$  на группе Ли, когда  $d\omega$  является невырожденной.

При нахождении полу-паракэлеровой структуры  $(\omega, P, g)$  нужно учитывать кроме условия  $\omega \wedge d\omega = 0$  еще и выполнение условия согласованности  $\omega(PX, PY) = -\omega(X, Y)$ . Тогда метрический тензор  $g_P$  определяется по формуле:  $g_P(X, Y) = \omega(X, PY)$ , где  $P$  – паракомплексная структура.

Отметим, что на всех указанных алгебрах Ли имеется интегрируемая паракомплексная структура, которая имеет вид:  $P_0 = \text{diag}\{1, 1, 1, -1, -1, -1\}$ .

Рассмотрим алгебру Ли  $A_{3,3} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$ . Пусть  $\omega = w_{ij}e^i \wedge e^j$  – произвольная 2-форма. Условие  $\omega \wedge d\omega = 0$  выполняется при следующих значениях параметров:

$$w_{13}w_{46} - w_{14}w_{36} - w_{14}w_{56} + w_{15}w_{46} + w_{16}w_{34} - w_{16}w_{45} + w_{23}w_{56} - w_{25}w_{36} + w_{26}w_{35} = 0,$$

$$-2w_{12}w_{36} + 2w_{13}w_{26} - 2w_{16}w_{23} = 0,$$

$$-w_{13}w_{56} + w_{15}w_{36} - w_{16}w_{35} - w_{23}w_{45} + w_{24}w_{35} - w_{25}w_{34} = 0.$$

При решении данной системы найдено восемь случаев, когда 3-форма  $d\omega$  является невырожденной. Причем в четырех случаях оператор Хитчина  $K_{d\omega}$  определяет почти паракомплексную структуру  $P_{d\omega}$  и коммутирует с  $\omega$ . В результате получается 4 семейства полу-паракэлеровых структур  $(\omega, P_{d\omega}, g_P)$ , для которых найдены геометрические характеристики.

Рассмотрим один из случаев, когда полукэлерова 2-форма  $\omega$  имеет вид:

$$\omega = e^1 \wedge (w_{14}e^4 + w_{15}e^5) + e^2 \wedge (w_{24}e^4 + w_{26}e^6) + e^3 \wedge w_{34}e^4 + e^4 \wedge \left( w_{45}e^5 + \frac{w_{56}w_{14}}{w_{15}}e^6 \right) + e^5 \wedge w_{56}e^6.$$

Для данной полу-паракэлеровой структуры  $(\omega, P_{d\omega}, g_{d\omega})$  найдены геометрические характеристики. В частности, скалярная кривизна имеет вид:

$$R = -36 \frac{w_{34}w_{26}(w_{15} + 9w_{24})}{w_{24}^2w_{15}^2}.$$

При выполнении условия согласованности  $\omega(P_0X, P_0Y) = -\omega(X, Y)$  с интегрируемой паракомплексной структурой  $P_0$ , 2-формы  $\omega$  принимает вид:

$$\omega = e^1 \wedge (w_{14}e^4 + w_{15}e^5) + e^2 \wedge (w_{24}e^4 + w_{26}e^6) + e^3 \wedge w_{34}e^4.$$

Для данной полу-паракэлеровой структуры  $(\omega, P_0, g_{P_0})$  найдены геометрические характеристики. В частности, скалярная кривизна имеет вид:

$$R = \frac{w_{14}^2 + w_{15}w_{24}}{w_{15}w_{34}w_{56}}.$$

Аналогично найдены полукэлеровы структуры на алгебрах Ли  $A_{3,1} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$  и  $A_{3,1} \ltimes so(3)$ .

**Теорема.** Из алгебр  $A_{3,5} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$ ,  $A_{3,3} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$ ,  $A_{3,1} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$ , и  $A_{3,1} \ltimes so(3)$  только алгебра Ли  $A_{3,5} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$  имеет многопараметрические семейства кэлеровых структур с интегрируемыми комплексными структурами и допускающими эйнштейновы метрики. Алгебры Ли  $A_{3,3} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$ ,  $A_{3,1} \ltimes sl(2, \mathbb{R})$ , и  $A_{3,1} \ltimes so(3)$  допускают многопараметрические семейства полу-паракэлеровых структур с интегрируемыми паракомплексными структурами.

### Литература и источники

1. Кобаяси, Ш. Основы дифференциальной геометрии: [в 2 томах] / Ш. Кобаяси, К. Номидзу. – Москва: Наука, 1981.
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. 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.
4. 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.
5. Chu Bon-Yao. Symplectic homogeneous spaces. // Trans. of the Amer. Math. Soc. — 1974. — Vol. 197, P. 154–159.
6. Gray A., Harvella L.M. The sixteen classes of almost Hermitian manifolds and their linear Invariants // Ann. Math. Pura Appl. — 1980. — V. 123.
7. Hitchin N.J. The geometry of three-forms in six dimensions J. Diff. Geom. 2000, Vol. 55, P. 547–576.

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



**ОБУЧЕНИЕ ШКОЛЬНИКОВ ПРОФИЛЬНЫХ КЛАССОВ ТЕМЕ  
«МНОГОГРАННИКИ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ***Степанова А.А.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[stepanova@kemsu.ru](mailto:stepanova@kemsu.ru)

**Аннотация:** На сегодняшний день большинство обучающихся не слишком увлекает геометрия. Многие из них не склонны считать этот предмет особо притягательным, а большинство ребят считают его очень сложным. Решение геометрических задач требует от обучающихся хорошо развитого абстрактного представления и логического мышления, исследовательских навыков и графической культуры. А этими качествами на высоком уровне обладают, к сожалению, не все школьники. В Едином государственном экзамене геометрические задания составляют третью часть всей работы. Стереометрия представлена заданиями 3 и 14 – это задачи на многогранники и тела вращения. Правильное выполнение данного материала – залог успеха и высокого балла результатов ЕГЭ. Тема «Многогранники» одна из основных в традиционном курсе школьной геометрии. Многогранники составляют центральный предмет стереометрии. Стереометрия – раздел геометрии, в котором изучаются свойства фигур в пространстве. Наряду с точками, прямыми и плоскостями в данном разделе рассматриваются геометрические тела и их поверхности, которые называются многогранниками. Центральная роль многогранников определяется, прежде всего, тем, что многие результаты, относящиеся к другим телам, получаются исходя из соответствующих результатов для многогранников. Кроме того, многогранники сами по себе представляют чрезвычайно содержательный предмет исследования, выделяясь среди всех тел многими интересными свойствами, специально к ним относящимися теоремами и задачами. Целью работы является создание и внедрение онлайн-курса на тему «Многогранники», знакомство обучающихся с основными видами многогранников (призма, пирамида, усеченная пирамида) и элементами их симметрии.

**Ключевые слова:** Многогранники, онлайн-курс, решения задач, тест, ЕГЭ, iSpring Suite.

На сегодняшний день большинство обучающихся не слишком увлекает геометрия. Многие из них не склонны считать этот предмет особо притягательным, а большинство ребят считают его очень сложным. Решение геометрических задач требует от обучающихся хорошо развитого абстрактного представления и логического мышления, исследовательских навыков и графической культуры. А этими качествами на высоком уровне обладают, к сожалению, не все школьники [3].

В Едином государственном экзамене геометрические задания составляют третью часть всей работы. Стереометрия представлена заданиями 3 и 14 – это задачи на многогранники и тела вращения. Правильное выполнение данного материала – залог успеха и высокого балла результатов ЕГЭ.

Тема «Многогранники» одна из основных в традиционном курсе школьной геометрии. Многогранники составляют центральный предмет стереометрии. Стереометрия – раздел геометрии, в котором изучаются свойства фигур в пространстве. Наряду с точками, прямыми и плоскостями в данном разделе рассматриваются геометрические тела и их поверхности, которые называются многогранниками [1-2].

Центральная роль многогранников определяется, прежде всего, тем, что многие результаты, относящиеся к другим телам, получаются исходя из соответствующих результатов для многогранников. Кроме того, многогранники сами по себе представляют чрезвычайно содержательный предмет исследования, выделяясь среди всех тел многими интересными свойствами, специально к ним относящимися теоремами и задачами [4].

**Целью работы** является создание и внедрение онлайн-курса на тему «Многогранники», знакомство обучающихся с основными видами многогранников (призма, пирамида, усеченная пирамида) и элементами их симметрии.

Содержание курса включает теоретический и практический материал, реализуемый в форме практикумов решения задач, уроков моделирования и конструирования. При освоении раздела обучающиеся изучат понятие многогранника, познакомятся с призмой, пирамидой, продолжат изучение свойств, куба, тетраэдра, получат знания, умения, навыки и опыт решения практически важных задач.

Курс был создан с помощью программы iSpring Suite, который позволяет создавать электронные курсы на базе PowerPoint, дополнять их с тестами, анкетами и интерактивностями. Удобная программа предназначена для структурирования учебных материалов, перевода их в цифровой формат, создания тестовых заданий, корпоративных тренингов и обучения сотрудников. Широкая сфера применения утилиты позволяет использовать ее для дистанционного обучения и репетиторства, оценки знаний персонала и создания презентаций.

Электронные курсы, собранные в iSpring Suite, адаптированы для компьютеров и мобильных устройств. В конструкторе есть библиотека контента, 13 интерактивностей, редактор тестов, инструмент для создания диалоговых тренажеров и программа для скринкастов.

Меню на русском языке, множество информационных материалов на сайте, видеоуроков iSpring помогут быстро разобраться с функционалом редактора курсов.

Из недостатков iSpring Suite можно отметить отсутствие возможности для самостоятельного программирования нужных профессиональному разработчику курсов функций, интерактивностей, команд.

Для создания тестов и опросов в iSpring Suite отвечает расширение QuizMaker. В ней можно быстро сделать тест, вставить в него видео и аудиофайлы, формулы, настроить к каждому вопросу обратную связь, объяснить пользователю, почему он ответил неправильно или дать дополнительную информацию к правильному ответу

В QuizMaker доступно 14 типов вопросов. Это выбор одного или нескольких вариантов ответов, вопрос типа “верно-неверно”, вопросы на соответствие, определение верной последовательности, заполнение пропусков или выбор верного ответа из выпадающего списка, задание на перетаскивание объектов, выбор области, перетаскивание слов. Также вы можете сделать задание по написанию эссе, введению числового или краткого ответа на вопрос, использовать для ответов шкалу Ликерта. Вопросы могут быть как оцениваемыми, так и анкетными.

Количество вопросов в тесте не ограничивается. Вы можете создавать вопросы теста, добавляя слайды PowerPoint по одному. а можно загрузить весь список вопросов из файла Excel. Это очень ускорит работу, если тест большой. iSpring QuizMaker позволяет настроить ветвление вопросов: у пользователя в зависимости от ответов формируется свой порядок вопросов.

Каждый раздел начинается с теоретической части, в котором указаны необходимые определения (рис. 1).

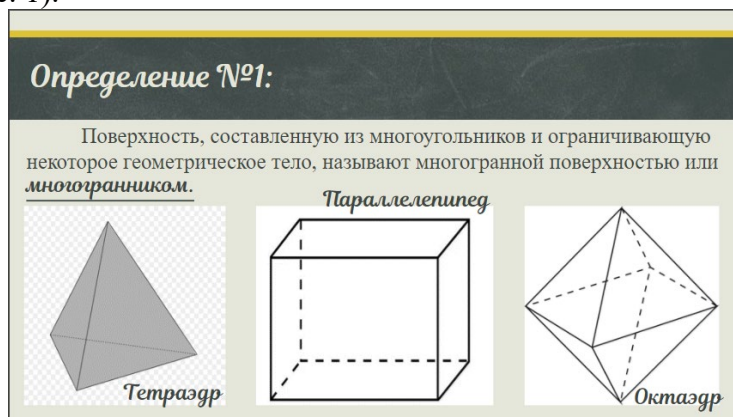


Рисунок 1. Определение многогранника и его примеры

В конце раздела школьникам будет представлен тест по пройденной теме с подробной инструкцией, в которой указано: сколько вопросов будет в данном тесте, можно ли пройти данный тест еще раз и какую отметку вы получили за набранные баллы (рис. 2).

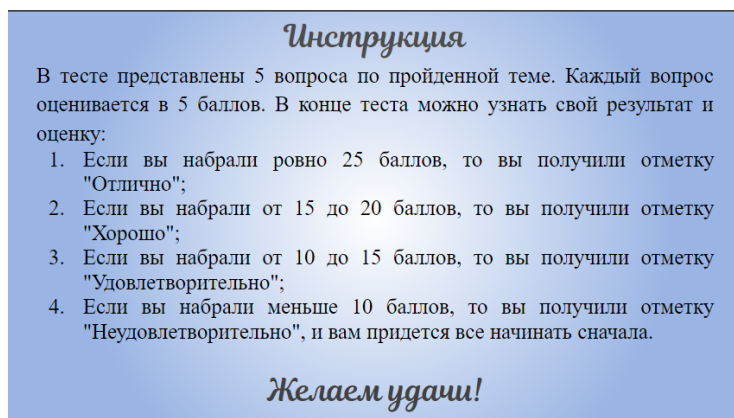


Рисунок 2. Пример инструкции к тесту

Полученные результаты будут отправлены на электронную почту учащегося, которая была предоставлена ранее с веденными именем и фамилией (рис. 3).

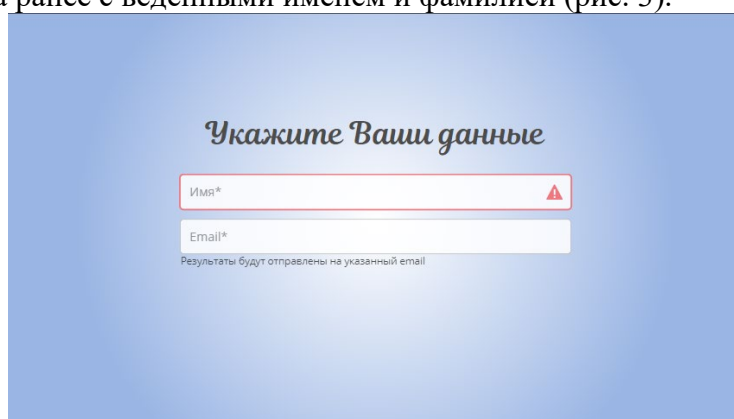


Рисунок 3. Заполнение личных данных

Также в онлайн-курсе присутствуют практические занятия решения задач по теме «Многогранники», которые разделены на три типа: школьные задачи, задачи ЕГЭ и для поступающих в ВУЗы, олимпиадные задачи и задачи повышенной трудности. На каждый раздел просмотрено определенное количество задач, в котором предусмотрены как условия с доказательством, так и нахождением площадей, объемов и сечений (рис. 4).



Рисунок 4. Пример иллюстрации задачи в онлайн-курсе

Таким образом, изучение раздела «Многогранники» дает возможность вызвать у обучающихся интерес к изучению геометрии, способствует познанию ее серьезного прикладного значения, формирует целостную картину мира, а значит, способствует повышению качества знаний выпускников по геометрии в целом.

#### Литература и источники

1.Л. С. Атанасян, В. Ф. Бутузов, С. Б. Кадомцев. Геометрия. 10 – 11 классы: учеб. для общеобразват. учреждений: базовый и профил. уровни. М.: Просвещение, 2013. 255 с.

2.А. Г. Мерзляк, Д. А. Номировский, В. Б. Полонский. Математика: алгебра и начало математического анализа, геометрия. Геометрия: 11 класс: базовый уровень: учебник для общеобразовательных организаций. М.: Вентана-Граф, 2013. 172 с.



3. Полный сборник решений задач по математике для поступающих в вузы. Группа А. / Под ред. М. И. Сканави. М.: ООО «Издательство «Мир и Образование»: ООО «Издательство Астрель», 2012. 912 с.

4. А. А. Рывкин, Е. Б. Ваховский. Сборник задач по математике с решениями для поступающих в вузы. М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. 544 с.

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

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ НА НИЛЬПОТЕНТНЫХ НЕСИМПЛЕКТИЧЕСКИХ ГРУППАХ ЛИ

Чернова К.В.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[karina.chernova.2002@mail.ru](mailto:karina.chernova.2002@mail.ru)

**Аннотация:** Известно, что 26 из 34 классов шестимерных нильпотентных групп Ли допускают левоинвариантные симплектические структуры. Из оставшихся восьми классов несимплектических групп Ли, пять групп Ли  $G_i$  не допускают также и комплексных структур и три группы Ли не являются симплектическими, но допускают комплексные структуры. Первые 5 групп исследованы в одной из работ Смоленцева Н.К., геометрия последних трех не симплектических групп Ли в настоящее время не исследована. Целью работы является определение на трех шестимерных группах Ли новых левоинвариантных геометрических структур, компенсирующие, в некотором смысле отсутствие симплектических структур, а также исследование геометрических свойств не симплектических нильпотентных групп Ли. Вместо свойства симплектичности за основы взято свойство полукэлеровости 2-формы  $\omega$ . Кроме того используется свойство невырожденности  $d\omega$ . Для каждой группы найдены семейства полукэлеровых 2-форм  $\omega$  и соответствующих псевдо римановых метрик. Определены и исследованы свойства левоинвариантных полукэлеровых 2-форм  $\omega$  на указанных группах Ли. Определены и исследованы свойства левоинвариантных 2-форм  $\omega$ , имеющих невырожденный внешний дифференциал  $d\omega$  в смысле Хитчина. В случае невырожденности  $d\omega$  определен оператор Хитчина  $K_{d\omega}: \mathfrak{g} \rightarrow \mathfrak{g}$  равенством:  $\iota_{K_{d\omega}} \omega = \iota_X d\omega \wedge \omega$ , где  $\mu$  - элемент объема. Определим  $\lambda(d\omega)$  как след квадрата  $K_{d\omega}$ . 3-форма  $d\omega$  является невырожденной, если  $\lambda(d\omega) \neq 0$ . В этом случае 3-форма  $d\omega$  определяет

пара-комплексную структуру  $P_{d\omega}$  на алгебре Ли  $\mathfrak{g}$  следующим образом:  $P_{d\omega} = \frac{1}{\sqrt{\lambda(d\omega)}} K_{d\omega}$ . Найдены и изучены пара-комплексные структуры  $P_{d\omega}$  для всех трех случаев групп. Исследованы геометрические свойства паракомплексных и комплексных структур на указанных группах Ли. Определены ассоциированные метрики и вычислены их свойства кривизны.

**Ключевые слова:** группы Ли, нильпотентные алгебры Ли, симплектическая структура, комплексная структура.

Известно [1], что 26 из 34 классов шестимерных нильпотентных групп Ли допускают левоинвариантные симплектические структуры. Из оставшихся восьми классов несимплектических групп Ли, пять групп Ли  $G_i$  не допускают также и комплексных структур и три группы Ли не являются симплектическими, но допускают комплексные структуры. Первые 5 групп исследованы в работе Смоленцева Н.К. [2], геометрия последних трех несимплектических групп Ли в настоящее время не исследована.

**Целью работы** является исследование геометрических свойств несимплектических нильпотентных групп Ли, которые допускают комплексные структуры.

### 1. Предварительные сведения

Пусть  $G$  – вещественная группа Ли размерности  $m$  и  $\mathfrak{g}$  – ее алгебра Ли. В матричном представлении нильпотентная алгебра Ли – это алгебра верхних треугольных матриц с нулями на главной диагонали. Свойство нильпотентности алгебры Ли  $\mathfrak{g}$  эквивалентно существованию базиса  $\{e_1, \dots, e_m\}$  алгебры Ли, для которого

$$[e_i, e_j] = \sum_{k>i,j} C_{ij}^k e_k, \quad 1 \leq i < j \leq m.$$

Симплектическая структура – это замкнутая невырожденная 2-форма  $\omega$ .

Левоинвариантная почти комплексная структура на группе Ли  $G$  есть левоинвариантное поле эндоморфизмов  $J: TG \rightarrow TG$  касательного расслоения  $TG$ , обладающее свойством  $J^2 = -Id$ . Поскольку  $J$  определяется линейным оператором  $J$  на алгебре Ли  $\mathfrak{g} = T_e G$ , то для простоты мы будем говорить, что  $J$  – это инвариантная почти комплексная структура на алгебре Ли  $\mathfrak{g}$ . Для того, чтобы почти комплексная структура  $J$  определяла бы комплексную структуру на группе Ли  $G$ , необходимо и достаточно обращения в нуль тензора Нейенхайса:

$$N(X, Y) = [JX, JY] - [X, Y] - J[JX, Y] - J[X, JY] = 0, \text{ для любых } X, Y \in \mathfrak{g}.$$

*Почти пара-комплексной структурой* на  $2n$ -мерном многообразии  $M$  называется поле  $P$  эндоморфизмов касательного расслоения  $TM$ , таких, что  $P^2 = Id$ , причем ранги собственных распределений  $T^\pm M := \ker(Id \mp P)$  равны. *Почти пара-комплексная структура*  $K$  называется *интегрируемой*, если распределения  $T^\pm M$  инволютивны. В этом случае  $P$  называется *пара-комплексной структурой*. *Пара-кэлерово* многообразие можно определить как псевдориманово многообразие  $(M, g)$  с кососимметрической пара-комплексной структурой  $P$  и замкнутой фундаментальной формой  $\omega = g \circ P$ .

В нашем случае несимплектической группы Ли любая невырожденная 2-форма  $\omega$  незамкнута. Поэтому можно рассматривать 3-форму  $d\omega$ . В работе [3] Хитчин определил понятие невырожденности (стабильности) для 3-форм  $\Omega$  и построил линейный оператор  $K_\Omega$ , квадрат которого пропорционален тождественному оператору  $Id$ . Следовательно, оператор  $K_\Omega$  может определять либо почти комплексную, либо почти паракомплексную структуры на группе Ли, когда  $d\omega$  является невырожденной.

## 2. Несимплектические группы

В данной работе изучаются нильпотентные группы Ли, которые не допускают левоинвариантные симплектической структуры, но могут иметь комплексные структуры. В соответствии с классификацией [1] они имеют алгебры Ли со следующими ненулевыми скобками Ли:

$$\mathfrak{g}_1: [e_1, e_2] = e_4, [e_2, e_3] = e_5, [e_1, e_4] = e_6, [e_3, e_5] = -e_6.$$

Для рассматриваемых групп условие замкнутости 2-формы  $\omega$  приводит к ее вырожденности. Ослабим требование замкнутости формы  $\omega$ . Известно [4], что в случае почти эрмитова многообразия размерности свойство  $d(\omega^{-1}) = 0$  фундаментальной формы  $\omega$  определяет класс *полукэлеровых* многообразий по классификации Грея–Харвеллы [4]. В нашем шестимерном случае это условие полукэлеровости принимает вид  $\omega \wedge d\omega = 0$ .

Рассмотрим первую группу Ли  $G_1$ , которая не допускает симплектических структур, но имеет комплексные. Она определяется алгеброй Ли  $\mathfrak{g}_1$ . Комплексные структуры на этой группе Ли были исследованы в работе Магина [5]. Мы будем использовать следующие коммутационные соотношения работы [5] (которые получаются заменой:  $e_2 \leftrightarrow e_3, e_5 := -e_5$ ):

$$[e_1, e_3] = e_4, [e_1, e_4] = e_6, [e_2, e_3] = e_5, [e_2, e_5] = e_6.$$

**Пара-полукэлеровы структуры.** Пусть  $\omega = w_{ij} e^i \wedge e^j$  – произвольная 2-форма. Рассмотрим вопрос о ее паракэлеровости и невырожденности в смысле Хитчина [3] внешнего дифференциала  $d\omega$  невырожденной 2-формы  $\omega$  и исследуем паракомплексные структуры, соответствующие невырожденным  $d\omega$ .

Условие  $\omega \wedge d\omega = 0$  выполняется при условиях:

$$\begin{aligned} -w_{24}w_{56} + w_{25}w_{46} - w_{26}w_{45} &= 0, & -w_{14}w_{56} + w_{15}w_{46} - w_{16}w_{45} &= 0, \\ w_{13}w_{46} - w_{14}w_{36} + w_{16}w_{34} + w_{23}w_{56} - w_{25}w_{36} + w_{26}w_{35} &= 0. \end{aligned}$$

Существует 6 решений этой системы уравнений. При этом в двух случаях 3-форма  $d\omega$  является невырожденной. Рассмотрим одно из этих решений, для которого 2-форма имеет вид:

$$\omega = e^1 \wedge \left( w_{12} e^2 + w_{13} e^3 + \frac{w_{15}w_{46} - w_{16}w_{45}}{w_{56}} e^4 + w_{15} e^5 + w_{16} e^6 \right) +$$

$$e^2 \wedge \left( \omega_{23} e^3 + \frac{w_{25}w_{46} - w_{26}w_{45}}{w_{56}} e^4 + w_{25} e^5 + w_{26} e^6 \right) + \\ e^3 \wedge (w_{34}e^4 + w_{35}e^5 + w_{36}e^6) + e^4 \wedge (w_{45}e^5 + w_{46}e^6) + w_{56}e^5 \wedge e^6,$$

где

$$\omega_{23} = -\frac{w_{13}w_{46}w_{56} - w_{15}w_{36}w_{46} + w_{16}w_{34}w_{56} + w_{16}w_{36}w_{45} - w_{25}w_{36}w_{56} + w_{26}w_{35}w_{56}}{w_{56}^2}.$$

Для данной 2-формы оператор Хитчина  $K_{d\omega}: \mathfrak{g}_1 \rightarrow \mathfrak{g}_1$  определен равенством:  $\iota_{K_{d\omega}(X)}\mu = \iota_X d\omega \wedge d\omega$ , где  $\mu = e^1 \wedge e^2 \wedge e^3 \wedge e^4 \wedge e^5 \wedge e^6$ . Определим  $\lambda(d\omega)(\mathbb{R})$  как след квадрата  $K_{d\omega}$ :  $\lambda(d\omega) = \frac{1}{6} \text{tr}(K_{d\omega}^2)$ , Вычисления показывают, что  $\lambda(d\omega) = (w_{46}^2 + w_{56}^2)^2$ .

Таким образом, форма  $d\omega$  является невырожденной, если  $w_{46}^2 + w_{56}^2 \neq 0$ . В нашем случае  $\lambda(d\omega) > 0$ , поэтому 3-форма  $d\omega$  определяет пара-комплексную структуру  $P_{d\omega}$  на вещественном векторном пространстве  $\mathfrak{g}_1$  следующим образом:

$$P_{d\omega} = \frac{1}{\sqrt{\lambda(d\omega)}} K_{d\omega}.$$

Для оператора паракомплексной структуры  $P_{d\omega_1}$  выполняется свойство согласованности с формой  $\omega$ :  $\omega(P_{d\omega}X, P_{d\omega}Y) = -\omega(X, Y)$ . Рассмотрим свойство интегрируемости, т.е. обращения в нуль тензора Нейенхейса:

$$N(X, Y) = [P_{d\omega}X, P_{d\omega}Y] + [X, Y] - P_{d\omega}[P_{d\omega}X, Y] - P_{d\omega}[X, P_{d\omega}Y] = 0.$$

Вычисления показывают, что тензор Нейенхейса не обращается в нуль. Потребуем равенства нулю максимального числа компонент тензора  $N$ . Поскольку  $w_{56} \neq 0$ , то получаем  $w_{46} = 0$ ,  $w_{36} = 0$ ,  $w_{16} = 0$ ,  $w_{45} = 0$ . При указанных выше значениях параметров получаем следующее выражение формы  $\omega_1$  и почти паракомплексной структуры:

$$\omega = e^1 \wedge (w_{12} e^2 + w_{13} e^3 + w_{15} e^5) + e^2 \wedge \left( -\frac{w_{26}w_{35}}{w_{56}} e^3 + w_{25} e^5 + w_{26} e^6 \right) + \\ e^3 \wedge (w_{34}e^4 + w_{35}e^5) + w_{56}e^5 \wedge e^6,$$

$$P_{d\omega}(e_1) = -e_1 - \frac{2w_{15}}{w_{56}} e_6, \quad P_{d\omega}(e_2) = e_2 - \frac{2w_{26}}{w_{56}} e_6,$$

$$P_{d\omega}(e_3) = e_3, \quad P_{d\omega}(e_4) = -e_4, \quad P_{d\omega}(e_5) = -e_5, \quad P_{d\omega}(e_6) = e_6.$$

Ассоциированная метрика пара-полукэлэровой структуры определяется по формуле  $g_{d\omega}(X, Y) = \omega(X, P_{d\omega}Y)$ . Вычислены геометрические характеристики метрики  $g_{d\omega}$ . В

частности, скалярная кривизна имеет выражение:  $R = \frac{w_{56}^2}{w_{34}(w_{12}w_{56} - w_{15}w_{26})}$ .

**Полукэлэровы структуры.** Рассмотрим комплексную структуру  $J$ , найденную в работе Маггина [5] и рассмотрим полукэлэровы структуры с комплексной структурой  $J$  и фундаментальной формой  $\omega$ , обладающей свойствами:

$$1. \omega \wedge d\omega = 0.$$

$$2. \text{Согласованность с оператором } J, \omega(JX, JY) = \omega(X, Y).$$

Нормализованная комплексная структура, найденная Маггиним в работах [5] имеет вид:

$$J(e_1) = e_2, \quad J(e_3) = -\xi_{36}e_6, \quad J(e_4) = e_5,$$

где  $\xi_{36} = \pm 1$ . Остальные комплексные структуры получаются действием группы автоморфизмов. Возьмем для определенности взять  $\xi_{36} = 1$ .

Пусть  $\omega = w_{ij}e^i \wedge e^j$  – произвольная 2-форма. Вычисления показывают, что существуют четыре решения указанных выше условий 1 и 2 и для которых  $d\omega$  является невырожденной в смысле Хитчина. Рассмотрим одно из этих решений. 2-форма  $\omega$  имеет вид:

$$\omega_1 = e^1 \wedge (w_{12} e^2 + w_{13} e^3) - w_{13} e^2 \wedge e^3 + e^3 \wedge (w_{34} e^4 + w_{36} e^6) + w_{34} e^5 \wedge e^6.$$

Для данной 2-формы определяем (псевдо) риманову метрику по формуле  $g_{\omega_1}(X, Y) = \omega_1(X, JY)$ . В результате получаем семейство полукэлеровых структур  $(J, \omega_1, g_{\omega_1})$ .

Вычислены геометрические характеристики метрики  $g_{\omega_1}$ . В частности, скалярная кривизна:

$$S = \frac{w_{36}^2}{w_{34}^2 w_{12}}.$$

**Заключение.** Мы показали, что на несимплектической группе Ли  $G_1$  существуют полукэлеровы 2-формы  $\omega$  с невырожденными дифференциалами  $d\omega$  с интересными геометрическими свойствами. Аналогичные результаты получены для других групп  $G_2$  и  $G_3$ .

### 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. Left-invariant almost para-complex structures on six dimensional nilpotent Lie groups. 2018, (arXiv:1801.07991, [math.DG]), 14 p.
3. Hitchin N.J. The geometry of three-forms in six dimensions J. Diff. Geom. 2000, Vol. 55, P. 547–576.
4. Gray A., Harvella L.M. The sixteen classes of almost Hermitian manifolds and their linear Invariants. // Ann. Math. Pura Appl. 1980, Vol.123, P.35–58.
5. Magnin L. Complex structures on indecomposable 6-dimensional nilpotent real Lie algebras. Intern. J. of Algebra and Computation, vol. 17, Nr 1, 2007, p. 77-113.
6. Алексеевский Д. В., Медори К., Томассини А. Однородные пара-кэлеровы многообразия Эйнштейна. УМН, 2009, том 64, выпуск 1(385), С. 3–50.
7. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. Методы и приложения. В 2 т. М: Эдиториал УРСС, 1998.
8. Hitchin N.J. The geometry of three-forms in six dimensions J. Diff. Geom. 2000, Vol. 55, P. 547–576.
9. Magnin L. Complex structures on indecomposable 6-dimensional nilpotent real Lie algebras. Intern. J. of Algebra and Computation, vol. 17, Nr 1, 2007, p. 77-113.

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

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ ВЕРХОВОМ ЛЕСНОМ ПОЖАРЕ

Роксина Е.П.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
[epr3@tpu.ru](mailto:epr3@tpu.ru)

**Аннотация:** Для Российской Федерации лес имеет огромное значение, так как лесной фонд занимает более половины территории страны. Экологическая ценность лесного массива - очищение атмосферного воздуха и обогащение его кислородом. Кроме того, с экономической точки зрения, леса служат источником сырьевой базой для промышленности, играют существенную роль в сельхозпроизводстве. Наша страна является крупнейшим производителем деловой древесины. Однако в последние годы наблюдается увеличение количества природных пожаров, число которых по всему миру ежегодно достигает около 7 000 000. Эти пожары наносят огромный ущерб, представляют угрозу жизни и здоровью людей. Наиболее опасными пожарами являются верховые пожары, так как, охватывая полог леса, они образуют большое скопление горящей хвои с искрами, разлетающимися за пределы фронта огня. Они способны переносить огонь на несколько сотен метров от главного очага возгорания, тем самым создавая новые пожары. Именно поэтому складывается необходимость научного изучения данного явления, а именно - моделирования верховых пожаров. Но, в связи с тем, что экспериментальные методы изучения лесных пожаров являются дорогостоящими и не позволяют проводить полное физическое моделирование данного явления, стоит рассматривать теоретические методы моделирования. Например, метод математического моделирования, позволяющий адекватно оценивать состояние лесного биогеоценоза и приземного слоя атмосферы при лесных пожарах. Цель данной статьи заключается в рассмотрении математического моделирования верховых лесных пожаров. На основе нестационарной двумерной задачи теплопереноса, была составлена математическая постановка задачи, решение которой было основано на методах контрольных объемов и численного решения. В результате исследования была построена математическая модель верхового лесного пожара, получены распределения температуры и концентрации загрязняющих веществ при перемещающемся источнике и изменением плотности с течением времени.

**Ключевые слова:** Математическое моделирование, верховой лесной пожар, теплоперенос.

Рассмотрим нестационарную двумерную задачу теплопереноса при распространении верхового лесного пожара. В рассматриваемой области в начальный момент времени  $t=0$  задано распределение температуры  $T=T_0$ . На левой границе расчетной области, на фиксированной высоте задана скорость ветра. Внутри области задан очаг горения. Необходимо найти распределение температуры и концентрации загрязняющих веществ по всей области в различные моменты времени для различных значений параметров (рисунок 1).

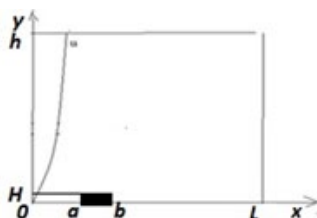


Рисунок 1. Схема расчетной области

Математически процесс переноса тепла с течением времени в данной области описывается с помощью следующей системы дифференциальных уравнений (уравнений неразрывности, движения и теплопроводности) с соответствующими начальными и граничными условиями:



$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0; \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial y} \right); \quad (2)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) - g(\rho - \rho_e); \quad (3)$$

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + S; \quad (4)$$

$$\rho \left( \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + A; \quad (5)$$

$$P_e = \rho R T \quad (6)$$

Начальные и граничные условия имеют следующий вид:

$$t = 0: u = 0, v = 0, T = T_e, C = C_e, \alpha = \alpha_0, b = b_0; \quad (7)$$

$$x = 0: u = u(0, y), v = 0, T = T_e, C = C_e; \quad (8)$$

$$x = l: \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \frac{\partial C}{\partial x} = 0; \quad (9)$$

$$y = 0: u = 0, v = v_0 (\alpha \leq x \leq b), T = T_e, C = C_e, T = T_g, C = C_g (\alpha \leq x \leq b); \quad (10)$$

$$y = h: \frac{\partial u}{\partial y} = 0, \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \frac{\partial C}{\partial y} = 0. \quad (11)$$

Где  $t$  – время,  $u, v$  – проекции вектора скорости на оси  $x, y$ ,  $P$  – давление,  $T$  – температура,  $\rho$  – плотность,  $\mu, \lambda$  – коэффициенты турбулентной, вязкости и теплопроводности,  $C_p$  – теплоемкость воздуха. Источник выделения тепла  $S$  задан по формуле:

$$S = \begin{cases} S_0, & \alpha(t) \leq x \leq b(t), 0 \leq y \leq H; \\ 0 & \end{cases} \quad (12)$$

Где левая и правая границы фронта пожара задаются по формуле:

$$a = a_0 + \omega t, b = b_0 + \omega t, \quad (13)$$

$\omega$  – скорость распространения фронта пожара м/с. Аналогично задается источник распространения загрязняющих веществ  $A$ ;

Скорость ветра на левой границе области задается по формуле:

$$u(0, y) = u_0 (y/y_0)^{0.2}, \quad (14)$$

где  $u_0$  – скорость ветра на высоте  $y_0 = 1$  м. Необходимо рассмотреть варианты при  $u_0 = 5, 7, 10$  м/с.

Коэффициент динамической вязкости задается по формуле:

$$\mu = 0.4y, \lambda = \mu C, \quad (15)$$

Исходные данные:  $t = 3$  с,  $S_0 = (2, 4 \cdot 10^6)$  Дж/(м<sup>3</sup> с),  $A_0 = 180$  кг/м<sup>3</sup>,  $a_0 = 5$  м,  $b_0 = 7$  м,  $H = 5$  м,  $l = 40$  м,  $h = 20$  м,  $P_e = 10^5$  н/м<sup>2</sup>.

Решение выше описанной задачи было произведено с помощью методов контрольных объемов и численного решения, основанного на методе переменных направлений.

На основе математической постановки задачи была написана компьютерная программа, рассчитывающая распределение температуры и концентрации загрязняющего вещества на двумерной плоскости согласно нестационарному уравнению.

В результате расчетов были получены изотермы: 1 – 600К, 2 – 800К и 3 – 1000К, а также изолинии концентрации продуктов горения: 1 - 10 кг/м<sup>3</sup>, 2 - 20 кг/м<sup>3</sup>, 3 - 30 кг/м<sup>3</sup>, 4 - 40 кг/м<sup>3</sup>, 5 - 50 кг/м<sup>3</sup>, визуализированные в виде графиков (рисунок 2). На основе полученных данных следует, что при увеличении времени, фронт пожара распространяется дальше по плоскости. При увеличении скорости ветра фронт пожара распространяется быстрее, поглощая все большую площадь. К тому же из рисунков видно, что при увеличении скорости ветра температура и концентрация продуктов горения возрастают в области поверхности земли. При этом концентрация загрязняющих веществ становится меньше за счет усиления конвективного переноса.

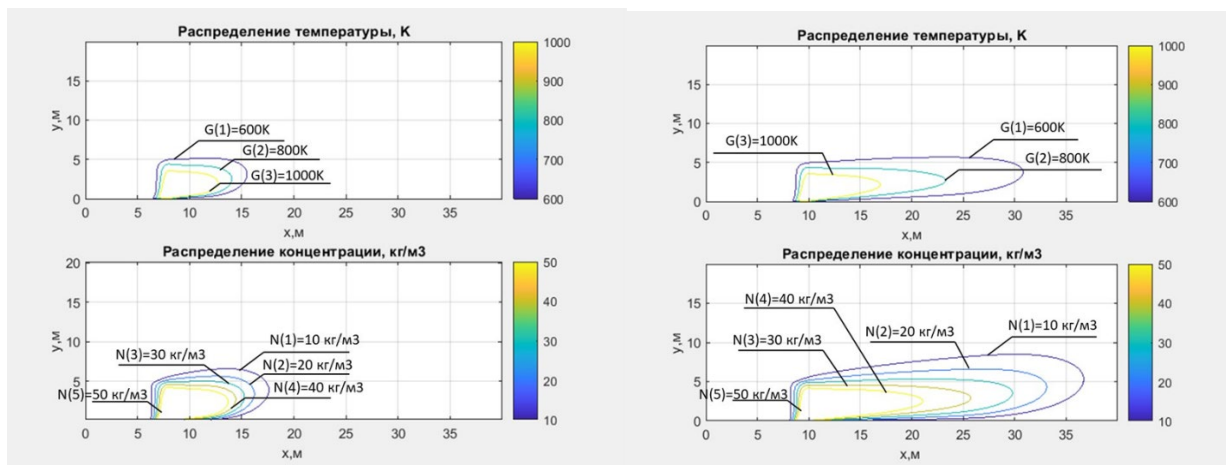


Рисунок 2. Распределения температуры и концентрации при скорости ветра 5 м/с при 1 и 3 секундах соответственно

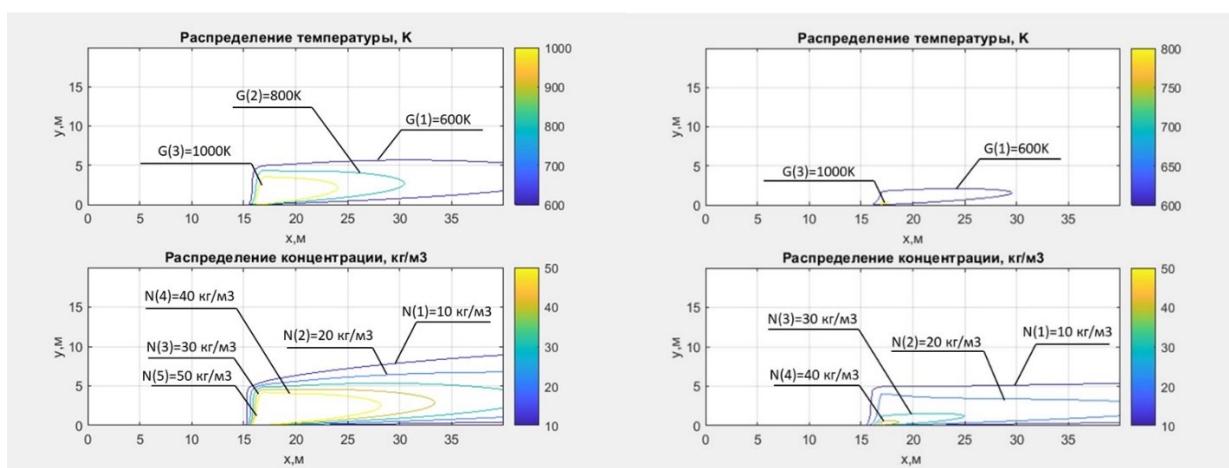


Рисунок 3. Распределения температуры и концентрации при 10 секундах и скорости ветра 5 м/с и 10 м/с

Таким образом, в ходе проделанной работы была решена нестационарная задача процесса тепломассопереноса при верховом лесном пожаре. Построена математическая модель, получены распределения температуры и концентрации загрязняющих веществ при перемещающемся источнике и изменением плотности с течением времени. Распределения визуализированы путем построения изотерм и изолиний концентраций на графиках. Расчет проведен при разной скорости ветра и времени.

#### Литература и источники

1. Перминов, В.А. Математическое моделирование лесных пожаров: возникновение верховых и массовых лесных пожаров. – Москва: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. – 20, 31-32 с.
2. Седов Л.Г. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1976. Т.1. 536 с.
3. Фильков, А.И. Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. – 8, 15-29 с.
4. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992. 408 с.

*Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Перминов В.А., ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»*



## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТОЧНОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЁТОВ ВТОРИЧНОГО ТЕЧЕНИЯ В КАРОТИДНОМ СИНУСЕ

*Носкова С.И.<sup>1</sup>, Дербилова В.П.<sup>2</sup>*

1 - ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

2 - ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России  
sonecc8950263@yandex.ru, 100.100@mail.ru

**Аннотация:** Бифуркация сонной артерии и каротидный синус являются областями наиболее подверженными атеросклеротическим поражениям, которые могут привести к нарушению кровоснабжения головного мозга. Этот факт объясняется сложным поведением течения крови в бифуркации сонной артерии, связанным с его нестационарным характером и наличием в этой части сосуда значительной доли компонент скорости в направлении, ортогональном осевой линии. Эти компоненты составляют так называемое «вторичное течение». Актуальность численных исследований вторичного течения состоит в том, что понимание его структуры позволяет делать выводы о наличии рисков факторов атеросклероза сонной артерии. Цель работы – исследование сеточной независимости результатов численных расчётов вторичного течения в каротидном синусе. Трёхмерная геометрическая модель сосуда строилась на основании данных томографического обследования практически здорового человека. В этой модели методом конечных элементов проводились численные расчёты установившегося периодического течения крови с типовыми значениями параметров крови и временной зависимостью объёмной скорости на входном сечении, характерными для практически здорового человека. Численные расчёты проводились на пяти тетраэтральных сетках с различными размерами ячеек. По результатам расчётов строилось вторичное течение в двух ортогональных плоскостях, расположенных в зоне каротидного синуса. Сравнивались результаты расчётов вторичного течения в этих сечениях, проведённые на различных сетках в различные фазы сердечного цикла. Установлены размеры ячеек расчётной сетки, позволяющие с достаточной точностью и с приемлемыми затратами машинного времени рассчитывать параметры вторичного течения в ортогональных сечениях.

**Ключевые слова:** численное моделирование, сеточная независимость, гемодинамика, вторичное течение, каротидный синус.

Каротидный синус – область расширения внутренней сонной артерии после бифуркации, является областью со сложной структурой кровотока и, вследствие этого, зоной риска возникновения различных патологических явлений, связанных с нарушением кровоснабжения головного мозга [1]. Сложная структура кровотока объясняется как его нестационарным характером, так и наличием значительной доли компонент скорости в направлении, ортогональном осевой линии сосуда. Эти компоненты составляют т.н. «вторичное течение» и вычисляются проектированием вектора скорости на плоскость, ортогональную осевой линии. Актуальность численных исследований вторичного течения состоит в том, что понимание его структуры позволяет делать выводы о наличии рисков факторов таких патологий как атеросклероз, тромбоз.

Цель работы – исследование сеточной независимости результатов численных расчётов вторичного течения в каротидном синусе.

Построение 3D модели сосуда и расчётных сеток выполнялись в приложении SimVascular [2]. Исходными данными для построения 3D модели служили результаты томографического обследования практически здорового человека. Численные расчеты кровотока методом конечных элементов в предположении жёстких боковых стенок также осуществлялись в SimVascular. Использовались типовые значения параметров крови и краевые условия на входном и выходных сечениях [3]. Моделировался установившийся периодический кровоток с временной зависимостью объёмной скорости на входном сечении характерной для здорового человека [4]. Как было показано в [3], стабилизация

периодического кровотока с приемлемой точностью достигается уже не втором периоде сердечного цикла после начала расчёта. В настоящей работе численные расчёты проводились для двух периодов. Все данные, которые приведены далее относятся ко второму периоду.

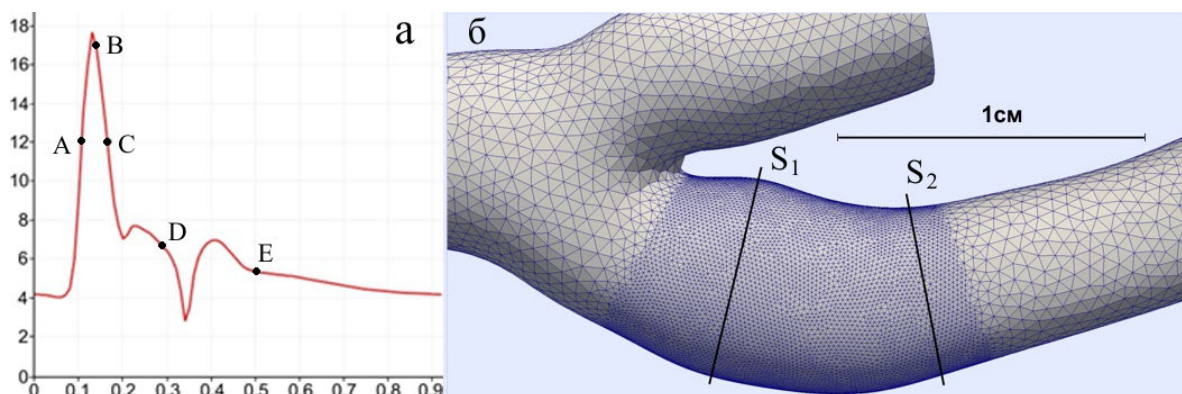


Рисунок 1. а) кривая зависимости от времени объёмной скорости течения на входе мл/с.  
б) расчётная сетка и ортогональные сечения  $S_1$  и  $S_2$

Численные расчёты проводились на отрезке сосуда длиной 5 см, включающем бифуркацию. В качестве основной расчётной сетки использовалась тетраэдральная сетка TetGen [2] с длиной ребра не более 0.06 см, которая обозначается далее  $M_0$ . Для построения других сеток использовалось измельчение основной сетки в области, изображённой на рисунке 1б. Для сетки  $M_0$  расчёты не проводились. Параметры использованных сеток, приведены в таблице 1. Через  $r$  обозначена максимальная длина ребра (см), через  $n$  – количество узлов, через  $m$  – количество элементов сетки.

Таблица 1.

Параметры сеток					
	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
$r$ (см)	0.06	0.04	0.02	0.015	0.012
$n$	2.6e5	3.0e5	8.0e5	1.0e6	2.3e6
$m$	1.4e6	1.7e6	4.5e6	5.9e6	1.4e7

Вторичное течение изучалось в двух сечениях сосуда  $S_1$  и  $S_2$  в области измельчения сеток, изображённых на рисунке 1б. Вектор нормали к плоскости сечения выбирался в направлении касательного вектора осевой линии сосуда в точке её пересечения с плоскостью. На этих сечениях вычислялся вектор скорости вторичного течения как тангенциальная составляющая  $V_\tau$  вектора скорости  $V$ . На рисунке 2 изображено вторичное течение в сечениях  $S_1$  и  $S_2$  при  $t = 18$  мс (точка  $C$  на рисунке 1а).

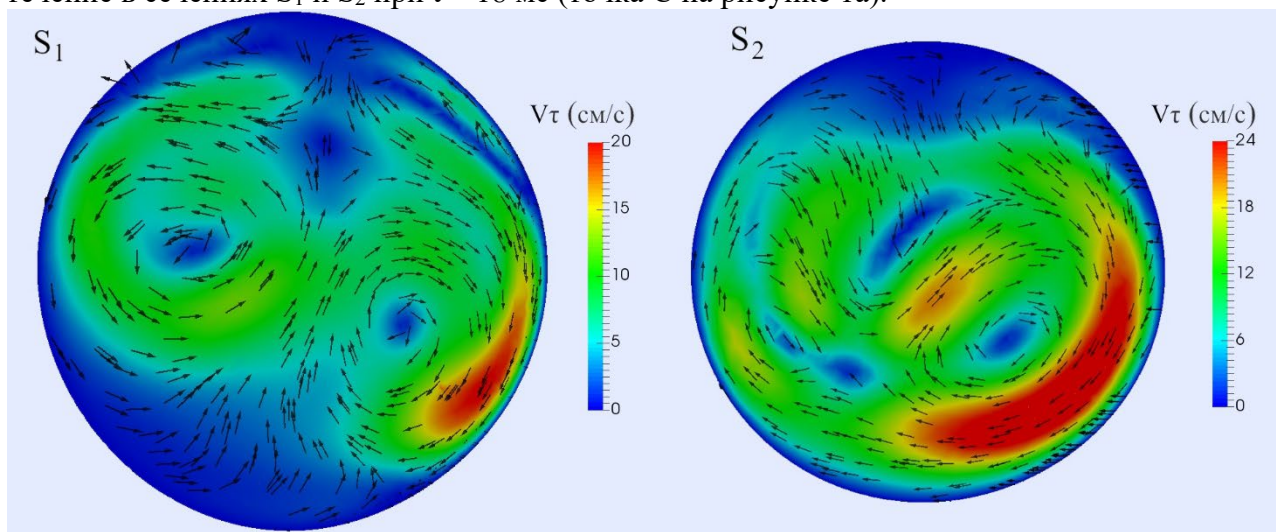


Рисунок 2. Вторичное течение в сечениях  $S_1$  и  $S_2$  при  $t = 180$  мс (точка «С» на рисунке 1 а)

Для оценки доли вторичного течения в потоке, по результатам численных расчётов вычислялось отношение модулей интегральных значений  $V_\tau$  и  $V$  по сечениям  $S_1$  и  $S_2$  в различные моменты времени, обозначаемое далее через  $V_s$ :

$$V_s = \int_S \|V_\tau\| ds / \int_S \|V\| ds \quad (1)$$

Значения показателя  $V_s$  вычислялись в моменты времени  $t = 11, 14, 18, 29, 50$ , отмеченные буквами А, В, С, D, Е на рисунке 1а. Кроме того, для каждой сетки начиная с  $M_2$  вычислялись модули изменения  $V_s$  по сравнению с предыдущей сеткой, обозначаемые далее  $\Delta V_s$ . В таблице 2 приведены значения отношения  $\Delta V_s/V_s$  для сеток  $M_2 - M_5$  в моменты времени А – Е.

Таблица 2.

Значения  $\Delta V_s/V_s$  для сечений  $S_1$  и  $S_2$

	$\Delta V_s/V_s$ для $S_1$					$\Delta V_s/V_s$ для $S_2$				
	А	В	С	D	Е	А	В	С	D	Е
$M_2$	1.4e-2	5.0e-2	5.2e-3	5.1e-3	9.0e-3	1.5e-2	4.1e-4	2.6e-2	7.7e-2	2.1e-2
$M_3$	1.0e-2	5.4e-3	3.5e-3	4.2e-2	4.1e-2	9.6e-4	2.0e-2	6.3e-3	1.1e-2	3.8e-2
$M_4$	5.2e-5	7.9e-5	4.4e-4	1.5e-4	9.4e-5	2.9e-7	2.5e-4	1.6e-4	2.8e-5	5.3e-5

На рисунке 3 изображена диаграмма значения показателя  $V_s$  в моменты времени А – Е для сеток  $S_1$  и  $S_2$ .

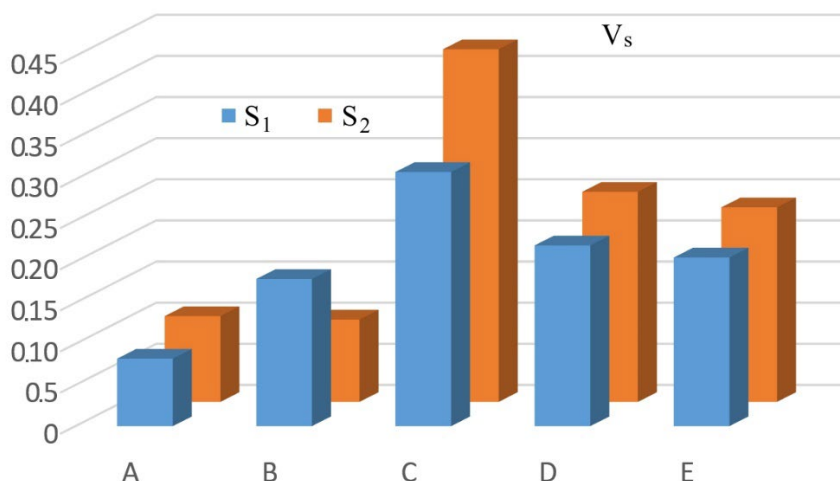


Рисунок 3. Значения показателя  $V_s$  в моменты времени А, В, С, D, Е

Из диаграммы на рисунке 3 следует, что наименьшая доля вторичного течения наблюдается в области систолического роста скорости кровотока (точка «А»), а наибольшая – в области систолического спада скорости (точка «С»).

Из таблицы 2 следует, что наибольшая разница в расчётах показателя  $V_s$  между сетками  $M_1$  и  $M_2$  составляет 7.7%, между сетками  $M_2$  и  $M_3$  – 4.2%, а между сетками  $M_3$  и  $M_4$  разница в расчётах уже не более 0.044%. Таким образом, можно сделать вывод, что в нашем случае расчёты с сетками  $M_1 - M_2$  не дают приемлемой точности, а начиная с сетки  $M_3$  достигается точность вычислений, достаточная для данного класса задач.

### Литература и источники

1. Дербилова В.П., Виноградов Р.А., Захаров Ю.Н., Борисов В.Г., и др. Компьютерное моделирование гемодинамических показателей в нормальной бифуркации общей сонной артерии. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2022; 28 (1): 29–35. DOI: <https://doi.org/10.33029/1027-6661-2022-28-1-29-35>.

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. Борисов В.Г., Захаров Ю.Н., Виноградов Р.А., Дербилова В.П., Хетеева Э.Э., Виноградова Э.Р. Численное исследование гемодинамических показателей в персонально-специфической модели сонной артерии // Известия Алт. гос. ун-та. 2024. № 1 (135). С. 82–88. DOI: 10.14258/izvasu(2024)1-10.

4. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний: Руководство для врачей. Под ред. В.П. Куликова. 2-е издание. Москва: ООО «Фирма СТРОМ». 2011; 512.

*Научный руководитель - к.ф.-м.н., доцент Борисов В. Г. ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

**СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ОБУЧАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ***Коробейникова Е.Д.*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

[katerina250602@mail.ru](mailto:katerina250602@mail.ru)

**Аннотация:** Статья посвящена изучению современных инструментов, которые позволяют разрабатывать интерактивные обучающие материалы. В первой части работы подробно рассматривается сущность интерактивного обучения и его цели, функции, типы интерактивных средств обучения, основные критерии классификации интерактивных средств обучения, а также приведены различия между традиционным режимом обучения и моделью интерактивного обучения. Во второй части данной статьи подчеркивается многообразие инструментов для разработки интерактивных обучающих материалов и рассматриваются основные требования к таким инструментам. Заключительный этап статьи посвящен обзору современных инструментов для разработки интерактивных средств обучения, исходя из сформулированных требований к ним. При этом ключевым фактором эффективности интерактивных средств обучения было выбрано взаимодействие ученика с образовательным материалом, что повлияло на выбор инструментов. Среди огромного многообразия подобных инструментов и сервисов, в зависимости от типа разрабатываемого контента, были выбраны наиболее интересные и функциональные сервисы. Например, для разработки интерактивных кроссвордов, тестов и опросов был выбран сервис TestPadOnline, который не только соответствует требованиям, но и имеет ряд определенных преимуществ по сравнению с подобными приложениями. Для разработки образовательных игр был выбран сервис Scratch, а для создания интерактивных элементов на уроке математики программа Geogebra. Для реализации увлекательных интерактивных презентаций и тренажеров было выбрано приложение PowerPoint, а сервис WardWall дает прекрасную возможность разрабатывать эффектные викторины и квизы. Инструменты, приведенные в статье, удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к современным инструментам разработки.

**Ключевые слова:** Разработка интерактивных обучающих материалов, дистанционная форма обучения, интерактивное обучение, интерактивные элементы, инструменты для разработки интерактивных обучающих материалов.

В современном мире, одним из наиболее значимых трендов в образовании является переход к дистанционным формам обучения.

Интерактивное обучение – это особая форма организации познавательной деятельности, когда образовательный процесс протекает таким образом, что практически все учащиеся оказываются вовлеченными в процесс познания.

Интерактивное обучение подразумевает постоянное активное взаимодействие педагога с учащимися, учащихся друг с другом или учащихся с образовательной средой, что существенно повышает уровень усвоения материала. [1]

Основными целями интерактивного обучения являются повышение эффективности образовательного процесса, достижение высоких результатов; усиление мотивации к изучению дисциплины; формирование и развитие профессиональных навыков обучающихся; формирование коммуникативных навыков; развитие навыков владения современными техническими средствами и технологиями восприятия и обработки информации; формирование и развитие умения самостоятельно находить информацию и определять ее достоверность; сокращение доли аудиторной работы и увеличение объема самостоятельной работы обучающихся. [2]

Различия между традиционным режимом обучения и моделью интерактивного обучения:

*Основные характеристики традиционной модели обучения*

- 1) Обучение, ориентированное на учителя

- 2) Одночувственный способ воздействия
- 3) Один метод
- 4) Единый носитель информации
- 5) Изолированная работа
- 6) Передача информации
- 7) Умение читать текст

*Основные характеристики модели интерактивного обучения*

- 1) Обучение, ориентированное на учащихся
- 2) Мультисенсорные способы воздействия
- 3) Несколько методов
- 4) мультимедиа
- 5) Совместное обучение
- 6) Обмен информацией
- 7) Способность к пониманию текста и практический опыт

Типы интерактивных средств обучения (ИСО): [3]

А) интерактивное оборудование:

- интерактивные доски: позволяют преподавателям создавать интерактивные уроки, где можно писать, рисовать, перемещать элементы и запускать мультимедийные материалы. Ученики взаимодействуют с содержанием урока и учатся эффективнее;

- мобильные устройства, например, ученические планшеты;
- системы тестирования.

Б) интерактивные учебные материалы:

- онлайн -курсы, -учебники, -тетради, -справочники: предоставляют возможность учиться из любой точки мира, взаимодействуя с учебным материалом и другими учащимися;

- виртуальные лаборатории и тренажеры: позволяют студентам проводить эксперименты и исследования в виртуальной среде, что особенно полезно в области науки и техники;

- образовательные игры: обучают через игровой опыт, делая обучение увлекательным, способствуют развитию навыков решения задач, критического мышления и сотрудничества;

- вебинары и видеоконференции: позволяют участвовать в онлайн-дискуссиях и прямом общении с преподавателями, что способствует лучшему пониманию материала и устранению возможных недоразумений. [4]

Основные критерии классификации интерактивных средств обучения:

*по характеру познавательной деятельности:*

- Активные интерактивные средства
- Рефлексивные интерактивные средства
- Коллаборативные интерактивные средства

*по основным видам и способам деятельности:*

- Визуальные интерактивные средства
- Аудиовизуальные интерактивные средства
- Интерактивные платформы и приложения

В настоящее время большое разнообразие инструментов, позволяющих разрабатывать интерактивные материалы. Педагогу при выборе сервиса следует обратить внимание на определенные требования, которые позволят упростить работу.

Основные требования к инструментам для разработки интерактивных обучающих материалов для дистанционного обучения:

- наличие русскоязычного интерфейса;
- простота освоения;
- статус веб-сервиса;
- возможность встраивать в обучающие курсы;

- возможность делиться с учащимися. [5]

Далее рассмотрим инструменты для вышеперечисленных ИСО, исходя из сформулированных требований. Взаимодействие ученика с материалом является ключевым фактором эффективности ИСО.

**TestPadOnline** подходит для разработки кроссвордов, различных тестов и опросов.

Преимущества TestPadOnline:

1. Простота использования. Интуитивно понятный интерфейс, что позволяет создавать кроссворды и другие виды продукты без специальных навыков.
2. Множество возможностей. Предлагает широкий набор функций для создания кроссвордов и не только, включая возможность добавления изображений, аудио и видео, а также возможность настройки уровня сложности.
3. Доступность. Доступен бесплатно для всех пользователей. [9]

**Scratch** подходит для разработки образовательных игр.

Преимущества Scratch:

1. Простой и понятный интерфейс — программа ориентирована на пользователей самого разного возраста.
2. Есть возможность работать онлайн и делиться своими разработками с другими пользователями.
3. Доступность — сервис доступен бесплатно для всех пользователей.
4. Востребованный язык. Можно не только создавать виртуальные проекты, но и выполнять реальные.

**Geogebra** подходит для разработки интерактивных элементов на уроке математики.

Преимущества Geogebra:

1. Простой и интуитивно понятный интерфейс программы.
2. Возможность установки программы на множества устройств.
3. Возможность работать в онлайн-режиме.
4. Широкие исследовательские возможности и средства визуализации объектов исследования.
5. Наличие виртуального сообщества, позволяющего обмениваться опытом и материалами.

**PowerPoint** подходит для разработки различных интерактивных презентаций и тренажеров.

Преимущества PowerPoint:

1. Простота использования: интуитивно понятный интерфейс, много шаблонов.
2. Доступность: распространенное ПО, есть бесплатные надстройки.
3. Мультимедийность: возможность добавить изображения, видео, аудио, анимацию.
4. Интерактивность: кнопки, гиперссылки, тесты, викторины.
5. Совместная работа: возможность совместной работы над одним проектом. [7]

**WordWall** подходит для разработки различных квизов, упражнений, тестов.

Преимущества WordWall:

1. Простота: легко использовать, даже без опыта.
2. Доступность: бесплатная платформа, доступная в любом браузере, что делает ее экономически выгодным решением для создания обучающих материалов.
3. Интерактивность: позволяет добавлять в обучающие материалы различные интерактивные элементы.
4. Совместная работа: позволяет нескольким пользователям одновременно работать над одним обучающим материалом.
5. Аналитика: предоставляет базовые инструменты для отслеживания прогресса обучающихся и сбора данных о результатах обучения.

Данные программы и сервисы удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к современным инструментам разработки.

Последним этапом является разработка интерактивных обучающих материалов с использованием ранее выбранных сервисов, удовлетворяющих требованиям.

### Литература и источники

1. Зыкова Н.И. Методика разработки интерактивных обучающих материалов для дистанционного обучения. – М.: Академия, 2014.
2. Байкина Е.А. Психолого-педагогические основы создания интерактивных образовательных ресурсов. – М.: Просвещение, 2016.
3. Казакова О.С. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. – М.: Юрайт, 2017.
4. Ивин А.А. Проектирование интерактивных обучающих систем: учебное пособие. – М.: Издательский дом «КомпьютерПресс», 2015.
5. Петрова Н.В. Интерактивные обучающие программы и их эффективность. – М.: Логос, 2018.
6. Крюкова А.В. Создание интерактивных обучающих материалов на основе информационно-коммуникационных технологий. – М.: КноРус, 2019.
7. Смирнова Е.С. Интерактивное обучение в дистанционной форме: теория и практика. – М.: Академия, 2013.
8. Глушко В.В. Мультимедиа в образовании. – М.: Новое знание, 2020.
9. Александрова Т.А. Создание электронных тестов с использованием интерактивных обучающих материалов. – М.: КомКнига, 2017.
10. Короткова Е.В. Технологии дистанционного обучения: учебное пособие. – М.: Издательство Юрайт, 2016.

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



**Аннотация:** Статья посвящена инструментам для организации дистанционного обучения в высших учебных заведениях. В первой части статьи рассмотрены важные особенности дистанционного обучения, а также выделены технологии, позволяющие улучшить качество такого вида обучения. Здесь также рассмотрены важные аспекты, которые должен понимать педагог, организующий занятия в дистанционном формате. Важными из таких аспектов является обладание техническими навыками создания элементов дистанционных занятий, использования современных инструментов и сервисов для проведения онлайн занятий. Во второй части статьи перечислены и рассмотрены способы и методы реализации дистанционной передачи знаний и обеспечения качественного обучения студентов, и электронный курс является самым значимым из таких способов. В статье рассмотрено использование готовых массовых открытых онлайн курсов, перечислены наиболее популярные площадки, где реализованы такие курсы. и создание новых на различных платформах. В заключительной части статьи рассмотрены платформы – программы и сервисы, которые действительно играют важную роль в создании дистанционных образовательных материалов и курсов и которые предоставляют преподавателям и организациям возможность разработки эффективного интерактивного образовательного контента для студентов. В статье показаны платформы (Moodle, iSpring Suite, Teachbase, Google Classroom, Canva, Adobe Captivate и Quizlet), которые предлагают различные современные и востребованные инструменты для создания учебных материалов, проведения онлайн-занятий, тестирования студентов и общения с обучающимися. Богатый функционал таких систем управления образовательным контентом позволяет адаптировать обучающие программы под различные образовательные потребности и способствует более интерактивному и привлекательному обучению.

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, электронный курс, образовательные онлайн платформы, образовательные ресурсы, системы управления образовательным контентом.

Дистанционное обучение - это эффективный и удобный способ обучения, который становится все более популярным в современном мире. Данное обучение предоставляет возможность получения знаний и образования в любом месте и в любое время, что особенно актуально в условиях современного быстрого темпа жизни.

Технологии, такие как онлайн платформы для тестирования и оценки, становятся важным инструментом для эффективной реализации дистанционного обучения. Поддержка и развитие таких технологий способствуют улучшению качества образования и повышению доступности обучения для людей во всем мире. [1]

С точки зрения преподавателя дистанционное обучение представляет, как вызов, так и возможности. Для успешной работы в онлайн среде преподавателю необходимо подготовить и адаптировать учебные материалы под формат дистанционного обучения, включая создание интерактивных уроков, видео-лекций и онлайн-тестов. Важно организовать эффективное взаимодействие со студентами через онлайн-платформы, установить четкие правила и режим занятий, провести онлайн-консультации. Преподаватель должен обладать техническими навыками для работы с онлайн-занятиями, вебинарами, заданиями и оценками. Развитие коммуникационных навыков также играет важную роль – преподаватель должен эффективно общаться с учащимися, предоставлять обратную связь и поддерживать их мотивацию. Использование возможностей дистанционного обучения, таких как гибкость в расписании и доступность материалов в любое время, является ключевым. Необходимо также разработать систему оценки успеваемости студентов и обеспечить качество учебного процесса. [2]

В целом, успешное дистанционное обучение требует от преподавателя адаптивности, технологической грамотности и умения организовать учебный процесс, учитывая особенности онлайн-формата.

Для реализации дистанционного обучения в вузе широко используются различные методы, помогающие эффективно передавать знания и обеспечить качественное обучение студентов:

1. Видео-лекции: преподаватель записывает видео-уроки, в которых объясняет материал, демонстрирует примеры, проводит обсуждения. Студенты могут просматривать видео в удобное для них время и несколько раз, чтобы углубить понимание.

2. Интерактивные уроки: создание интерактивных уроков позволяет преподавателю включить различные элементы взаимодействия, такие как тесты, задания для самопроверки, обсуждения в онлайн-формате. Это помогает студентам активно участвовать в учебном процессе.

3. Онлайн-консультации: преподаватель может назначать онлайн-консультации для индивидуального обсуждения вопросов, помощи в выполнении заданий, объяснения трудных моментов материала. Это способствует более глубокому пониманию учебного материала.

4. Форумы и чаты: методы онлайн-обучения, в которых студенты могут общаться и обмениваться информацией с преподавателями и другими учащимися. На форумах студенты могут обсуждать учебные материалы, задавать вопросы, делиться своими мыслями и идеями, в то время как чаты позволяют быстро общаться в реальном времени. Такие методы способствуют активному взаимодействию, обмену знаниями и поддержке в процессе обучения, даже на дистанционном курсе.

5. Онлайн-тестирование: проведение онлайн-тестов позволяет преподавателю оценить знания студентов, проверить усвоение материала и дать обратную связь. Это также помогает студентам самостоятельно проверить свои знания.

6. Групповые проекты: задания на групповые проекты через онлайн-платформы способствуют развитию коммуникативных навыков студентов, сотрудничеству и обмену знаниями. [3]

Преподавателям важно грамотно комбинировать различные методы дистанционного обучения, чтобы обеспечить эффективность образовательного процесса и поддержать мотивацию учащихся.

Для дистанционного обучения преподаватели могут использовать различные готовые курсы, которые специально разработаны для онлайн обучения. Некоторые популярные платформы, предлагающие готовые курсы для дистанционного обучения, включают:

1. HTML Academy - сайт с интерактивными курсами по веб-интерфейсам, включая тренажеры для начинающих и занятия для верстальщиков, с платными и бесплатными программами обучения.

2. Skillbox - образовательная платформа с 562 курсами по различным областям и профессиям, с длительностью обучения от 6 до 24 месяцев, выдачей сертификата и платными уроками с учителями.

3. Яндекс Практикум - платформа с курсами по программированию, анализу данных, маркетингу, дизайну, управлению и другим областям, включая бесплатные курсы.

4. Stepik - образовательная онлайн-платформа, предназначенная для создания и прохождения курсов в различных областях знаний. На Stepik можно создавать интерактивные уроки, проводить онлайн-тестирования, обмениваться знаниями, а также отслеживать прогресс и оценки учащихся.

5. Открытое образование - это образовательная платформа, на которой предлагаются массовые онлайн-курсы от ведущих российских вузов, объединившихся для обеспечения доступа к качественному высшему образованию каждому желающему. Каждый пользователь имеет возможность пройти курсы от лучших университетов России в любое удобное время, а студенты этих университетов могут зачесть результаты обучения.

6. Coursera - международная образовательная платформа с курсами по различным сферам, возможностью прохождения нескольких курсов бесплатно.

7. Россия – страна возможностей - платформа с бесплатными курсами о карьерном росте, коммуникации, проведением вебинаров и тестами на гибкие навыки.

8. Интуит - платформа с учебными материалами в различных категориях, с возможностью прохождения бесплатных или платных курсов. [5]

Существует множество программ и сервисов, которые помогают создавать учебные материалы, курсы, тесты и другие образовательные ресурсы.

Некоторые из них включают в себя:

1. Moodle - платформа с открытым исходным кодом для управления обучением, которая позволяет создавать курсы, загружать материалы, проводить тестирование и взаимодействовать со студентами. Есть как программный продукт для установки на сервер, так и облачная версия.

2. iSpring Suite – очень продвинутая система управления обучением, охватывающая весь процесс создания и запуска дистанционного обучения. Следует отметить огромный функционал и SCORM совместимость.

3. Teachbase – продвинутая LMS с возможностью создания курсов, управлением обучения и получения подробного анализу образовательного процесса. [4]

4. Google Classroom - сервис Google для создания и управления онлайн-курсами, где преподаватели могут делиться материалами, создавать задания и общаться с учащимися.

5. Canva - онлайн-сервис для создания элементов графического дизайна, которые можно использовать для разработки презентаций, учебных материалов и других образовательных ресурсов.

6. Adobe Captivate- программа для создания интерактивных мультимедийных курсов и онлайн-обучения. Позволяет разрабатывать обучающие материалы с использованием различных элементов, таких как видео, аудио, анимации, викторины и другие.

7. Quizlet – онлайн-платформа для создания, обучения и обмена образовательными материалами, включая карточки, тесты и игры. Пользователи могут создавать наборы карточек с терминами, определениями и иллюстрациями для самопроверки и запоминания. Платформа также предлагает готовые наборы материалов по различным предметам для увлекательного и эффективного обучения.

8. Articulate Storyline - инструмент для разработки интерактивных курсов и обучающих модулей с помощью различных мультимедийных элементов.

9. Avenu360 - облачная платформа для создания, управления и доставки контента для обучения, которая включает в себя инструменты для разработки курсов, тестов, видео уроков и других материалов.

Эти программы и сервисы могут быть полезны преподавателям при создании собственных учебных материалов, курсов и тестов, а также для проведения обучения в различных форматах, включая дистанционное обучение.

### **Литература и источники**

1. Шапкин Н. Дистанционное образование: теория и практика. М.: ИнФра-М, 2009.

2. Муррай Т., Перзелл А. Distance Education: A Systems View of Online Learning. Cengage Learning, 2005.

3. Шапкин Н. Дистанционное образование: теория и практика. М.: Издательство Московского университета, 2009.

4. Петрова О. М. Опыт использования платформы дистанционного обучения в учебном процессе вуза. Конференция "Информационные технологии в образовании", 2019.

5. Гаврилова Н. Н., Соколова В. В. Особенности организации дистанционного обучения студентов гуманитарных специальностей в вузе. Материалы семинара "Современные образовательные технологии", 2020.

6. Казакова И. А., Петров С. В. Развитие дистанционного образования в российских вузах: проблемы и перспективы. Журнал "Инновации в высшем образовании", 2017.

*Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент кафедры фундаментальной математики Саблинский А. И., ИФН ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

**Научное издание**

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ В ФИЗИКЕ, ХИМИИ,  
МАТЕМАТИКЕ И ИНФОРМАТИКЕ**

Материалы симпозиума в рамках XIX (LI) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей»

Выпуск 25

16+

Материалы печатаются в авторской редакции

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет» (КемГУ).  
650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6.

Объем 17,2 Мб