

**Фундаментальная математика  
и ее приложения в естествознании:  
спутник Международной научной конференции  
«Уфимская осенняя математическая школа-2024»**

**Тезисы докладов**

**XV Международной школы-конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых,  
посвященной 300-летию Российской академии наук**



**Уфа, 6–9 октября 2024 года**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА  
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ ЦЕНТРОМ УФИЦ  
РАН ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ ИМ. Р.Р. МАВЛЮТОВА УФИЦ РАН  
ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АКМУЛЛЫ

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА  
И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ:  
спутник Международной научной конференции  
«Уфимская осенняя математическая школа-2024»**

Научное электронное издание сетевого доступа

*Тезисы докладов  
XV Международной школы-конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых,  
посвящённой 300-летию Российской академии наук  
(г. Уфа, 6 – 9 октября 2024 г.)*

Уфа  
РИЦ УУНиТ  
2024

УДК 51+53  
ББК 22.1+22.3  
Ф94

*Печатается по решению кафедры теоретической физики  
физико-технического института УУНиТ.  
Протокол № 1 от 26.09.2024 г.*

*Сборник составлен в рамках Программы развития  
Научно-образовательного математического центра  
Приволжского федерального округа, соглашение № 075-02-2024-1444*

**Редакционная коллегия:**

д-р физ.-мат. наук, профессор **Б.Н. Хабибуллин**  
(научный редактор по направлению «Математика»);  
д-р физ.-мат. наук, профессор **Е.Г. Екомасов**  
(научный редактор по направлению «Физика»);  
канд. физ.-мат. наук, доцент **Л.А. Габдрахманова** (отв. редактор);  
канд. физ.-мат. наук, доцент **Ф.К. Закирьянов**;  
канд. физ.-мат. наук, доцент **А.Ф. Кужаев**

**Ф94** **Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник  
Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая  
школа-2024»:** тезисы докладов XV Международной школы-конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной посвящённой 300-летию  
Российской академии наук (г. Уфа, 6 – 9 октября 2024 г.) / отв. ред.  
Л.А. Габдрахманова. [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и  
технологий. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. – 256 с. – URL: [https://uust.ru/digital-  
publications/2024/224.pdf](https://uust.ru/digital-publications/2024/224.pdf) – Загл. с титула экрана.

ISBN 978-5-7477-5978-7

В представленных материалах конференции детально обсуждаются новейшие результаты и открытые проблемы комплексного анализа и теории функций, спектральной теории операторов, механики, теоретической физики и радиофизики, электроники и нанофизики, материаловедения и наноматериалов, геофизики и прикладной физики, также проблемы современной методики преподавания.

Материалы сборника предназначены для студентов, аспирантов и научных работников, интересующихся указанными проблемами.

Тезисы докладов воспроизводятся с представленных авторами оригиналов.

УДК 51+53  
ББК 22.1+22.3

ISBN 978-5-7477-5978-7

© УУНиТ, 2024

## ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА ХАРРАСОВА МУХАМЕТА ХАДИСОВИЧА

Азнагулова Г.М.<sup>1</sup>, Екомасов Е.Г.<sup>2</sup>, Шарафуллин И.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт законодательства и сравнительного правоведения при  
Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В прошлом 2023 году наша конференция была посвящена 75-летию Харрасова Мухамета Хадисовича – выдающегося ученого, организатора высшего образования, государственного деятеля. В день физиков той конференции вместе с ним мы вспоминали былое, он в своем ярком выступлении поделился с нами своими воспоминаниями о прожитых годах. А 9 марта 2024 года его не стало. В этой статье мы его ученики, хотели изложить кратко вехи его славного жизненного пути.



Мухамет Хадисович Харрасов родился 18 сентября 1948 года в селе Серменево Белорецкого района Башкирской АССР. Он был первым и очень желанным ребенком в семье. Отец учёного Хадис Харрасович Харрасов был ветераном Финской и Великой Отечественной войн, дважды награжден орденом Отечественной войны 1 степени, орденом Отечественной войны 2 степени, орденом Славы 3 степени. Вернувшись в августе 1943 года с фронта инвалидом 2-й группы, с ампутированной правой рукой, он до семидесяти трех лет трудился в родном колхозе. Мать Мухамета Хадисовича - Насиха Кустубаева Харрасова также работала в колхозе, во всем помогала мужу и воспитывала пятерых детей. Родители с детства воспитывали в своих детях стремление к знаниям, тягу к науке, порядочность и высокое чувство справедливости, заботу о семье и близких, любовь к Отчизне.

Мухамету Хадисовичу повезло с учителями в Серменевской средней школе, где он учился все школьные годы только на отличные оценки. Учителя математики и физики Миннур Фасхетдиновна Сулейманова и Акрам Искандарович Мулдашев развивали в нем любовь к этим наукам. Он первым из выпускников своей школы в 1966 году получает по ее окончании золотую медаль. В школе начинает проявляться и его организаторский талант. Будучи пионером, избран председателем совета деревни, будучи комсомольцем - секретарем комсомольского комитета. В

1966 году Мухамет Харрасов становится студентом физического отделения физико-математического факультета Башкирского государственного университета имени 40-летия Октября (БашГУ). Он не только отлично учился, проявлял способности к научной работе, но и активно занимался общественной работой. В 1971 году Мухамет Хадисович оканчивает университет, получив диплом с отличием. Его, как талантливого выпускника, оставили работать ассистентом кафедры теоретической и экспериментальной физики БашГУ.

Через год он поступает в аспирантуру МГУ на кафедру квантовой статистики и теории поля, возглавляемой академиком Н.Н. Боголюбовым. Научным руководителем М.Х. Харрасова стал известный ученый профессор Борис Иосифович Садовников. В 1975 году им в Объединенном институте ядерных исследований, г. Дубна досрочно защищена кандидатская диссертация по специальности «Теоретическая и математическая физика» и он возвращается на работу в родной университет. С 1975 по 1991 М.Х. Харрасов ассистент, старший преподаватель, доцент кафедры теоретической физики БашГУ. С 1980 по 1984 годы была творческая командировка в Алжир, где Мухамет Хадисович на французском языке преподавал в Оранском университете фундаментальные курсы физики.

С 1991 по 1994 гг. М. Х. Харрасов опять на учебе в МГУ им. М.В. Ломоносова, но уже в докторантуре. А в 1994 году в диссертационном совете на физическом факультете МГУ защищает диссертацию на ученую степень доктора физико-математических наук по специальности «Теоретическая физика». По возвращению в родной университет с 1994 по 1999 годы М.Х. Харрасов, работая деканом физического факультета, открыл специальность «Геофизика», аккредитовал первую инженерную специальность на факультете «Физика и техника оптической связи», создал и возглавил кафедру «Статистической радиофизики и связи». В 1999 году он уже исполнял обязанности председателя Государственного комитета по науке, высшему и среднему профессиональному образованию Республики Башкортостан. А в 2000 году Мухамет Хадисович был избран ректором университета. С этого времени он отдаёт все свои силы делу развития научного и образовательного потенциала БашГУ, его привлекательности для абитуриентов, авторитета среди российских вузов. Мухамет Хадисович являлся членом Президиума Совета ректоров Российской Федерации, Президиума УМО классических университетов России, Президентского совета Республики Башкортостан. Дважды избирался депутатом Государственного Собрания – Курултая – Республики Башкортостан (2003 г., 2008 г.).

За время работы Харрасова М.Х. в должности ректора Башкирский государственный университет стабильно входил в двадцатку лучших

классических университетов России по рейтингу Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. После сложения с себя полномочий ректора с 2010 по 2013 гг. он заместитель председателя комитета Государственного Собрания – Курултай – Республики Башкортостан, профессор кафедры статистической радиофизики и связи БашГУ, а с 2014 года – профессор кафедры теоретической физики, советник ректора БашГУ.

Несмотря на огромную многолетнюю административную нагрузку, Мухамет Хадисович никогда не забывал о науке. В этой области деятельности он был фанатичен и вдохновлял всех, кто работал рядом. М.Х. Харрасов является крупным специалистом в области теоретической физики. Он автор более 150 научных публикаций, большого числа учебных пособий и трех монографий. Мухамет Хадисович сформировал собственную научную школу. Он был научным консультантом у 5 докторов наук, научным руководителем у 11 кандидатов наук. Многие его ученики продолжали свой профессиональный путь рядом с учителем. Вклад М.Х. Харрасова в науку послужил основанием для его избрания в 2002 г. членом-корреспондентом Академии наук Республики Башкортостан, почетным доктором ряда университетов.

Он удостоен многих государственных наград и почетных званий, в числе которых звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» (2008), «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» (2002), «Отличник Министерства образования Российской Федерации» (2003), «Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан» (1997). М.Х. Харрасов является Кавалером Ордена А.С. Макаренко. Награжден Почетным знаком Государственного Собрания – Курултая – Республики Башкортостан «За особый вклад в развитие законодательства Республики Башкортостан», Нагрудным знаком «Ректор года – 2004», Почетной грамотой Башкирского обкома ВЛКСМ, ЦК КПСС, Совета министров СССР и ВЦСПС и многими другими.

Преданным своему слову и делу, честным и справедливым, сильным духом и характером, закаленным непростым детством и сложным жизненным путем, добрым, улыбочивым и открытым человеком с большим сердцем – таким запомнился Мухамет Хадисович Харрасов своим друзьям, коллегам и ученикам.

© Азнагулова Г.М., Екомасов Е.Г.,  
Шарафуллин И.Ф., 2024

## СЕКЦИЯ «КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕОРИЯ ФУНКЦИЙ»

УДК 004.78

### РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА СВЯЗИ VERB-A СО СКВОЗНЫМ СПОСОБОМ ШИФРОВАНИЯ

Поглазов К.Ю.<sup>1</sup>, Таюпов М.М.<sup>2</sup>, Пухальский А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский колледж статистики, информатики и вычислительной техники, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

Развитие криптографии оказывает большое влияние на безопасность современных средств связи. В связи с чем появились протоколы, защищающие целостность данных лучше, чем в распространенном TCP, например, SCTP. Так как в ходе экспериментов было выявлено расхождение контрольных сумм CRC и TCP в ситуациях от 0,22% до 6,4% случаев [1,2]. Исходя из этого, ясно, что в интернете существует большое разнообразие источников ошибок, которые не могут быть выявлены проверками на канальном уровне. Также современные методы шифрования не всегда могут быть безопасны: постоянно находятся новые уязвимости.

В ходе работы над проектом выяснено, что современные системы шифрования не соответствуют многим требованиям к специализированным средствам связи, в связи с чем разработана система передачи информации с защитой приватности, целостности и аутентификации данных и разработан алгоритм с абсолютной криптостойкостью, в нем, ни по шифротексту, ни по ключу по отдельности нельзя узнать исходный текст. Приватность данных гарантируется использованием нескольких алгоритмов шифрования, целостность данных защищается хеш функциями, а аутентификация – цифровой подписью.

#### Литература

1. Брейден Р., Борман Д. и Партридж К. Вычисление контрольной суммы Интернета // Запрос Intenet на комментарии RFC 1071, ISI, сентябрь 1988 г.
2. Блахут Р. Теория и практика кодов контроля ошибок // Аддисон-Уэсли, 1994.

© Поглазов К.Ю., Таюпов М.М., Пухальский А.А., 2024

**ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ОПЕРАТОРОВ**

Рахимова А.И.

Институт математики с вычислительным центром УФИЦ РАН,  
г. Уфа, Россия

Рассмотрим некоторые динамические свойства операторов в весовом пространстве целых функций  $\mathcal{F}_\varphi$ , где  $\varphi$  – семейство выпуклых в  $\mathbb{C}^n$  функций. Оно определено как проективный предел компактной последовательности банаховых пространств  $\mathcal{F}_m$

$$\mathcal{F}_\varphi = \bigcap_{m=1}^{\infty} \mathcal{F}_m,$$

поэтому является пространством Фреше–Шварца.

**Теорема.** В пространстве  $\mathcal{F}_\varphi$  оператор частного дифференцирования

$$T = \frac{\partial}{\partial z_j}, j \in (1; n),$$

гиперциклический и его образ лежит в  $\mathcal{F}_\varphi$ .

**Теорема.** Пусть в пространстве  $\mathcal{F}_\varphi$  задан некоторый полином с постоянными коэффициентами

$$\Phi(z) = \sum_{\alpha \in \mathbb{Z}_+^n: |\alpha| \leq m} c_\alpha z^\alpha, \quad z \in \mathbb{C}^n,$$

отличный от константы, тогда оператор

$$T = \sum_{\alpha \in \mathbb{Z}_+^n: |\alpha| \leq m} c_\alpha D_z^\alpha f$$

гиперциклический в  $\mathcal{F}_\varphi$ .

**Литература**

1. Рахимова, А.И. О гиперциклических операторах в весовых пространствах целых функций // Таврич. вестн. информ. и матем., 2023, т. 58(1), с. 88–110.



## СЕКЦИЯ «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОПЕРАТОРОВ»

УДК 53

### МЕТОД ОБРАТНОЙ ИТЕРАЦИИ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ СТАРШИХ СОБСТВЕННЫХ ПАР $p$ -ЛАПЛАСИАНА

Галимов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Оператор  $p$ -Лапласа  $\Delta_p := \operatorname{div}(|\nabla(\cdot)|^{p-2}\nabla(\cdot))$ ,  $p > 1$ , служит нелинейным обобщением классического оператора Лапласа и находит применение в механике неньютоновских жидкостей, гляциологии и других областях [1]. С теоретической точки зрения особенный интерес представляет следующая задача на собственные значения и функции этого оператора: для данной ограниченной области  $\Omega \subset \mathbb{R}^D$  найти  $\lambda \in \mathbb{R}$  и  $u \in W_0^{1,p}(\Omega)$ , для которых справедливо  $-\Delta_p u = \lambda|u|^{p-2}u$  на  $\Omega$ . Известно, что множество таких  $\lambda$  не ограничено сверху, но содержит наименьший элемент  $\lambda_1(\Omega, p)$  – *первое собственное значение* – чьи собственные функции не меняют знака на  $\Omega$ , в то время как собственные функции, соответствующие прочим (*старшим*) собственным значениям, заведомо знакопеременны [1]. Если для численного приближения  $\lambda_1(\Omega, p)$  предложено большое количество алгоритмов (см., например, [2]), то задача аппроксимации старших собственных значений изучена очень слабо. В данном докладе мы предложим подход на основе метода обратной итерации, позволяющий строить числовую последовательность  $\{R_n\}$ , монотонно убывающую к некоторому старшему собственному значению  $\lambda$ , и функциональную последовательность  $\{u_n\} \subset W_0^{1,p}(\Omega)$ , сходящуюся к множеству соответствующих собственному значению  $\lambda$  собственных функций по метрике пространства  $W_0^{1,p}(\Omega)$ . В подтверждение эффективности алгоритма мы продемонстрируем результаты ряда численных экспериментов. Доклад сообщает результаты готовящегося к публикации исследования под руководством Бобкова В.Е. (Институт математики с вычислительным центром УФИЦ РАН).

#### Литература

1. Lindqvist P. A nonlinear eigenvalue problem // Topics in mathematical analysis. – 2008. – Т. 3. – С. 175-203.
2. Bozorgnia F. Convergence of inverse power method for first eigenvalue of  $p$ -Laplace operator // Numerical Functional Analysis and Optimization. – 2016. – Т. 37. – № 11. – С. 1378-1384.

© Галимов Т.И., 2024

**ЗАДАЧА ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ  
ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ В КРИТИЧЕСКИХ СЛУЧАЯХ**

Саханевич С.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Пусть  $H(x,y,t)$  — дважды непрерывно дифференцируемая скалярная функция  $2N$  переменных  $x = (x_1, \dots, x_N)$ ,  $y = (y_1, \dots, y_N)$ ,  $t$ , при этом  $H(x,y,t+T) = H(x,y,t)$ , т.е. функция  $H(x,y,t)$  является  $T$ -периодической по  $t$ .  
Динамическая система

$$x'_j = \frac{\partial H}{\partial y_j}, \quad y'_j = \frac{\partial H}{\partial x_j}, \quad (j = 1, \dots, N) \quad (1)$$

называется гамильтоновой (см. [1, 2]).

Предполагается, что система (1) имеет постоянное решение – нулевую точку равновесия  $x=y=0$ . Пусть  $V$  — матрица монодромии соответствующей линеаризованной системы для (1). Обозначим через  $\lambda$  — собственные значения матрицы  $V$ , т.е. мультипликаторы линеаризованной системы.

Мультипликаторы играют основную роль при определении свойств устойчивости точек равновесия системы (1). Мультипликаторы имеют четную кратность. Критическим является случай, когда все мультипликаторы равны единице по модулю. При этом они подразделяются на дефинитные и индефинитные.

В работе приводятся условия устойчивости точки равновесия системы (1). Проводится анализ устойчивости таких решений в различных физических системах, изучается динамика нелинейных систем.

**Литература**

1. Yumagulov M. G., Ibragimova L. S. and Belova A. S. Approximate research of problems on perturbation of periodic and autonomous Hamiltonian systems in critical cases. Lobachevskii J Math 41, 1924–1931 (2020).
2. Юмагулов, М. Г. Линейные гамильтоновы системы: введение в теорию и приложения / М. Г. Юмагулов, Л. С. Ибрагимова, А. С. Белова. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2020. – С. 108.

© Саханевич С.С., 2024

## ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ МАТЬЕ

Грачев Н.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Одним из интересных объектов в теории динамических систем является уравнение Матье (см., например, [1]).

$$u'' + (\alpha + \varepsilon \cos(2t)) \cdot u = 0$$

где  $\alpha$  и  $\varepsilon$  - вещественные параметры.

Одной из основных здесь является задача исследования устойчивости уравнения (1) в зависимости от параметров  $(\alpha, \varepsilon)$ .

Целью настоящей работы является исследование модифицированного уравнения Матье вида:

$$u'' + (\alpha + \varepsilon \varphi(t))u = 0$$

в котором  $\varphi$  произвольная  $\pi$ -периодическая функция, которая может быть как непрерывной, так и кусочно-непрерывной.

Изучаются свойства устойчивости уравнения (2) при произвольных  $\alpha$  и малых  $\varepsilon$ .

На первых этапах показывается, что уравнения (1) и (2) являются линейными периодическими гамильтоновыми уравнениями, что позволяет применять уже известные алгоритмы для изучения устойчивости таких уравнений, упростив задачу.

Далее для ее изучения разрабатываются формулы для возмущений мультипликаторов полученной системы.

На заключительном этапе изучаются приложения к анализу устойчивости уравнения (2) при произвольных  $\alpha$  и малых  $\varepsilon$ .

Целью работы является вывод формул позволяющих делать вывод о зависимости областей устойчивости в координатах  $(\alpha, \varepsilon)$  от функции  $\varphi$ .

### Литература

1. Юмагулов М.Г. Введение в нелинейную динамику: теория, приложения, модели. Санкт-Петербург.: Лань. 2022. – 368 с.

© Грачев Н.А., 2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ В ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ТЕЛ

Минибаев Э.Д.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Рассматривается плоская ограниченная эллиптическая задача трех тел, описываемая системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\xi'' - 2\eta' &= \rho(t, \varepsilon) \frac{\partial \Omega}{\partial \xi}; \\ \eta'' + 2\xi' &= \rho(t, \varepsilon) \frac{\partial \Omega}{\partial \eta}.\end{aligned}$$

Для рассматриваемой системы:  $\rho(t, \varepsilon) = \frac{1}{1 + \varepsilon \cos t}$ ,  
 $\Omega(\xi, \eta; \mu) = \frac{(\xi - \mu)^2 + \eta^2}{2} + W(\xi, \eta; \mu)$ ,  $W(\xi, \eta; \mu) = \frac{1 - \mu}{(\xi^2 + \eta^2)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\mu}{[(\xi - 1)^2 + \eta^2]^{\frac{1}{2}}}$ ,  
 $\varepsilon$  – эксцентриситет ( $0 \leq \varepsilon < 1$ ),  $\mu = \frac{m_1}{m_0 + m}$  – параметр масс

$$(0 < \mu < 1). \tag{1}$$

Система (1) является гамильтоновой. Приравняв правую часть этой системы к нулю, можно показать, что она имеет пять постоянных решений, которые называют точками либрации системы (1). Они подразделяются на прямолинейные  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$  и треугольные  $L_4$  и  $L_5$  точки либрации. В плоскости  $(\xi, \eta)$  прямолинейные точки либрации лежат на прямой  $\eta = 0$ , они зависят от параметра  $\mu$  и явно не выписываются; найти их можно лишь приближенно. Треугольные точки либрации имеют координаты

$$L_4 \left( \frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2} \right), \quad L_5 \left( \frac{1}{2}, -\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \tag{2}$$

Динамические свойства точек либрации важны как в теоретическом, так и в практическом плане. Здесь особо интересны и важны вопросы об устойчивости по Ляпунову точек либрации и, в частности, зависимости свойств устойчивости от параметров  $\mu$  и  $\varepsilon$ .

В настоящей работе предлагаются результаты анализа устойчивости точек либрации (2) системы (1) для малых значений эксцентриситета  $\varepsilon$ . Проводится исследование характеристического уравнения для невозмущенной системы. Рассмотрены некоторые приложения в задаче исследования устойчивости точек либрации.

### Литература

1. Маршал К. Задача трех тел. – М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 640 с.

© Минибаев Э.Д., 2024

УДК 517.9

## О ЛЯПУНОВСКИХ ВЕЛИЧИНАХ ОДНОМЕРНЫХ ДИСКРЕТНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

Буравков Н.Г.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Важную роль в нелинейной динамике играют динамические системы, порожденные комплексными квадратичными отображениями (см., например, [1])

$$z_{n+1} = f(z_n), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad z_n \in \mathbb{C}, \quad (1)$$

в которой  $w = f(z)$  – квадратичная функция комплексного переменного  $z$ .

Такие системы имеют большое многообразие динамических режимов, богатое бифуркационное поведение. Впечатлительными явились и геометрические изображения нетривиальных аттракторов таких систем. Геометрические формы таких аттракторов (в частности, так называемые множества Жюлиа и Мандельброта) оказались настолько изящными и необычными, что это дало новый всплеск интереса к таким системам. Еще одной отличительной чертой указанных аттракторов является то, что они (или их границы) часто имеют дробную размерность и обладают свойствами самоподобия, т.е. имеют фрактальную структуру.

Изучение динамики указанных систем тесно связано с задачами вычисления ляпуновских величин и ляпуновских показателей системы. Знание таких характеристик позволяет отвечать на многие вопросы: устойчивость возникающих решений, их асимптотики, переход к хаосу и др. В настоящей работе приводятся некоторые формулы, позволяющие вычислять ляпуновские величины для основных сценариев бифуркаций в системах вида (1).

### Литература

1. Юмагулов М.Г. Введение в нелинейную динамику: теория, приложения, модели. Санкт-Петербург.: Лань. 2022. – 368 с.

© Буравков Н.Г., 2024

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ О  
МАССООБМЕНЕ В ОКРЕСТНОСТИ КАПЛИ С УЧЁТОМ  
ВЛИЯНИЯ ОБТЕКАНИЯ И ОБЪЁМНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ  
ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА**

Ахметов Р.Г.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Рассматривается стационарная задача о конвективной диффузии около капли, обтекаемой потоком жидкости при малых числах Рейнольдса, с учетом нелинейной объёмной химической реакции. Характерной особенностью задачи является наличие двух безразмерных параметров: константы скорости объёмной химической реакции  $k_v$  и числа Пекле  $Pe$ , которые определяют распределение концентрации в потоке. Отношение константы скорости объёмной химической реакции и числа Пекле есть величина постоянная. Рассматриваемая задача представляет собой краевую задачу для квазилинейного уравнения в частных производных эллиптического типа с малым параметром при старших производных. Малый параметр соответствует большим числам Пекле  $Pe$ . Предельное уравнение, когда малый параметр равен нулю, имеет особые точки типа седла. Вне капли возникает несколько пограничных слоев. Асимптотическое разложение решения построено методом согласования асимптотических разложений. На границах между соседними областями задаются условия согласования для решений. Вне капли построены главные члены асимптотического решения в случае, когда нелинейная химическая реакция имеет вырождение второго порядка. Ранее был рассмотрен случай [1], когда структура вырождения была первого порядка.

### Литература

1. Akhmetov R G «Asymptotic Solutions of the Boundary Value Problem of Convective Diffusion Around Drops with Volumetric Nonlinear Chemical Reaction», Awrejcewicz J. (Ed). Perspectives in Dynamical Systems II — Numerical and Analytical Approaches. DSTA 2021, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, **454** (2024), pp. 15–28. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-56496-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-56496-3_2).

© Ахметов Р.Г., 2024

## СЕКЦИЯ «МЕХАНИКА»

УДК 534.1

### ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ПРОДОЛЬНОГО НАДРЕЗА СТЕРЖНЯ

Фатхелисламов А.Ф.<sup>1,2</sup>, Утяшев И.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ИМех УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Рассмотрена коэффициентная обратная задача определения геометрических параметров продольного надреза стержня по собственным частотам изгибных и продольных колебаний. Для решения задачи стержень моделируется в виде двух стержней, причем первый не имеет надреза, а второй имеет [1]. В месте соединения используются условия сопряжения, в которых приравняются продольные и горизонтальные смещения сечения, углы поворота, изгибающие моменты, перерезывающие силы и деформации. Предложен метод решения, позволяющий однозначно определять искомые параметры надреза по первым собственным значениям продольных и изгибных колебаний относительно взаимноперпендикулярных осей.

Поскольку стержень слева и справа от точки  $x_c$  имеет разную форму поперечного сечения, то уравнения задачи Штурма-Лиувилля слева и справа от точки  $x_c$  запишутся в следующей форме:

$$u_m'' + \lambda^2 u_p'' = 0, \quad y_m^{(4)} = d_{y1}^4 \beta^4 y_m, \quad y_p^{(4)} = d_{y2}^4 \beta^4 y_p.$$

Условия сопряжения:

$$u_m(x_c) = u_p(x_c), \quad u_m'(x_c) = u_p'(x_c) P, \\ y_m(x_c) = y_p(x_c), \quad y_m'(x_c) = y_p'(x_c), \\ y_m''(x_c) = \frac{J_{yp}}{J_{ym}} y_p''(x_c), \quad y_m'''(x_c) = \frac{J_{yp}}{J_{ym}} y_p'''(x_c).$$

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00420, <https://rscf.ru/project/23-21-00420/>.*

### Литература

1. Утяшев И.М., Фатхелисламов А.Ф. Идентификация продольного надреза стержня по собственным частотам колебаний // Russian Technological Journal. 2023, v. 11 (2), pp. 92–99.

© Фатхелисламов А.Ф., Утяшев И.М., 2024

## СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПОСТЕЛИ

Юлмухаметов А.А., Утяшев И.М.  
ИМех УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Балки на упругом основании широко применяются в современных инженерных конструкциях, в строительстве, в машиностроении и различных других областях техники [1].

Здесь рассматривается однородная балка Эйлера-Бернулли конечной длины со свободными концами и с постоянной изгибной жесткостью. Балка лежит на упругом основании с коэффициентом постели  $k(x)$ . Коэффициент постели моделируется в виде полинома второй степени  $k(x)=p \cdot x^2+qx+c$ . В прямой задаче находятся собственные значения изгибных колебаний балки. В обратной задаче определяется коэффициент постели по собственным частотам изгибных колебаний балки.

Дифференциальное уравнение изгибных колебаний балки решается в общем виде. Разработан программный код в среде программирования Maple, позволяющий строить частотное уравнение с заданным числом членов ряда. Для нахождения пяти первых собственных частот применяется семьдесят членов ряда Маклорена. Этого количества достаточно для нахождения решения с погрешностью менее 1 %. Вычислительные эксперименты проводились с точностью до сорока знаков после запятой.

В результате вычислений определены первые пять собственных частот изгибных колебаний балки для коэффициента постели заданного по закону  $k(x)=-4 \cdot (p-1) \cdot x^2+4 \cdot (p-1) \cdot x+1$ , для любого  $p \geq 2$ . Показано, что с увеличением жесткости пружин растут и собственные частоты изгибных колебаний балки. Определены зависимости собственных частот от коэффициента постели. Например, для нахождения первой собственной частоты с точностью до 5 знаков после запятой, такая зависимость имеет полиномиальный характер  $\lambda_1=-0.00000006 \cdot p^2+0.00122451 \cdot p+4.73117813$

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00420, <https://rscf.ru/project/23-21-00420/>.*

### Литература

1. Каримов И. Строительная механика. Электронный учебный курс: [www.stroitmeh.ru](http://www.stroitmeh.ru).

© Юлмухаметов А.А., Утяшев И.М., 2024



**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО  
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕФТЬ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕФТЕПРОВОДОВ ДЛЯ ИХ  
ПЕРЕКАЧИВАНИЯ**

Мухарямова Г.И., Киреев В.Н., Ковалева Л.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящее время процессы трубопроводного транспорта ряда сортов нефти осложняется высокой вязкостью проявлением аномальных реологических свойств, обусловленных повышенным содержанием асфальтенов, смол и парафинов в их составе. Данная работа посвящена исследованиям влияния физического электромагнитного (ЭМ) метода воздействия на нефть и гидравлические характеристики нефтепроводов для их перекачивания.

В рамках работы выполнена комплексная оценка изменения целого ряда реологических свойств различных нефтей после ЭМ воздействия: оценено влияние ЭМ воздействия на коэффициенты динамических вязкостей нефтей; выполнено численное моделирование течения высоковязких и парафинистых нефтей в трубопроводах.

В основе математической модели теплогидравлического расчета неизотермического нефтепровода лежит уравнение Лейбензона, которое в случае зависимости вязкости перекачиваемой жидкости от температуры и с учетом различия значений вязкости в пристенном слое и ядре потока в горячем нефтепроводе выглядит следующим образом:

$$\frac{dH}{dx} = \beta \frac{Q^{2-m} \nu(T)^m}{d^{5-m}} \left( \frac{\nu_{тр}}{\nu} \right)^{1/3} \quad \beta = \frac{8A}{4^m \pi^{2-m} g} \quad (1)$$

где  $Q$  – расход перекачиваемой жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $T$  – температура, °С;  $d$  – внутренний диаметр нефтепровода, м;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости нефти, м<sup>2</sup>/с;  $A$ ,  $m$  и  $\beta$  – расчетные коэффициенты, зависящие от режима течения жидкости и механических свойств трубопровода (возникающих зон трения);  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

В результате математического моделирования процессов трубопроводного транспорта представленных нефтей оценено влияние электромагнитного воздействия на режимы работы нефтеперекачивающих станций. Установлено, что высокочастотное электромагнитное воздействие приводит к изменению гидравлической характеристики нефтепровода, уменьшению величины потребного напора, росту производительности перекачки, увеличению зоны устойчивой работы нефтепровода.

### **Литература**

1. П.И. Тугунов, Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов / В.Ф. Новосёлов, А.А. Коршак, А.М. Шаммазов, Уфа «Дизайн Полиграф Сервис», 2002. – 655 с. ил.

© Мухарямова Г.И., Киреев В.Н., Ковалева Л.А., 2024

## СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

УДК 514.822

### РАСПАД СУПЕРБРАДИОНА

Шарипов Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Супербрадионы – это гипотетические массивные частицы, способные двигаться быстрее скорости света. Впервые они были рассмотрены Луисом Гонзалезом-Местресом в [1]. Он дал им название в [2]. Луис Гонзалез-Местрес использовал супербрадионы для объяснения присутствия в космических лучах частиц с энергиями, превышающими теоретический предел Грайзена-Зацепина-Кузьмина. Он также объяснял с их помощью изобилие электронов и позитронов в экспериментах PAMELA (Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics), ATIC (Advanced Thin Ionization Calorimeter), Fermi LAT (Large Area Telescope), HESS (High Energy Stereoscopic System) и PPB-BETS (Polar Patrol Balloon and Balloon-borne Electron Telescope with Scintillating fibers).

Супербрадионы не укладываются в стандартную теорию относительности. Но, как выяснилось в [3] много позже публикаций [1] и [2], они укладываются в новую неэйнштейновскую теорию гравитации, получившую название «Модель вселенной как 3D-браны», см. [4] и [5].

В докладе излагаются результаты работы [6], в которой предложен способ регистрации распада супербрадионов на пару из частицы и античастицы барионной материи при помощи пары матричных детекторов и способ вычисления на основе получаемых при этом данных массы покоя и предельной скорости супербрадионов.

#### Литература

1. Gonzalez-Mestres L. Properties of a possible class of particles able to travel faster than light, e-print arXiv:astro-ph/9505117.
2. Gonzalez-Mestres L. Space, time and superluminal particles, e-print arXiv:physics/9702026.
3. Sharipov R. A. Superluminal non-baryonic particles in a 3D-brane universe without equidistance postulate, e-print viXra:2307.0072.
4. Sharipov R. A. 3D-brane gravity without equidistance postulate, e-print viXra:2306.0104.
5. Шарипов Р.А. Модель вселенной как 3D-браны. – Уфа 2024, см. ResearchGate, publication № 383040427, ISBN 978-5-600-04170-7.
6. Sharipov R. A. Decay of a superbradyon into a baryonic particle and its antiparticle, e-print viXra:2403.0041.

© Шарипов Р.А., 2024

**ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ**

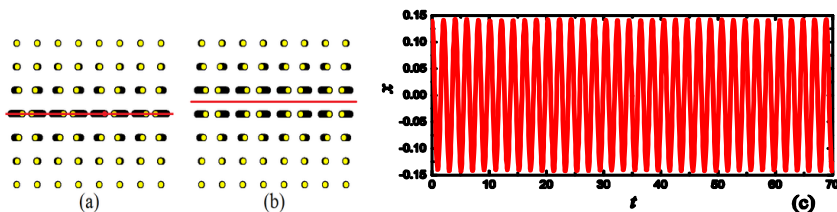
Наумов Е.К., Дмитриев С.В.

Институт проблем сверхпластичности металлов, г. Уфа, Россия

В ходе исследования было получено две однокомпонентные моды квадратной кристаллической решетки, с частотой колебания выше фононного спектра. Из этих двух мод было образовано одиннадцать возможных локализованных ДБ.

Мы подчеркиваем, что начальные условия, используемые для возбуждения ДБ, не дают точных пространственно локализованных решений, но позволяют получать долгоживущие квазибризеры. Часть энергии, первоначально переданной в локализованную колебательную моду, излучается, и после переходного периода, колебания стабилизируются. Параметры функции локализации выбираются таким образом, чтобы энергия, выделяемая во время стабилизации квазидышащей модели, была минимальной. Такая квазидышащая модель является прототипом исследуемого локализованного дискретного бризера молекул [1].

Далее представлены стационарные одномерные ДБ, полученные путем наложения локализующей функции на ДНКМ I.



*Рис. 1.* Стационарные одномерные ДБ, полученные путем наложения локализующей функции на ДНКМ I. Перемещения умножаются на коэффициент 2. Параметры модели следующие: (а)  $p_1 = 0$ ,  $p_2 = 1$ ,  $p_3 = 0$ ,  $A = 0,14$ ,  $\beta = 1,48$ ; для (b)  $p_1 = 0$ ,  $p_2 = 1$ ,  $p_3 = h/2$ ,  $A = 0,14$ ,  $\beta = 1,45$ . Линии локализации ДБ показаны красным цветом. В (с) представлена временная эволюция  $x$ -компонента смещения частицы, окрашенной в красный цвет.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда 24-11-00139.*

**Литература**

1. Dolgov, A.S.: On localization of oscillations in nonlinear crystal structure. *Sov. Phys. Solid State* 28, 907 (1986).

© Наумов Е.К., Дмитриев С.В. 2024

**БИФУРКАЦИИ ОДНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Абдуллин А.У.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В работе на примере простой диссипативной модели исследуются бифуркационные ряды в зависимости от значения интеграла движения. Предложенная система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} \dot{N}_1 = N_1(-\varepsilon_1 - \gamma_1 M_1 + \beta_1 M_0), \\ \dot{N}_2 = N_2(-\varepsilon_2 - \gamma_2 M_1 + \beta_2 M_0), \\ \dot{M}_1 = M_1(-\varepsilon - \tilde{\gamma}_1 N_1 + \tilde{\gamma}_2 N_2), \\ M = M_0 + N_1 + N_2 + M_1 = const, \tilde{\gamma}_1 < \gamma_1, \tilde{\gamma}_2 < \gamma_2 \end{cases}$$

и является математическим описанием трехуровневой замкнутой трофической цепи. Здесь функции  $N_1$ ,  $N_2$  описывают автотрофные популяции, а функция  $M_1$  – гетеротрофную.

Наше исследование проведено в рамках глобального подхода, основанного на анализе глобальной устойчивости возникающих в процессе самоорганизации структур. Глобальная устойчивость решений понимается здесь как асимптотическая устойчивость в целом в области (GAsSt [1]). В работе используется несколько развитый метод функций Ляпунова, опирающийся на теорему Барбашина-Красовского [2]. В силу этой теоремы области  $\dot{L} < 0$  являются областями глобальной устойчивости, а поверхности  $\dot{L} = 0$  являются сепаратрисными поверхностями, разделяющими области притягивающихся и отталкивающихся (относительно положений равновесия) траекторий.

Рассмотрение сепаратрисных поверхностей позволило как получить области глобальной устойчивости в пространстве параметров и фазовом пространстве, так и проследить эволюцию системы в зависимости от значений бифуркационного параметра  $M$ . Результатом подобного рассмотрения явилось построение бифуркационных (сукцессионных) рядов. Для различных областей параметров исходной системы получена дюжина рядов от самых простых до достаточно сложных и богатых различными режимами «триггерных» состояний.

**Литература**

1. Метод векторных функций Ляпунова в теории устойчивости. // Под ред. Воронова А.А., Матросова В.М. М.: Наука, 1987. – 312 с.
2. Барбашин Е.А., Красовский Н.Н. Об устойчивости движения в целом. // ДАН, 1952. – т.86, № 3. – С.435–456.

## НОВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЛН

Губайдуллин Р.Г., Антонова А.А., Филиппов А.И., Зеленова М.А.  
Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и  
технологий, г. Стерлитамак, Россия

Исследование фильтрационно-волновых процессов в пористых средах, как и упругих волн других типов, имеет важное практическое значение для совершенствования методов повышения нефтеотдачи, акустического каротажа скважин, сейсморазведки месторождений нефти и газа, а также для гидрогеологии. В работе [1] представлены результаты теоретического и экспериментального исследования волновых фильтрационных полей. Показано, что скорость фильтрационной волны определяется вытесняющей способностью пористой среды, а не сжимаемостью, как это считалось ранее. По этой причине при устремлении пористости к единице скорость фильтрационных волн стремится к скорости звука в насыщающей жидкости, а при уменьшении пористости скорость фильтрационных волн устремляется к нулю. Это объясняется увеличением вклада «кажущейся сжимаемости» вследствие перетоков насыщающего флюида, вызванного градиентом давления между соседними областями пористой среды. Тем не менее, такое изменение скорости фильтрационных волн является парадоксальным с точки зрения классической теории упругих волн, поскольку при уменьшении пористости увеличивается объемное содержание твердой фазы, скорость упругих волн в которой превышает их скорость в жидкости.

Для проверки теоретических предсказаний создана компьютеризированная экспериментальная установка с целью исследования фильтрационных волн и осуществлены измерения их характеристик. Сопоставление предсказаний теории и результатов экспериментальных измерений показало хорошее согласование. Фактически это означает, что упругие процессы в проницаемых средах, а на практике – в коллекторах нефти и газа, а также в водонасыщенных пластах, преобладающе представлены фильтрационными волнами, а классическая теория упругих процессов в пористых средах ограничена в применении только средами с несвязанной пористостью.

### Литература

1. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Зеленова М.А., Ковальский А.А., Кабилов И.Ф., Левина Т.М., Валитов Р.Р., Юсупов И.Т. Экспериментальное исследование фильтрационных волн // Известия высших учебных заведений. Физика. 2023. Т. 66. № 10 (791). – С. 79–88.

© Губайдуллин Р.Г., Антонова А.А.,  
Филиппов А.И., Зеленова М.А., 2024

УДК 517.95

## ОБ УПРУГИХ ВОЛНАХ В ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ

Мацковский А.А., Заворохин Г.Л.

Санкт-Петербургское отделение математического института  
им. В.А. Стеклова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Существование упругих волн со смещениями, локализованными при вершине клина с углом раскрытия менее  $\pi/2$ , в изотропных топографических волноводах было строго доказано В. М. Бабичем в [1]. Это доказательство, основанное на вариационном подходе, распространено на топографические волноводы с треугольным выступом для больших диапазонов углов и материальных параметров структуры. Мы дополняем результат В. М. Бабича и доказываем существование локализованных упругих волн на прямоугольной вершине топографических волноводов с различной формой поперечного сечения.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 24-21-00286.*

### Литература

1. В. М. Бабич // Об одном классе топографических волноводов, Алгебра и Анализ, 22:1 (2010). – С. 98-107.

© Мацковский А.А., Заворохин Г.Л., 2024

## СЕКЦИЯ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТАТИСТИКА»

УДК 51-73:550.3

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ РОЗЕНБРОКА ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА ТОЧНОСТИ

Сергиенко Д.Ф.<sup>1,2</sup>, Паровик Р.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт космофизических исследований и распространения радиоволн  
ДВО РАН, Камчатский край, г. Елизово, Россия

<sup>2</sup>Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,  
Камчатский край, г. Елизово, Россия

Впервые в статье [1] была предложена математическая модель сигнала высокочастотной геоакустической эмиссии (ГАЭ) на основании функций Берлаге для описания двух источников излучения, взаимодействующих между собой посредством коэффициента линейной связи. Математическая модель представляла собой систему из двух связанных линейных осцилляторов с непостоянными затухающими по времени коэффициентами. В работе [1] был проведен количественный анализ математической модели: построены осциллограммы, фазовые траектории и спектры, полученных в Maple сигналов ГАЭ. Дальнейшее исследование модели заключалось в ее качественном анализе, в рамках которого были исследованы вопросы существования и единственности решения, устойчивости нулевого решения и свойство жесткости [2].

Целью настоящей работы является модернизация разработанного ранее программного комплекса QAMODEL на языке C++ с использованием фреймворка для разработки кроссплатформенного программного обеспечения Qt [3]. Модернизация программного комплекса заключалась в расширении функционала модуля для количественного анализа – помимо уже реализованного численного метода Розенброка четвертого порядка точности была также реализована возможность построения логарифмической зависимости погрешности от шага и оценки погрешности метода Розенброка четвертого порядка по правилу Рунге. Кроме того, была реализована возможность построения и сохранения графиков с расширением `rng` для дальнейшего их изучения при различных значениях параметров модели, которые пользователь вводит через интерфейс программного комплекса. Также реализована справка о приложении.

С помощью модернизированного программного комплекса было проведено сопоставление вычислительной точности метода Розенброка с вычислительной точностью аналогичного метода, реализованного в среде



символьной математики Maple в разработанной ранее компьютерной программе QUALITGAE [4].

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-11-00064 по теме «Моделирование динамических процессов в геосферах с учетом наследственности» <https://rscf.ru/project/22-11-00064/>.*

### **Литература**

1. Гапеев М. И., Солодчук А. А., Паровик Р. И. Связанные осцилляторы как модель высокочастотной геоакустической эмиссии // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки., 2022. Т. 40, № 3. – С. 88–100. doi: 10.26117/2079-6641-2022-40-3-88-100.
2. Мингазова Д. Ф., Паровик Р. И. Некоторые аспекты качественного анализа модели высокочастотной геоакустической эмиссии // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки., 2023. Т. 42, № 1. – С. 191–206. doi: 10.26117/2079-6641-2023-42-1-191-206.
3. Сергиенко Д. Ф., Паровик Р. И. Программа QAMODEL – Качественный анализ математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024663843 Российская Федерация.
4. Сергиенко Д. Ф., Паровик Р. И. «Программа QUALITGAE для исследования качественных свойств численного решения математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686651 Российская Федерация.

© Сергиенко Д.Ф., Паровик Р.И., 2024

## РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА МЕТОДОМ ИТЕРАЦИОННЫХ РАСШИРЕНИЙ

Еремчук М.П.

Южно-уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Данная работа посвящена решению краевой задачи Дирихле для экранированного уравнения Пуассона в трехмерной области со сложной геометрии с помощью метода итерационных расширений, являющегося обобщением метода фиктивных компонент [1]. Методология фиктивных компонент исследовалась и оптимизировалась для получения оптимальной асимптотики для эллиптических краевых задач второго порядка с условием Неймана [2]

Краевые задачи для экранированных уравнений Пуассона описывают перемещения точек мембраны под действием давления, потенциал электростатического поля в зависимости от плотности статических зарядов, стационарное распределение температуры от тепловых источников, скорость течения жидкости.

В алгоритме метода итерационных расширений заложена автоматизация управления для расчетов оптимальных итерационных параметров при выполнении предварительно задаваемых оценок погрешности. Развиваемый метод итерационных расширений имеет неулучшаемую асимптотику, т.е. оптимальную асимптотику по количеству требуемых операций и допускает простую, эффективную и универсальную реализацию по сравнению с методом фиктивного пространства [3].

### Литература

1. Астраханцев Г.П. Метод фиктивных областей для эллиптического уравнения второго порядка с естественными граничными условиями // Журнал вычислительной математики и математической физики, 1978, т. 18, №1. – С. 118–125.
2. Капорин И.Е. Метод фиктивных неизвестных для решения разностных уравнений эллиптического типа в областях сложной формы // ДАН СССР, 1980, т. 251, №3. – С. 544–548.
3. Мацокин А.М. Метод фиктивного пространства и явные операторы продолжения // Журнал вычислительной математики и математической физики, 1993, т. 33, №1. – С. 52–68.

© Еремчук М.П., 2024

## **ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ НЕФТИ В ТРУБОПРОВОДЕ**

Усманова Ф.К.<sup>1</sup>, Мамедова Э.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт нефти и газа ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Октябрьский, Россия

<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Эффективность нефтяной отрасли зависит от своевременной поставки нефти. Доставка трубопроводным транспортом требует использования измерительных систем для многократного измерения параметров количества нефти. В результате погрешность в расчете количества нефти составляет 2-3%. Совершенствование метрологического обеспечения нефтяного комплекса является одним из наиболее эффективных направлений, приводящих к повышению точности измерения. В работе проведено исследование влияния профиля скорости течения жидкости на метрологические характеристики, обусловленные конфигурацией трубопроводов на входе средства измерений. Для численного моделирования процесса построена расчетная сетка. Для увеличения точности расчета в местах с повышенным градиентом изменения параметров (давления и скорости) расчетная сетка была сделана более «густой». Качество сетки проверялось, при несоблюдении условий изменялся размер элементов в пристеночной области и повторялся расчет. При установлении динамики вязкой жидкости использовалось решение осредненных по времени уравнений Навье-Стокса. Анализ проводился при одной и той же скорости для жидкостей разной вязкости. Построены и проанализированы зависимости скоростей в различных сечениях трубопровода для жидкостей с различной вязкостью. Доказано, что проблемы проведения экспериментов могут быть решены методами численного моделирования. Они помогают обнаружить неудачные места установки средств измерений расхода жидкости на этапе проектирования, оптимизировать их конструкцию и исключить дополнительные погрешности в процессе их эксплуатации.

### **Литература**

1. Фатхутдинов А. Ш. Автоматизированный учет нефти и нефтепродуктов при добыче, транспортировке и переработке / А. Ш. Фатхутдинов, М. А. Слепях, Н. И. Ханов. – Москва: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2002. – 417 с. – Текст: непосредственный.

© Усманова Ф.К., Мамедова Э.Р., 2024

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ ЗОДИАКА

Юманова Э.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Нефтекамский филиал, г.  
Нефтекамск, Россия

В данной работе рассматривается процесс создания и обучения нейронных сетей в облачном сервисе Google Colab, начиная с подготовки датасета и подключения необходимых библиотек, таких как TensorFlow, NumPy и matplotlib. Формирование обучающей выборки является важным этапом в решении задач машинного обучения, включая задачи компьютерного зрения. Обучающая выборка для распознавания изображений знаков зодиака получена с помощью работы [1].

Подробное внимание уделено созданию и тестированию трех моделей нейронных сетей: двухслойной, трехслойной и сверточной. Для каждой модели описываются этапы создания, включая выбор функции активации, настройку параметров, компиляцию и обучение сети.

Результаты экспериментов показали, что сверточная нейронная сеть демонстрирует лучшие результаты, достигая 89% точности на этапе обучения. Дополнительно было проведено распознавание собственных изображений с помощью сверточной нейронной сети, что подтвердило её преимущество над полносвязными моделями. На основе полученных данных сделан вывод о высокой эффективности сверточных нейронных сетей для решения задач классификации изображений (таблица 1).

Таблица 1 – Качество распознавания собственных изображений

Структура НС	Качество распознавания
Полносвязная нейронная сеть из двух слоев	86.5 %
Полносвязная нейронная сеть из трех слоев:	87.5 %
Сверточная нейронная сеть с двумя сверточными слоями	89 %

Ознакомиться с проектом можно по адресу <https://clck.ru/3DTFNH>.

### Литература

1. Вильданов А. Н. Генерация датасетов для учебных задач компьютерного зрения / А. Н. Вильданов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 4(100). – С. 92-101.

© Юманова Э.Р., 2024

## **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФЕКЦИИ НА ЭНДИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ В РАСШИРЕННОЙ SEIR МОДЕЛИ**

Каримов А.Р., Соломатин М.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
г. Москва, Россия

При описании развития эпидемий широко используются различные компартментарные модели, в основе которых лежит SEIR модель [1-4]. В большинстве таких исследований эпидемиологические константы, непосредственно определяемые вероятностью передачи инфекции, временем развития и выздоровления, полагаются постоянными; их величина находится из анализа соответствующих эмпирических данных, относящихся к уже прошедшим эпидемиям. Данный подход позволяет уловить основные тенденции развития эпидемий, однако игнорирует непосредственное влияние постоянно меняющейся окружающей среды на вероятности эпидемиологических переходов. По-видимому, именно это и ограничивает прогностическую ценность подобных моделей.

В настоящей работе обсуждается возможность включения в SEIR модель процессов переноса аэрозолей, являющихся переносчиками вирусных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем, т.е. мы пытаемся подойти к установлению зависимости констант скоростей передачи инфекций от состояния окружающей среды. Отталкиваясь от формального сходства уравнений SEIR модели и химической кинетики, в работе применен кинетический подход, используемый при вычислении констант химических реакций [5], к определению констант передачи инфекций. Получены соотношения, учитывающие непосредственное перемещение людей и социальные контакты, происходящие при нулевой относительной скорости людей.

Полученные зависимости приемлемым образом совпадают с соответствующими эмпирическими данными. Они были использованы для установления нелинейных, нестационарных состояний в расширенной SIER модели, учитывающей разную скорость передачи инфекции от людей, находящихся в активной фазе болезни, и просто носителей инфекции. Такие состояния можно трактовать как эндемические равновесия, когда инфекция остается в популяции на некотором уровне. В рамках расширенной SEIR модели был установлен допустимый диапазон эпидемиологических констант, в котором могут реализовываться эндемические равновесия.

### Литература

1. Brauer, F., Castillo-Chavez, C. and Castillo-Chavez, C. Mathematical models in population biology and epidemiology (New York: Springer, 2012).
2. Li M. Y. et al. Global dynamics of a SEIR model with varying total population size //Mathematical biosciences. – 1999. – Т. 160. – №. 2. – С. 191–213.
3. Hethcote H. W. The mathematics of infectious diseases //SIAM review. – 2000. – Т. 42. – №. 4. – С. 599–653.
4. Leonov A., Nagornov O., Tyufilin S. Modeling of Mechanisms of Wave Formation for COVID-19 Epidemic //Mathematics. – 2022. – Т. 11. – №. 1. – С. 167.
5. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики (Москва: Высшая школа, 1984).

© Каримов А.Р., Соломатин М.А., 2024

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Митичкина П.Г., Усманова Ф.К.

Институт нефти и газа ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Октябрьский, Россия

Разработка нефтяного месторождения представляет собой сложный набор мероприятий, включающий в себя геологические исследования и эксплуатацию скважин. Математические методы играют ключевую роль в анализе данных, прогнозировании, моделировании и оптимизации всех этапов работы с месторождением.

Геологическое моделирование является первым этапом в освоении месторождения. Создаются трехмерные модели, которые иллюстрируют распределение нефтяных резервуаров, проницаемость пород и другие характеристики. Для создания таких моделей применяется интерполяция, экстраполяция и статистический анализ. Например, метод крейга, основанный на теории случайных процессов, помогает получить пространственные характеристики горных пород. Далее следует моделирование процессов добычи нефти, что позволяет инженерам предсказывать поведение резервуара в разных условиях. Численные методы решения дифференциальных уравнений помогают оценить объем нефти, подлежащий добыче за определенный период [1].

Оптимизация процесса разработки месторождения — это одна из ключевых задач: используя модели разработки, инженеры могут определить оптимальные параметры для бурения, такие как глубина, угол наклона и интервал добычи [2]. В ходе мониторинга состояния скважин были использованы элементы математического анализа и теории вероятностей, что позволило прогнозирование появления возможных неисправностей. Прогнозирование накопления нефти и газа является важным аспектом при разработке месторождений. Используя различные математические модели и методы, можно предсказывать, как изменится объем запасов в будущем [3]. Совершенствование математических моделей и алгоритмов, а также интеграция новых технологий, таких как машинное обучение, позволяет нефтяным компаниям не только снизить затраты, но и повысить объемы добычи и рентабельность.

### **Литература**

1. Габдрахманова К.Ф. Дифференциальные уравнения с приложениями к задачам нефтедобычи / К.Ф. Габдрахманова, Ф.К. Усманова. Том 1. Часть 1. Уфа, 2016.
2. Ихсанова Ф.А. Прогнозирование эффективности геолого-технических мероприятий с использованием индуктивных алгоритмов

машинного обучения / Ихсанова Ф.А., Гилязетдинов Р.А., Митичкина П. Г. / Современные технологии в нефтегазовом деле – 2024, 2024. – С. 686–690. – EDN GUNAPT.

3. Усманова Ф.К., Шайдуллина Р.М. // Математические методы при становлении профессиональных компетенций студентов технического вуза. Казанская наука. 2024. №2. – С. 124–126.

© Митичкина П.Г., Усманова Ф.К., 2024



УДК 530.182.1

**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ СПИНОВОГО СТЕКЛА:  
МОДЕЛЬ ШЕРРИНГТОНА-КИРКПАТРИКА И МОДЕЛЬ ПАРИЗИ**

Синицын Вл.Е., Овчинников А.С., Бострем И.Г.

Институт естественных наук и математики, УрФУ, г. Екатеринбург, Россия

Физика различных систем, в которых возможна фаза спинового стекла, активно развивалась последние 40 лет, и не теряет своей актуальности в связи с открытием новых соединений с такими свойствами. Недавно фаза спинового стекла была экспериментально обнаружена в интеркалированных железом дихалькогенидах переходных металлов  $TaS_2(Se_2)$  [1].

Гамильтониан системы имеет вид:

$$\mathcal{H} = - \sum_{(ij)} J_{ij} S_i S_j - \sum_i h_i S_i - \sum_i \Delta_i S_i^2,$$

где  $J_{ij}$ ,  $h_i$ ,  $\Delta_i$  – параметры систем, имеющие смысл обменной константы, случайного поля и одноузельного потенциала соответственно.  $S_i$  – классическая переменная, принимающая значения 0 для узлов, не обладающих магнитным моментом в низкоспиновом состоянии, и  $\pm 1$  для узлов, сохраняющих момент.

В рамках модели Шеррингтона-Киркпатрика [2] получено выражение для свободной энергии системы, минимизация которого дает систему дифференциальных уравнений в частных производных. Численное решение этой системы представляет собой весьма нетривиальную вычислительную задачу, поэтому в работе проведен разбор и анализ методов решения существенно нелинейных уравнений в частных производных. Также в работе обсуждено общее построение численной схемы решения задачи и приемы для ускорения вычислений.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ No. 22-13-00158.*

### Литература

1. A. S. Ovchinnikov, I. G. Bostrem, Vl. E. Sinityn et. al. Influence of the type of intercalation on spin-glass formation in the Fe-doped  $TaS_2(Se_2)$  polytype family. Phys. Rev. B 109, 054403. (2024)
2. David Sherrington and Scott Kirkpatrick. Solvable Model of a Spin-Glass. Phys. Rev. Lett. 35, 1792. (1975)

© Синицын Вл.Е., Овчинников А.С., Бострем И.Г., 2024

## НЕЛИНЕЙНЫЕ УЕДИНЕННЫЕ ВОЛНЫ В КОНИЧЕСКОЙ ФАЗЕ ХИРАЛЬНОГО ГЕЛИМАГНЕТИКА $\text{CrNb}_3\text{S}_6$

Малютин М.С., Овчинников А.С.

Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный  
университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия

Солитонном называется устойчивая уединенная волна, распространяющаяся без искажения формы с постоянной скоростью. Например, такие возбуждения наблюдались в периодических магнитных структурах на основе тонких пленок [1] и, возможно, могут возникать в экспериментах по распространению микроволн в различных магнитных фазах микрометровых кристаллов моноаксиального хирального гелимагнетика  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  [2].

Нами была рассмотрена коническая фаза этого соединения, которая создается внешним магнитным полем, направленным вдоль геликоидальной оси, когда спины образуют конечный угол с геликоидальной осью и вращаются вокруг нее. С помощью метода усредненного лагранжиана [3], найден закон нелинейной дисперсии и получено решение в виде модулированного волнового пакета, огибающая функция которого описывается НУШ, причем коэффициенты этого уравнения полностью определяются нелинейным дисперсионным соотношением. Предполагая, что в экспериментах по возбуждению спиновых волн волновой вектор спиновой волны, излучаемой антенной-эмиттером, известен, получены сдвиги этого волнового вектора и частоты, которые необходимо учитывать для приема нелинейной волны антенной-детектором.

С помощью критерия Лайтхилла была найдена область устойчивости солитонных решений, которая критическим образом зависит от угла конической магнитной спирали. Численное решение нелинейного уравнения Шредингера показало, что в системе  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  могут возбуждаться только солитоны темного типа.

### Литература

1. Chen, Niu-Niu and Slavin, A. N. and Cottam, M. G. // Phys. Rev. B, 1993, v. 47, pp. 8667–8671.
2. Y. Shimamoto, F.J.T. Goncalves, T. Sogo, Y. Kousaka, Y. Togawa, Phys. Rev. B, 2022, v. 104, Id. 174420.
3. G. B. Whitham Linear and Nonlinear Waves. John Wiley & Sons, 2011. – pp. 660.

© Малютин М.С., Овчинников А.С., 2024

## МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ-АЗОКРАСИТЕЛЬ

Пересторонина А.В., Кудрейко А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Известно немало фотонных устройств на основе жидких кристаллов (ЖК) для информационных систем и модуляции поляризованного света [1]. Метод фотоориентации ЖК позволяет формировать наноструктуры размером до 100 нм на оптических поверхностях. Процесс формирования шаблона на фоточувствительной поверхности предполагает, что ячейка уже содержит ЖК, однако известные литературные данные о теории вращательной диффузии не рассматривают диполь-дипольные и стерические взаимодействия [2]. Рассмотрение энергии диполь-дипольных взаимодействий (на одну молекулу)  $U_{dd}$  системы ЖК-азокраситель в модели неоднородно заданного азимутального угла директора НЖК со средним значением  $\varphi$  приводит к возникновению потенциальных ям (рис. 1).

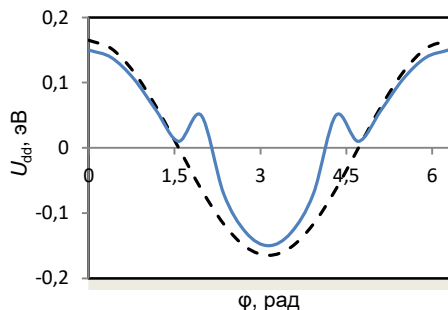


Рис. 1. Потенциал взаимодействия системы ЖК-азокраситель при однородной ориентации азимутального угла директора (пунктирная линия) и при его нормальном распределении вдоль выделенного направления (сплошная линия)

Дальнейшее изучение процессов ориентации диполь-дипольных взаимодействий в рамках теории среднего поля показывает, что энергия сцепления с поверхностью состоит из энергии взаимодействия усредненных дипольных моментов молекул ЖК и фотоориентанта (азокрасителя) и локальными поверхностными зарядами.

### Литература

1. Kudreyko A., Chigrinov V., Neyts K., Chausov D., Perestoronina A. // Crystals, 2024, v. 14(6), p. 512.
2. Chigrinov V., Pikin S., Verevochnikov A., Kozenkov V., Khazimullin M., Ho J., Huang D.D. and Kwok H.S., 2004. Physical Review E v. 69(6), p.061713.

© Пересторонина А.В., Кудрейко А.А., 2024

## **ЭФФЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С НАРУШЕНИЕМ АКСИАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ В ПЛАЗМЕННОМ УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ**

Кадырина К.Д.<sup>1\*</sup>, Шапошников Л.А.<sup>2</sup>, Батулин С.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт естественных наук и математики

Уральского федерального университета им. первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики.,  
г. Санкт-Петербург, Россия

В последнее время перспективным методом получения заряженных частиц высокой энергии является ускорение кильватерным полем внутри «пузыря» в плазме [1]. Взаимодействие с плазмой происходит в сильно нелинейном режиме, при котором заряженный пучок-драйвер полностью выталкивает электроны плазмы с оси своего распространения, что приводит к образованию полости (называемой «пузырем»), заполненной лишь ионами.

В случае нарушения аксиальной симметрии пузырька вследствие асимметрии источника, меняется конфигурация полей внутри «пузыря», что приводит к необходимости пересчета псевдопотенциала, используемого для описания электромагнитного поля.

Данная работа основывается на модификации недавно полученной модели пузыря [2] на эллиптический случай. Из модифицированного выражения для псевдопотенциала было выведено уравнение на радиус плазменного «пузыря», получено его численное решение, а также уравнение на параметр эллиптичности. Из проведенных расчетов видно, что при низкой интенсивности драйвера пузырь в поперечном сечении обладает той же эллиптичностью, что и источник, тогда как при большой интенсивности драйвера сечение пузыря за источником стремится к округлости.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «Базис».*

### **Литература**

1. Malka V., Faure J., Gauduel Y., Lefebvre E., Rousse A., Phuoc K. // Nat. Phys. – 2008. – Vol. 4. – p. 447–453.
2. Golovanov A., Kostyukov I.Yu., Pukhov A., Malka V. // Phys. Rev. Lett. – 2023. – Vol. 130. – p. 105001.

© Кадырина К.Д., Шапошников Л.А., Батулин С.С., 2024

УДК 517.9, 519.633

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ВОЛН УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА БРИЗЕРНОГО ТИПА С УЧЕТОМ ИЗЛУЧЕНИЯ**

Кабанов Д.К., Хасанов А.Д., Екомасов Е.Г.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Уравнение синус-Гордона (УСГ) пользуется популярностью в теоретической и математической физике, так как оно описывает и предсказывает множество физических явлений и имеет точные решения в виде солитонов — уединённых волн, сохраняющих свою форму и скорость во времени, в том числе при взаимодействии друг с другом. Для более адекватного моделирования реальных физических систем в УСГ вводятся дополнительные коэффициенты и функции. Во многих работах изучается взаимодействие топологического солитона (кинка) с пространственной неоднородностью параметра в виде примеси, приводящее к возбуждению на ней примесной моды [1]. Также показано, что, изменяя параметры примеси, можно изменять тип примесных мод.

В данной работе рассматривается задача о структуре и динамике локализованных нелинейных волн бризерного типа в модели синус-Гордона с притягивающими протяженными примесями. Проведен с помощью численных методов анализ влияния параметров системы и начальных условий на структуру локализованных волн, их амплитуду и частоту. Изучена структура вторичных волн, испускаемых бризерами локализованными на примесях. Показано, что, меняя параметры системы и добавляя внешнюю вынуждающую силу, можно добиться изменения вида и частоты излучаемых волн.

### **Литература**

1. Самсонов К.Ю., Кабанов Д.К., Назаров В.Н., Екомасов Е.Г. Локализованные нелинейные волны уравнения синус-Гордона в модели с тремя протяженными примесями // Компьютерные исследования и моделирование, 2024, т. 16, № 4. – С. 855-868

© Кабанов Д.К., Хасанов А.Д., Екомасов Е.Г., 2024

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ В НАНОРЕЗОНАТОРАХ

Загребина М.А., Кузьмин Д.А., Бычков И.В.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Интерес к изучению структур, поддерживающих распространение поверхностных плазмон-поляритонов (ППП) – электромагнитных возбуждений в оптическом диапазоне частот, распространяющихся на границе раздела проводник-диэлектрик, связан с возможностью создания новых типов устройств в наноэлектронике.

В данной работе на основе дискретной модели волнового поля  $u(x, y, t+1)$  в двумерной области, взаимодействующей с точечным источником излучения, исследуется возбуждение ППП в наноструктурах, представляющих собой прямоугольник или круг, выделенных на поверхности металла на границе раздела сред золото-оксид кремния [1].

$$u(x, y, t+1) = a_1 u(x, y, t) - a_2 u(x, y, t-1) + bW(t, x \pm 1, y \pm 1) + gF(x, y, t),$$
$$W(t, x \pm 1, y \pm 1) = u(x-1, y, t) + u(x+1, y, t) + u(x, y-1, t) + u(x, y+1, t). \quad (1)$$

Распределения волнового поля в наноструктуре были получены с учетом динамики электронов проводимости в металле, были рассчитаны значения фазовой скорости в структуре золото-оксид кремния.

Численное моделирование показало, что с учётом макроскопической поляризации меняется структура резонансного поля, но при увеличении коэффициента связи волнового поля с точечным источником излучения действие источника оказывается превалирующим.

Анализ возбуждаемых мод показал, что в рассматриваемой структуре наибольшую амплитуду имеют моды резонансного поля низших порядков. Так, при повышении коэффициента связи преобладают амплитуды мод  $(0;0)$ ,  $(1;1)$ .

Полученные результаты могут быть полезны для создания заданного распределения интенсивности ППП в наноструктурах.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075- 00187-24-00).*

### Литература

1. Бычков И.В., Кузьмин Д.А., Загребина М.А. // Вестник ЮУрГУ. Серия Математика. Механика. Физика. 2023. Т. 15(3). – С. 79–88.

© Загребина М.А., Кузьмин Д.А., Бычков И.В., 2024

## **СВЯЗАННАЯ ДИНАМИКА МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ РАЗНОЙ ПОЛЯРНОСТИ В СТНО СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА**

Фасхутдинов Р.А., Кудашев В.С., Екомасов Е.Г.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Магнитным вихрем принято называть неоднородное распределение намагниченности, имеющее следующий вид: в плоскости магнетика намагниченность закручена по окружности, а в центре вихря, называемом “кором”, намагниченность имеет направление перпендикулярное этой плоскости. В нанодисках определенного диаметра и толщины магнитный вихрь реализуется как основное состояние. В спинтронике считается перспективным устройство, называемое спин-трансферный наноосциллятор (СТНО). Часто оно представляет собой трехслойный наноцилиндр с двумя магнитными слоями, разделенными немагнитной прослойкой. Существует много работ, в которых рассматриваются вихревые СТНО [1], в которых в одном или двух магнитных слоях существует магнитный вихрь.

В данной работе рассматривалась система, представляющая собой СТНО среднего диаметра (250 нм), состоящего из трех слоев – два магнитных из пермаллоя, толщиной 4 и 15 нм соответственно, и один немагнитный из меди, разделяющий магнитные и имеющий толщину 10 нм. Рассмотрен случай, когда в каждом магнитном слое находится магнитный вихрь. Через данный СТНО пропускается спин-поляризованный ток с разными значениями силы тока, что приводит к движению вихрей в магнитных слоях. Исследование было проведено с помощью численного моделирования используя пакет SPIN PM для случая вихрей с одинаковой и разной полярностью. Найдены значения критических токов, определяющих области разных сценариев связанной динамики вихрей, исследованы возможные типы динамики вихрей, реализующиеся в данной системе. Построены диаграммы зависимости частоты стационарного режима колебаний вихрей и радиусов окружностей по которым они двигаются от силы тока.

### **Литература**

1. Звездин К.А., Екомасов А.Е., ФММ 123, 3, 219 (2022).

© Фасхутдинов Р.А., Кудашев В.С., Екомасов Е.Г., 2024

**ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА  
СПЛАВА  $Mn_3Al$ : ИССЛЕДОВАНИЯ *AB INITIO***

Артамонов И.В., Загребин М.А.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Сплавы Гейслера представляют интерес из-за разнообразия наблюдающихся в нем комбинаций структур и фазовых переходов, вызываемых изменением температуры и давления [1, 2]. Такое разнообразие, обусловленное их уникальными свойствами, показывает их актуальность для применения в различных областях, таких как медицина, энергетика и транспорт. В последнее время сплавы Гейслера на основе  $Mn_2$  ( $Mn_2YZ$ ,  $Y = Mn, Sc, Cr, Ti, V$ ,  $Z - sp$ -элементы) являются объектами интенсивного теоретического и экспериментального изучения с целью применения в спинтронике. Данные сплавы интересны еще и тем, что в них наблюдаются два состояния с различными свойствами, которыми можно управлять с помощью внешнего гидростатического и внутреннего химического давлений [1, 2].

В работе с помощью теории функционала плотности исследованы основное магнитное состояние и электронные свойства сплава Гейслера  $Mn_3Al$ . В результате геометрической оптимизации кристаллической решетки показано, что ферримагнитное состояние с антипараллельной ориентацией магнитных моментов атомов  $Mn$  является основным и характеризуется малым значением магнитного момента и спиновой поляризацией близкой к 100%. Построены и проанализированы зависимости энтальпии от параметра решетки, а также плотности электронных состояний для объемной (bulk) и поверхностной (slab) ячеек сплава  $Mn_3Al$  при нормальном давлении и гидростатическом давлении  $-2$ ,  $-5$ ,  $-8$ ,  $-10$  ГПа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № 07500187-24-00.*

**Литература**

1. Buchelnikov V.D., Sokolovskiy V.V., Miroshkina O.N., Baigutlin D.R., Zagrebini M.A., Barbiellini B., Lähderanta E. // Physical Review B, 2021, v. 103, pp. 054414.
2. Sokolovskiy V.V., Zagrebini M.A., Baigutlin D.R., Buchelnikov V.D. // Computational Materials Science, 2023, v. 228, pp. 112365.

© Артамонов И.В., Загребин М.А., 2024



УДК 537.322.1

## **ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА «AICON2» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПИНОВЫХ ПОДСИСТЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

Ененко А.А.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В связи с продолжающимся интересом к поиску эффективных термоэлектрических материалов запрос на оптимизацию теоретических методов исследования и предсказания данных свойств, равно как и поиска перспективных соединений, остается весьма велик.

В 2021 году был выпущен программный пакет для быстрого и точного расчета электронных транспортных свойств и фоновой теплопроводности «AICON2» [1]. Особенностью данного пакета является учет зависимости времени релаксации электронов и фононов от температуры и химического потенциала, учет влияния оптических фононных мод на время релаксации, а также возможность проведения полной автоматизации всех этапов расчетов от запуска DFT-вычислений до получения готовых данных о решёточной теплопроводности и электронных транспортных свойствах. Недостатком оригинального пакета явилась невозможность работы с результатами спинполяризованных первопринципных вычислений, необходимых при исследовании материалов с магнитным упорядочением. Нами была предпринята попытка в рамках существующих вычислительных моделей модернизировать данный программный пакет для получения возможности проведения расчетов при работе с результатами спинполризованных вычислений.

Апробация работоспособности программы проводилась на ранее предсказанном магнитном полупроводниковом четверном сплаве Гейслера FeVScSb [2]. Данный сплав представляет собой магнитный полупроводник с кубической структурой, примитивная ячейка которого принадлежит пространственной группе симметрии F-43m, с атомами Fe, V, Sc, Sb, стоящими в C, A, B, D позициях Уайкофа, соответственно. Вычисленная ширина щели составила 0,096 эВ, магнитный момент - 3  $\mu_B$ /f.u. DFT-расчёт проводился пакетом VASP в рамках приближения обобщенного градиента (GGA) в формулировке Пердюю, Бурка, Эрнзерхофа (PBE). На рис. 1. представлена зонная структура изучаемого сплава. На рис. 2 – полученная зависимость термоэлектрической добротности от смещения химического потенциала, а также зависимость решеточной теплопроводности от температуры. Показано, что допирование данного сплава донорными примесями улучшает термоэлектрические свойства.

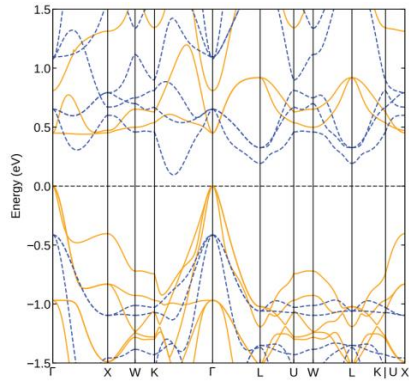


Рис. 1. Зонная структура FeVScSb

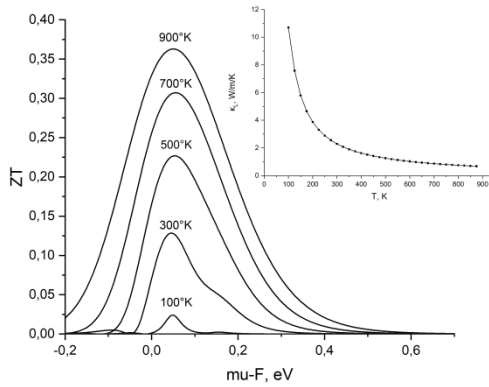


Рис. 2. Термоэлектрическая добротность и решеточная теплоемкость

### Литература

1. Tao Fan, Artem R. Oganov. *Comput. Phys. Commun.* 266, 108027 (2021)
2. Yue Wang *et.al.* *Comput. Mater. Sci.* 150, 2018.

© Ененко А.А., 2024

## ГРАВИТАЦИОННОЕ МИКРОЛИНЗИРОВАНИЕ ЧЕРНЫМИ ДЫРАМИ В Т-ДУАЛЬНОСТИ

Харипова Д.И., Каримов Р.Х.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Гравитационное микролинзирование - явление изменения яркости изображения со временем из-за относительного перемещения линзы и источника, для которых угол Эйнштейна  $\theta_E \sim 10^{-3}''$  [1]. Явление микролинзирования является хорошо изученным как для черных дыр, так и для кротовых нор и является наблюдаемым. Таким образом, гравитационное микролинзирование является хорошим инструментом для проверки валидности теории струн модифицированной Т-дуальностью. Т-дуальность - это двойственность в теории струн, описывающая движение струн в пространстве-времени по окружности радиусом  $R$ , а во второй движение по окружности радиусом, обратно пропорциональным  $R$  и характеризуется двумя параметрами:  $l_0$ -масштабный параметр и  $Q$  – электрический заряд. В работе проанализировано влияние параметров Т-дуальности на увеличение мнимого изображения. Увеличение определяется соотношением между телесными углами:

$$|\mu| = |(\beta/\theta)(d\beta/d\theta)|^{-1}, \quad (1)$$

где  $\beta$  - угол между линзой и источником,  $\theta$  - положение изображения.

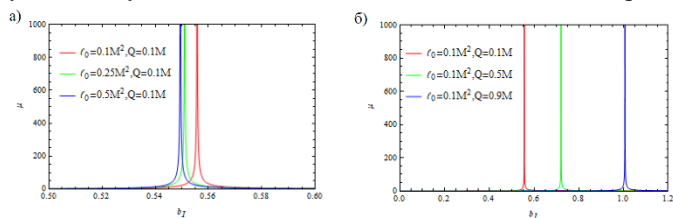


Рис. 1. Зависимость  $\mu$  от  $b_l$

На рис. 1 показано что прицельный параметр  $b_l$  при котором происходит максимальное увеличение изображения уменьшается при увеличении масштабного параметра и увеличивается при увеличении электрического заряда.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-22-00391).*

### Литература

1. Gao K., Liu L.-H., Zhu M. // Physics of the Dark Universe, 2023, v. 41, p. 101254.

© Харипова Д.И., Каримов Р.Х., 2024

## STABILITY OF THE THIN-SHELL SCHWARZSCHILD - KIM-LEE WORMHOLE

Akhtaryanova G.F., Izmailov R.N., Karimov R.R.

M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, Zel'dovich International Center for Astrophysics, Ufa, Russia

Asymptotic zero ADM mass wormholes are of great interest for astrophysical applications. However, taken individually, they are unstable to small perturbations. On the other hand, there is a possibility that they can be stable as an interior partner of a traversable glued wormhole obtained by suitably gluing the interior to the observationally relevant massive exterior spacetimes across spherically symmetric thin shells [1].

We shall employ the GLV [2] formalism for investigating the stability regions of the linearly perturbed spherical motion of the thin-shell moving in the bulk spacetime. We wish to address the stability of the thin-shell in a model obtained by gluing scalar field massless Kim-Lee spacetime [3] to the vacuum Schwarzschild black hole. The asymptotic ADM masses in the interior will be the zero mass Kim-Lee [4] spacetime and on the exterior will be the asymptotic Schwarzschild mass respectively.

Kim-Lee wormhole metric [2] can be rewritten as

$$d_s s^2 = -dt^2 + r^2 \left( 1 - \frac{b_0^2 - \alpha}{r^2} \right)^{-1} dr^2 + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2),$$

where the free parameter  $b_0$  has the dimension of length and  $\alpha$  is a scalar charge.

In this work we showed that stability of the KL wormhole can be achieved if it plays the role of an interior partner in a glued wormhole across a thin-shell that preserves the zero asymptotic mass of the interior. The stability zones are found and influence of scalar charge to stability is analyzed.

*This work was supported by the Russian Science Foundation under grant no. 23-22-00391.*

### References

1. Ахтарьянова Г.Ф., Низаева Г.И., Измаилов Р.Н. // Известия Уфимского научного центра РАН, 2021, № 1. – С. 33–38.
2. Garcia N.M., Lobo F.S.N., Visser M. // Phys. Rev. D, 2012, v. 86, P. 044026.
3. Kim S.-W., Lee H. // Phys. Rev. D, 2001, v. 63, P. 064014.
4. Akhtaryanova G.F., Karimov R.K., Izmailov R.N., Nandi K.K. // General Relativity and Gravitation, 2024, v. 56, P. 58.

© Akhtaryanova G.F., Izmailov R.N.,  
Karimov R.R., 2024

**BONDI ACCRETION ONTO QUANTUM DEFORMED BLACK HOLE**Yusupova R.M.<sup>1,2</sup>, Izmailov R.N.<sup>2</sup>, Karimov R.Kh.<sup>2</sup>.<sup>1</sup>Institute of Molecule and Crystal Physics, Ufa, Russia<sup>2</sup>Bashkir State Pedagogical University n.a. M. Akmullah, Ufa, Russia

The solution of the Kazakov-Solodukhin black hole (KSBH) is obtained by deforming the Schwarzschild solution in general relativity due to spherically symmetric quantum fluctuations of the metric and matter fields [1]. The Kazakov-Solodukhin black hole spacetime is defined

$$ds^2 = -B(r)dt^2 + \frac{dr^2}{B(r)} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (1)$$

$$B(r) = \left( \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{r} - \frac{2M}{r} \right), \quad (2)$$

where  $M$  – black hole mass,  $a$  – quantum deformation parameter. In this work we assume  $a = 0.5$  and  $M = 1$ .

The accretion process onto the KSBH is investigated using Bondi and Michel methods [2,3]. Previously, accretion process for different spherically symmetric space-time geometries for a static fluid was considered in [3,4]. The accreting fluid is assumed to be phantom, quintessence, dust and stiff matter. We analyze the profiles of fluid radial velocity, density and the rate of deformation parameter variation of the KSBH due to accretion.

We have found that with the accretion of quintessence, dust and stiff matter, the mass of the black hole increases, but with the accretion of phantom energy, the mass of the black hole decreases as in the case of Schwarzschild black hole.

*This work was supported by the Russian Science Foundation under grant no. 23-22-00391, <https://rscf.ru/en/project/23-22-00391/>.*

**References**

1. Kazakov, D.I., Solodukhin, S.N. On Quantum Deformation Of The Schwarzschild Solution. Nucl. Phys. B, 1994, v. 429, pp. 153–176.
2. Bondi, H. On Spherically Symmetrical Accretion. Mon. Not. R. Astron. Soc., 1952, v. 112, pp. 195–204.
3. Michel, F.C. Accretion of matter by condensed objects. Astrophys. Space Sci. 1972, v. 15, pp. 153–160.
4. Bahamonde, S., Jamil, M. Accretion processes for general spherically symmetric compact objects. Eur. Phys. J. C, 2015, v. 75, pp. 508.
5. Yusupova, R.M., Karimov, R.Kh., Izmailov, R.N., Nandi, K.K. Accretion Flow onto Ellis–Bronnikov Wormhole. Universe, 2021, v. 7, pp. 177.

## УГОЛ ОТКЛОНЕНИЯ КРОВОЙ НОРОЙ КАЗИМИРА В СЛАБОМ ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

Хидиров У.К., Ахтарьянова Г.Ф., Каримов Р.Х., Измаилов Р.Н.

Башкирский государственный педагогический университет

им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Работа посвящена исследованию параметров слабого гравитационного линзирования кротовой норой Казимира. Кротовая нора Казимира представляет собой проходимую кротовую нору, поддерживаемую энергией Казимира [1]. Квантовый эффект Казимира возникает, например, между двумя плоскими параллельными, близко расположенными и незаряженными, металлическими пластинами в вакууме. Проходимая кротовая нора Казимира [1] описывается параметром уравнения состояния  $\omega = p/\rho$ , связывающим давление  $p$  и плотность энергии  $\rho$ , с радиусом горловины кротовой норы  $r_0$ .

В работе, угол отклонения света кротовой норой Казимира в слабом гравитационном поле был получен до третьего порядка постпостньютоновского (ППН) разложения с помощью метода Китона-Петтерса [2] и имеет вид:

$$\alpha(r) = \frac{2(1-\omega)}{\omega} \left(\frac{r_0}{b}\right) + \frac{\pi(11\omega^2-22\omega+15)}{16\omega^2} \left(\frac{r_0}{b}\right)^2 - \frac{8(\omega^3-3\omega^2+4\omega-2)}{3\omega^3} \left(\frac{r_0}{b}\right)^3 + \dots, \quad (1)$$

где  $b$  – прицельный параметр. Согласно ППН разложению основной вклад в угол отклонения вносит первый порядок, а остальные порядки представляют собой поправки к первому порядку. В работе показано, что при значениях параметра  $\omega$ , определенного в диапазонах  $(-\infty, 0)$  и  $(1, \infty)$ , угол отклонения  $\alpha$  является отрицательным. Подобный вывод с отрицательными значениями угла отклонения света был получен для электрически заряженных кротовых нор [3]. В случае, когда параметр  $\omega$  определен в промежутке  $\omega \in (0, 1)$ , угол отклонения принимает положительные значения, что является типичным для черных дыр [2].

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-22-00391).*

### Литература

1. Garattini R. // Eur. Phys. J., 2019, v. 79, pp. 951.
2. Keeton C.R., Petters, A.O. // Phys. Rev. D, 2005, v. 72, p. 104006.
3. Akhtaryanova G.F., et.al. // Gen. Relativ. Gravit., 2024, v. 56, pp. 58.

© Хидиров У.К., Ахтарьянова Г.Ф.,  
Каримов Р.Х., Измаилов Р.Н., 2024

УДК 532.546; 517.958

## **НЕЛИНЕЙНАЯ РАДИАЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ СО СЛАБОСЖИМАЕМЫМ СКЕЛЕТОМ**

Петров С.Н., Филиппов А.И., Зеленова М.А.

Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
г. Стерлитамак, Россия

В работе [1] представлена математическая модель нелинейной задачи одномерной радиальной фильтрации сжимаемого флюида в проницаемом пористом коллекторе, который эксплуатируется в режиме заданной депрессии.

Методом последовательной смены стационарных состояний с применением метода формального асимптотического параметра найдено аналитическое решение в главном и первом приближениях, которые описывают высокоамплитудные поля давления в нефтегазовых пластах со слабо сжимаемым скелетом. Согласно этому приближению при малых временах возмущения давления отсутствуют. Изменения давления наблюдаются после некоторого промежутка времени, для которого получено явное выражение. Показано, что развитие асимптотического метода применимо к рассматриваемой задаче привело к созданию нового метода построения аналитических выражений для коэффициентов, который при решении задачи для главного приближения в частном случае совпадает с применением метода последовательной смены стационарных состояний.

В ходе проведения многочисленных вычислительных экспериментов установлено, что в большинстве случаев для практических расчётов полей давления в нефтегазовых пластах достаточно нахождение поля давления в главном приближении, которое заключается в построении нулевого коэффициента асимптотического разложения нелинейной задачи по формальному параметру. Уточнение выражений для поля давления достигается построением первого коэффициента. Как показано с помощью вычислительных экспериментов, величина добавки, индуцированной учётом первого коэффициента, имеет порядок 0.05% от амплитуды значений возмущений, вызванных притоком из пласта.

### **Литература**

1. Филиппов А.И., Зеленова М.А., Ахметова О.В. Нестационарное поле давления в пористом пласте со слабосжимаемым скелетом при нелинейной радиальной фильтрации в нем жидкости // Инженерно-физический журнал. 2024. Т. 97. № 4. – С. 910–920

© Петров С.Н., Филиппов А.И., Зеленова М.А., 2024

## СВОЙСТВА И СТАБИЛЬНОСТЬ СКИРМИОННЫХ СОСТОЯНИЙ В МОДУЛИРОВАННЫХ УЛЬТРАТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

Филиппов М.А., Вахитов Р.М., Ахметова А.А., Солонецкий Р.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Магнитным скирмионы были впервые обнаруженные в киральных магнетиках в 2009 году [1]. При этом они до сих пор привлекают к себе внимание исследователей. Они представляют собой топологически защищённые вихреподобные структуры, которые стабилизируются в нецентросимметричных магнетиках благодаря наличию в них взаимодействия Дзялошинского – Мория (DMI). Магнитные скирмионы обладают рядом уникальных свойств (наномасштабные размеры, высокие скорости, возможность манипулирования ими с помощью электрического тока малой плотности и т.д.) Это позволяет их использовать в высокоплотных, маломощных и многофункциональных вычислительных и запоминающих устройствах нового поколения, а также в искусственных нейронных сетях [2].

При этом существуют методы получения стабильных одиночных скирмионов и в отсутствие в материалах DMI. Один из таких возможных вариантов рассмотрен в работе [3]. Он заключается в использовании одноосных ферромагнитных пленок с пространственно модулированными материальными параметрами. В этом случае происходит стабилизация магнитного скирмиона на колумнарном дефекте типа “потенциальная яма” в центре данной плёнки. В работе [4] был проведён теоретический анализ и микромагнитное моделирование вихреподобных структур, которые возникают в подобных магнитных плёнках. Исследования показали, что они бывают разных типов (всего четыре), два из которых представляют собой нетопологический солитон, а два — магнитный скирмион. Они различаются ориентацией кора и направлением намагниченности на периферии (вне дефекта). Однако они имеют и общие топологические особенности; в их структуре можно выделить три участка вращения магнитных моментов: кор, промежуточный и граничный участки. При помощи микромагнитного моделирования на плёнках с дефектом были получены стабильные состояния скирмионов блоховского типа [4].

Целью данной работы является нахождение области стабильных состояний вихреподобных неоднородностей неелевского типа с помощью пакета программ открытого доступа OOMMF [5] с дополнительным модулем [6]. Рассматривается диск конечных размеров с колумнарным дефектом в центре. Считается, что материальные параметры на диске и на дефекте идентичны за исключением константы анизотропии  $K_u$ :



$Ku_2 < 0$  – на дефекте,  $Ku_1 > 0$  – в остальном диске. Также учитывается наличие во всём пространстве диска межфазного DMI (изотропное).

Проведённые исследования с помощью микромагнитного моделирования показали, что на описанном выше дефекте могут стабилизироваться магнитные кл-скирмионы ( $k = 0, 1, 2, 3, 4$ ). Для них были получены диаграммы их устойчивости в зависимости от значений легкоплоскостной анизотропии и DMI для различных радиусов дефекта  $R_0$ . В итоге были сделаны следующие выводы. Во-первых, при малых радиусах дефекта основным фактором, влияющим на стабилизацию определённого типа скирмионов является DMI. Во-вторых, при увеличении радиуса дефекта и увеличении величины легкоплоскостной анизотропии на дефекте  $Ku_2$  при небольших значениях коэффициента  $D$  на диске образуются новые вихревые структуры (например, эллиптический магнитный домен) в отличие от состояния однородного намагничивания, возникающего в диске при меньших радиусах  $R_0$ . Благодаря этому появляется возможность уменьшения «критического» значения DMI, необходимого для стабилизации скирмионов. При этом был выявлен эффект переключения типа скирмиона при изменении радиуса дефекта  $R_0$  и, соответственно, изменения размеров легкоплоскостной области. При увеличении области легкоплоскостной анизотропии происходит переключение скирмиона с большего  $k$  на меньший.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания на выполнение научных исследований лабораториями (Дизайн новых материалов (FRRR-2024-0001)).*

### Литература

1. Everschor-Sitte K., Masell J., Reeve R.M., Kläui M. // JAP, 2019, 124, 240901.
2. Kläui M., Everschor-Sitte K., Lee O., Msiska R. et al // Appl. Phys. Lett., 2023, 122, 260501.
3. Sapozhnikov M.V. // JMMM, 2015, 396, 338-344.
4. Vakhitov R.M., Solonetsky R.V., Akhmetova A.A., Filippov M.A. // Symmetry, 2022, 14(3), 612.
5. Donahue M.J., Porter D.G. // OOMMF User's Guide, 2019, version 2.0a2.
6. Tatarskiy D.A. // JMMM, 2022, 509, 166899.

© Филиппов М.А., Вахитов Р.М.,  
Ахметова А.А., Солонецкий Р.В., 2024

## ДИСКРЕТНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ БРИЗЕРЫ В МОНООКСИАЛЬНОМ КИРАЛЬНОМ ГЕЛИМАГНЕТИКЕ

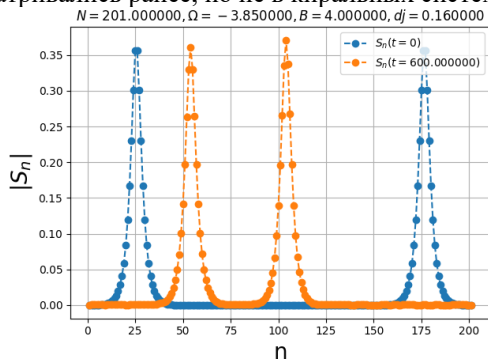
Бострем И.Г., Сеницын В.Е., Павлов С.И.

Институт естественных наук и математики УрФУ, кафедра теоретической  
и математической физики, г. Екатеринбург, Россия

Гелимагнетизм – это форма магнитного упорядочения, при которой спины соседних магнитных моментов выстраиваются по спирали. Дискретные бризеры представляют собой локализованные в пространстве и периодические во времени колебания в однородных гамильтоновых решетках. В качестве модели, являющейся прототипом моноосиального кирального гелимагнетика рассматривается цепочка спинов конечной длины, гамильтониан которой выглядит следующим образом [1]:

$$\mathcal{H} = -2J \sum_n S_n \cdot S_{n+1} + A \sum_n (S_n^z)^2 + D \sum_n [S_n \times S_{n+1}]_z - H \sum_n S_n^z.$$

В данной работе, исходя из уравнения Гайзенберга для оператора повышения, была получена система дифференциальных уравнений для комплексных амплитуд спиновых отклонений, были получены численные решения на базе имеющейся программы [2]. Подобные динамические решения рассматривались ранее, но не в киральных системах.



### Литература

1. Bostrem I. G., Ekomasov E. G., Kishine J. et al. Dark discrete breather modes in a monoaxial chiral helimagnet with easy-plane anisotropy // Phys. Rev. B. 2021. – Dec. Vol. 104. P. 214420.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024664414. Программа расчета конфигураций движущихся решений бризерного типа в модели одноосного кирального гелимагнетика / Сеницын В.Е., Павлов С.И.; УрФУ., – заявка № 2024663001. Заявл. 10.06.2024. Опубл. 20.06.2024, Бюл. № 6.

© Бострем И.Г., Сеницын В.Е., Павлов С.И., 2024

## О КЛАССИФИКАЦИИ УГЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДНК

Кубатиева М.Р., Закирьянов Ф.К.

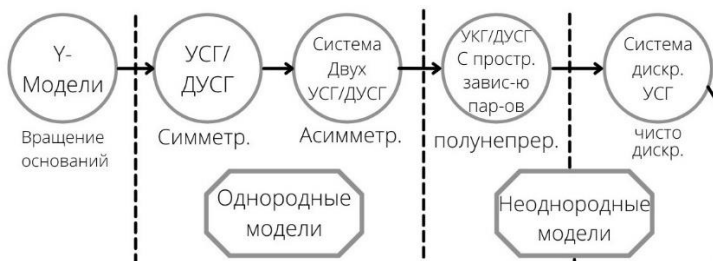
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В процессе функционирования молекулы ДНК возникает так называемое «открытое состояние» (open state), в котором происходит разрыв водородных связей комплементарных полинуклеотидных оснований и движение «транскрипционного пузыря» (transcription bubble) вдоль цепочки. Свыше сорока лет назад была высказана идея о том, что солитоны являются наиболее удобным математическим объектом, подходящим для описания этих конформационных изменений. С тех пор началась активная разработка мезоскопических моделей динамики ДНК, которые в настоящее время можно условно разделить на две основные группы:

1) *поперечные* модели (РВ-модели), в которых открытое состояние молекулы ДНК описывается смещением азотистых оснований в направлении, перпендикулярном оси ДНК, и

2) *угловые* модели (Y-модели), в которых открытое состояние описывается вращением азотистых оснований вокруг сахаро-фосфатного остова.

Нами был проанализирован большой объем литературы за последние сорок с лишним лет и предложена иерархия угловых моделей динамики ДНК, учитывающая как искусственные, так и природные полинуклеотидные цепочки, отличие полинуклеотидов по размерам и массе и некоторые другие особенности. Предложенная нами иерархия угловых моделей ДНК представлена на схеме:



Представленная иерархия угловых моделей нелинейной динамики ДНК является наиболее полной из имеющихся в настоящее время.

© Кубатиева М.Р., Закирьянов Ф.К., 2024

## О КЛАССИФИКАЦИИ ПОПЕРЕЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДНК

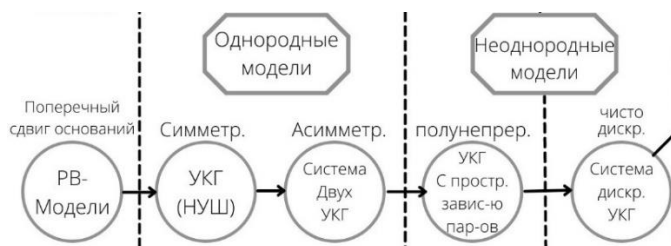
Галимова А.Д., Закирьянов Ф.К.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Молекула ДНК представляет собой сложную динамическую систему, состоящую из большого числа связанных атомных групп. Такая система не статична, а обладает внутренней подвижностью, обусловленной воздействием температуры, столкновением с молекулами раствора, взаимодействием с белками и т.д. Эти движения вносят существенный вклад в образование *открытого состояния* (раскрытие пар оснований, расплетание двойной спирали и образование транскрипционного пузыря). Для описания этой конформационной динамики молекулы ДНК предложено множество различных моделей.

Обзор доступной литературы позволил нам прийти к выводу, что эти модели можно условно разделить на две группы, отличающиеся описанием механизма образования открытого состояния. В первую группу можно отнести модели, у которых основной вклад в динамику даёт вращение оснований вокруг сахаро-фосфатного остова. Такие модели приводят к уравнениям типа синус-Гордон (УСГ) и их системам – угловые или Y-модели. Другая группа моделей, у которых основной вклад в динамику вносят поперечные смещения оснований в направлении, перпендикулярном оси ДНК, описывается уравнениями типа нелинейного уравнения Клейна-Гордона (УКГ) – поперечные или РВ-модели. Каждая из этих групп моделей имеет свои достоинства и недостатки и активно используется для описания различных процессов в молекуле ДНК с той или иной степенью подробности.

Тщательный анализ литературы показал, что поперечные модели образуют иерархию, представленную на схеме:



Предлагаемая нами иерархия является наиболее полной из известных в настоящее время.

© Галимова А.Д., Закирьянов Ф.К., 2024

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА  $k\pi$ -СКИРМИОНОВ В НЕОДНОРОДНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ**

Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., Солонецкий Р.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В магнитоупорядоченных средах существуют различные взаимодействия между магнитными моментами: обменное взаимодействие, магнитоэлектрическое взаимодействие, магнитоупругое взаимодействие, анизотропное взаимодействие, обусловленное в том числе взаимодействием Дзялошинского – Мория (спин-орбитальное взаимодействие). Конкуренция этих взаимодействий приводит к возникновению разнообразных стабильных неоднородных спиновых структур. Одним из таких образований является магнитный скирмион – локализованная спиновая структура с топологическим зарядом. Как правило, в подавляющем большинстве подобных исследований под магнитным скирмионом понималась вихреподобная неоднородность, в которой единичный вектор намагниченности  $\mathbf{m} = \mathbf{m}(r)$  изменяет свое направление на  $180^\circ$  при перемещении в радиальном направлении от центра ( $r=0$ ) до периферии ( $r=\infty$ ) пленки ( $\pi$ -скирмион). В то же время, задолго до обнаружения магнитных скирмионов, в работе [1] теоретически было предсказано, что в одноосных ферромагнитных пленках с DMI, возможно существование скирмионов с более сложной структурой, так называемые  $k\pi$ -скирмионы ( $k \in 1, 2, 3, \dots$ ), в которых «закрутка» вектора  $\mathbf{m}$  происходит на угол, кратный  $180^\circ$ .

В данной работе исследуются условия возникновения и свойства различных типов  $k\pi$ -скирмионов в магнитоодноосных пленках с пространственно -модулированными материальными параметрами. В результате чего определены условия возникновения и свойства различных типов  $k\pi$ -скирмионов в магнитоодноосных пленках с пространственно-модулированными материальными параметрами. Также найдены устойчивые состояния  $k\pi$ -скирмионов в рассматриваемых пленках в отсутствии внешнего магнитного поля при различных соотношениях материальных параметров образца и дефекта.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Российской Федерации на проведение научных исследований лабораториями (Теория, моделирование и получение тонкоплёночных, наноструктурированных и гибридных структур (FRRR-2024-0001)).*

**Литература**

1. A. Bogdanov, A. Hubert, J. Magn. Mater. 195,182 (1999)

© Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., Солонецкий Р.В., 2024

## СПЛАВЫ С ГИГАНТСКОЙ МАГНИТОСТРИКЦИЕЙ НА ОСНОВЕ FE. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Загребин М.А., Матюнина М.В.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Магнитоотрицательные материалы играют важную роль в современной электротехнике и применяются для изготовления датчиков давления, сенсоров и гидролокаторов, в преобразователях энергии [1-4], в различных биомедицинских приложениях [5], в гибкой электронике [6, 7] и др. Наиболее распространенными магнитоотрицательными сплавами, используемыми в промышленных масштабах, являются Терфенол-Д (семейство сплавов  $Tb_xDy_{1-x}Fe_2$ ) и FeCo. В последние годы популярность приобрел сплав Галфенол (семейство сплавов  $Fe_{100-x}Ga_x$ ). С момента обнаружения в 2000-х годах высоких значений магнитоотрицательности в данном материале Кларком и др. [8, 9] система Fe-Ga неизменно привлекает повышенное внимание исследователей и инженеров, что подтверждается динамикой публикаций. В сплавах Fe-Ga значения магнитоотрицательности выше по сравнению с FeCo, и магнитные поля, требующиеся для выхода магнитоотрицательности на насыщения, существенно меньше относительно TbDyFe. Преимуществами Fe-Ga являются такие характеристики как механическая устойчивость в широком температурном диапазоне, возможность управления магнитоотрицательными свойствами в концентрационном диапазоне до  $\approx 28$  ат. % Ga за счет контроля фазового состава [2, 8, 9], высокие значения температуры Кюри что обеспечивает галфенолам место в ряду функциональных материалов, активно используемых в электронике.

К настоящему времени получено достаточно информации об оптимальных методах изготовления сплава и методах повышения магнитоотрицательности. Начальные этапы исследований в основном были направлены на изучение структурных особенностей сплава с целью выявления механизмов аномального увеличения магнитоотрицательности железа при добавлении галлия. Магнитоотрицательные свойства данной системы определяются сложным фазовым составом, существенно зависящим от термических условий изготовления образца на практике для получения равновесной структуры сплавов Fe-Ga требуется весьма длительный отжиг, исчисляемый неделями или даже месяцами [2]. Для изучения структуры объемных сплавов и тонких пленок на основе галфенолов применяются методы высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии, дифракции синхротронного и нейтронного излучений [2]. Применение данных методик позволило не только изучить тонкую

структуру литых и термически обработанных образцов сплавов Fe-Ga, выявить особенности поверхностной и объемной структуры, но и обнаружить специфику их кластерной структуры, а также фазовых превращений первого и второго рода при кристаллизации, закалке, непрерывном нагреве и охлаждении, изотермическом отжиге, что позволило внести уточнения и дополнения в существующие фазовые диаграммы [10]. Однако, несмотря на 20-летние усилия открытым остается вопрос теоретической интерпретации действующих механизмов фазовых превращений в сплавах Fe-Ga важных для конструирования инженерных устройств. В связи с этим, предсказание возможных типов магнитного и структурного упорядочений, возможных фазовых переходов, типа данных переходов, предсказание областей существования как равновесных, так и метастабильных фаз безусловно является крайне важной фундаментальной задачей современных физики конденсированного состояния и материаловедения. В обзоре приводятся исторические сведения, а также результаты недавних теоретических и экспериментальных исследований физических свойств сплавов на основе Fe.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-20086, <https://rscf.ru/project/24-22-20086/>.*

### **Литература**

1. Claeysen F., et al. // J. Alloy. Compd., 1997, v. 258, pp. 61–73.
2. Golovin I.S., et al. // Phys. Met. Metallogr., 2020, v. 121, pp. 851–893.
3. Hristoforou E., et al. // IEEE T. Magn., 2019, v. 55(7), pp. 4002814.
4. Akinaga H. // Jpn. J. Appl. Phys., 2020, v. 59, pp. 110201.
5. Gao C., et al. // Bioactive Materials, 2022, v. 8, pp. 177–195.
6. Yermakov A., et al. // Front. Mater., 2020, v. 7, pp. 38.
7. Pradhan G., et al. // Sci. Rep., 2022, v. 12, pp. 17503.
8. Clark A.E., et al. // IEEE T. Magn., 2000, v. 36, pp. 3238.
9. Clark A.E., et al. // J. Appl. Phys., 2003, v. 93, pp. 8621.
10. Mohamed A.K., et al. // J. Alloy. Compd., 2020, v. 846, pp. 156486.

© Загребин М.А., Матюнина М.В., 2024

## СЕКЦИЯ «ДИЗАЙН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

УДК 538.9

### КОМПЬЮТЕРНЫЙ ДИЗАЙН СИСТЕМЫ Ag-Te

Сафаргалиев Д.И.<sup>1</sup>, Биккулова Н.Н.<sup>1</sup>, Курбангулов А.Р.<sup>1</sup>, Акманова Г.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
г. Стерлитамак, Россия

<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Дизайн структуры изучаемых соединений является актуальной задачей физики конденсированного состояния, так как теллуриды серебра обладают высоким коэффициентом термо-эдс и благодаря этому они могут использоваться в качестве термоэлектрических материалов. В эволюционном алгоритме USPEX используется теория функционала плотности, цель которого заключается в упрощении расчетов электронной структуры молекул и кристаллов в сочетании с квантово-механическими расчетами. Модельные компьютерные расчеты стабильных фаз  $Ag_nTe_m$  ( $n, m=1 \div 10$ ) на основе данного алгоритма при температуре  $T=0$  К и давлении  $p=10^5$  Па выявили следующие модельные соединения теллуридов серебра:  $Ag_8Te_4$ ,  $AgTe_3$  (Рис.1). Согласно расчетам, указанные соединения теллуриды серебра индицируются в триклинной фазе.

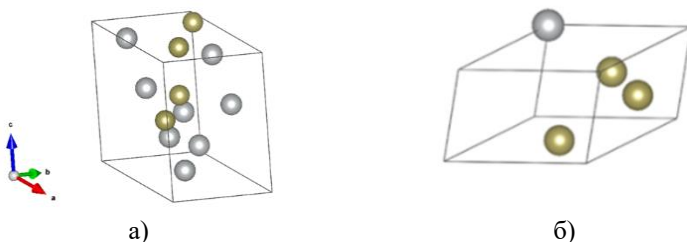


Рис. 1. Кристаллическая структура: (а) –  $Ag_8Te_4$ , (б) –  $AgTe_3$

Параметры элементарных ячеек представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры решетки системы Ag-Te

Соединение	a (Å)	b (Å)	c (Å)	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$\gamma, ^\circ$
$Ag_8Te_4$	5.14989	8.33349	7.73307	101.8	107.6	88.2
$AgTe_3$	5.31350	5.30743	5.30265	109.5	70.6	70.6

© Сафаргалиев Д.И., Биккулова Н.Н.,  
Курбангулов А.Р., Акманова Г.Р., 2024



**РАСЧЕТ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ТЕЛЛУРИДА СЕРЕБРА**

Долгий Д.А.<sup>1</sup>, Сафаргалиев Д.И.<sup>1</sup>, Биккулова Н.Н.<sup>1</sup>, Курбангулов А.Р.<sup>1</sup>,  
Акманова Г.Р.<sup>2</sup>, Салимов Р.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
г. Стерлитамак, Россия

<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В работе представлены модельные расчеты зонной структуры наноточек для теллурида серебра. Квантовые точки играют важную роль в современной науке и технологиях благодаря их уникальным свойствам. Они находят применение в различных областях, таких как дисплеи, фотоэлементы, в медицинской диагностике и криптографии.

Были рассчитаны зонные структуры квантовых точек размера одной элементарной ячейки, расположенные на расстоянии от 0 Å до 20 Å. На рис. 1 представлены зонная структура и плотности электронных

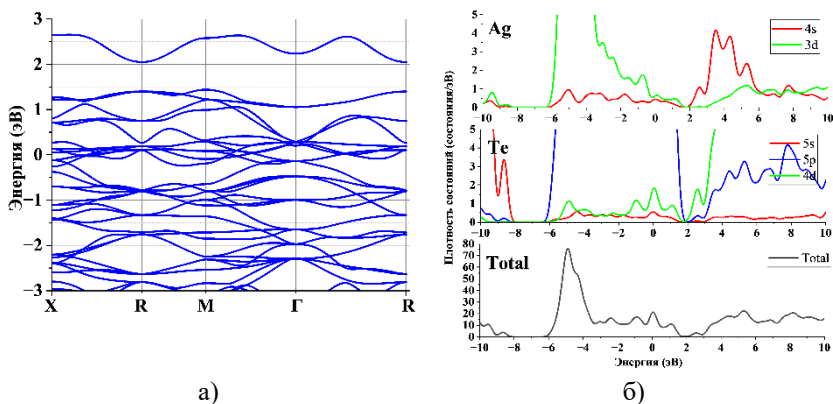


Рис. 1. Зонная структура (а) и плотности электронных состояний (б) наноточки  $\text{Ag}_2\text{Te}$  (3 Å) при температуре 473 К

состояний наноточек, расположенных на расстояниях 3 Å при температуре 473 К. Ширина запрещенной зоны составляет 0 эВ. Аналогичная картина наблюдается для квантовых точек на расстоянии до 7 Å. Ширина запрещенной зоны из расчетов зонной структуры и плотности электронных состояний наноточек, расположенных на расстояниях от 8 Å до 20 Å при той же температуре составила  $E=0,0012$  эВ.

© Долгий Д.А., Сафаргалиев Д.И., Биккулова Н.Н.,  
Курбангулов А.Р., Акманова Г.Р., Салимов Р.Р., 2024

## ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СПИНОВЫЕ СОСТОЯНИЯ В ГЕЛИОМАГНЕТИКАХ

Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Изучение магнитных свойств материалов – это перспективное направление в физике конденсированного состояния, которое одновременно развивает фундаментальные принципы и находит им практическое применение. С одной стороны, эта область вносит вклад в развитие новых методов и подходов, используемых в других научных дисциплинах. С другой стороны, она стимулирует создание инновационных устройств и технологий [1]. Изучение многослойных структур представляет собой перспективную область исследований, так как они могут обладать уникальными магнитными свойствами.

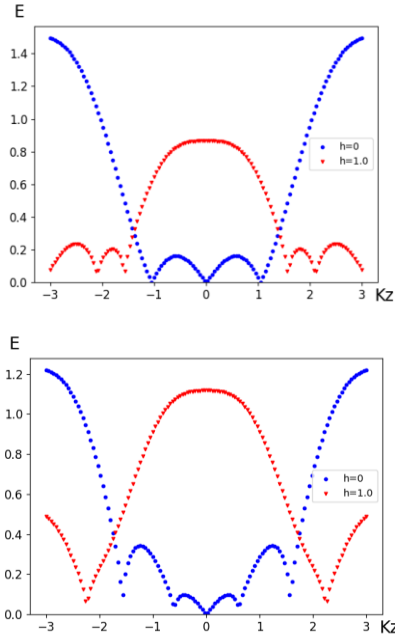
В данной работе рассматриваются влияния взаимодействий и статического внешнего магнитного поля на структуры, подобные гелиомагнетикам, с использованием квантово-статистических методов. Представлена модель магнитной тонкой пленки, а также системы, состоящей из множества таких пленок. Дополнительно анализируется система, включающая сегнетоэлектрическую пленку и магнитные пленки, что позволяет провести сравнительное исследование.

Полный гамильтониан системы с магнитной и сегнетоэлектрической пленок имеет следующий вид:

$$H = -J_1 \sum_{i,j} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j - J_2 \sum_{i,i'} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_{i'} - \sum_{i,j} I_{i,j} \cdot \vec{S}_i^z \cdot \vec{S}_j^z - g\mu_B h \sum_i \vec{S}_i^z - J_{mf} \sum_{i,j} (\vec{S}_i \cdot \vec{S}_j)^z \vec{P}^z - J_f \sum_{i,j} \vec{P}_i \cdot \vec{P}_j$$

где первое слагаемое в гамильтониане описывает ферромагнитное взаимодействие между ближайшими соседними спинами, второе слагаемое - антиферромагнитное взаимодействие между следующими ближайшими соседними спинами вдоль оси  $y$ , третье слагаемое - анизотропное взаимодействие, четвертое слагаемое - взаимодействие со внешним магнитным полем, пятое слагаемое – магнитоэлектрическое взаимодействие, шестое слагаемое – гамильтониан сегнетоэлектрической системы.

Ниже представлены аналитические результаты для однослойной магнитной пленки и системы, состоящей из магнитной и сегнетоэлектрической пленок.



*Рис. 1.* Зависимость энергии от волнового вектора  $k_z$  со спиральной структурой по оси  $y$  в случае  $\theta = \frac{\pi}{3}$ ,  $k_y = k_x = 0$ ,  $J_1 = 2$ ,  $J_2 = -1$ ,  $\langle S^z \rangle = 0.5$  без внешнего магнитного поля  $h = 0$  (синий цвет), с включенным магнитным полем  $h = 1$  и  $g\mu_B = 1$  (красный цвет). Слева:  $J_{mf} = 0.0$  (модель однослойной магнитной пленки), справа:  $J_{mf} = 1.0$  (модель системы, состоящей из магнитной и сегнетоэлектрической пленок)

Включение магнитного поля и наличие магнитоэлектрического взаимодействия  $J_{mf}$  значительно влияют на энергетический спектр, изменяя расположение минимумов и максимумов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 тема № 324-21.*

### Литература

1. Morshed Md G., Vakili H., Ghosh A. W. // Phys. Rev. 2022. V. 17, 064019.
2. Sharafullin I.F., Kharrasov M.K., Diep H.T. // Phys. Rev. 2019. V. 99, 214420.

© Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф., 2024

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ СКЕРМИОНОВ В ОБЛАСТИ ОБМЕННО-РЕДУЦИРОВАННОГО ДЕФЕКТА

Абдрахманов Д.И., Шарафуллин И.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Скерионы в тонколеночных магнитных пленках и гетероструктурах представляют собой топологически устойчивые вихревые спиновые конфигурации, которые обладают ненулевым топологическим зарядом и могут быть стабилизированы с помощью, например, фрустраций, взаимодействия Дзялошинского-Мория (ВДМ), внешнего поля [1-4]. Активно ведутся исследования о влиянии обменно-редуцированного дефекта обменной связи на фазы скерионов под воздействием внешних полей, таких как приложенное напряжение, внешнее магнитное поле для применений в устройствах спинтроники [5-7].

В данной работе рассматривается условие образования и локализации скерионов на магнитном слое, которые стабилизируются ферромагнитным обменом, взаимодействием Дзялошинского-Мория, внешним магнитным полем и обменно-редуцированным дефектом. Полная энергия плёнки на треугольной решётке определяется выражением

$$H = - \sum_{ij} J_{ij}^m \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j - \sum_{ij} \vec{D}_{ij} \cdot [\vec{S}_i \times \vec{S}_j] - \sum_i \vec{H}^o \cdot \vec{S}_i$$

Здесь мы предполагаем, что  $J_{ij}^m > 0$  характеризует ферромагнитное взаимодействие между  $i$ -м спином и его ближайшими соседями в плоскости решётки. Второй член выражения характеризует энергию ВДМ, где  $\vec{D}_{ij} = -\vec{D}_{ij'}$ ,  $|\vec{D}_{ij}| = D$  это вектор Дзялошинского-Мория. Последний член выражения определяет зеемановскую энергию,  $\vec{H}^o$  – напряжённость внешнего магнитного поля, направленная перпендикулярно плоскости слоя.

Определив энергию системы, мы вносим в решётку дефект. Рассматриваемый нами дефект изменяет обменную энергию следующим образом

$$J_{ij}^m = \frac{J_0}{2} \left( 1 + \tanh \left( \frac{K_{ij} - \frac{D_{def}}{2}}{\vartheta} \right) \right), \quad K_{ij} = \left| \frac{\vec{r}_i + \vec{r}_j}{2} - \vec{r}_q \right|$$

здесь  $J_0$  константа ферромагнитного обмена на бесконечности; коэффициент  $\vartheta$  определяет ширину области изменения обменного интеграла;  $D_{def}$  определяет диаметр вводимого дефекта, измеряемого в узлах решётки;  $\vec{r}_q$  радиус вектор, определяющий центр вводимого дефекта;

$\vec{r}_i$  определяет положение рассматриваемого узла; вектор  $\vec{r}_j$  определяют положение соседних узлов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 тема № 324-21.*

### **Литература**

1. A. Derras-Chouk, E.M. Chudnovsky, J Phys Condens Matter., 33, 195802 (2021)
2. E.B. Magadeev, R.M. Vakhitov, R.R. Kanbekov. J. Phys., Condens. Matter., 35, 015802 (2023).
3. I.F. Sharafullin, D.I. Abdrakhmanov, A.G. Nugumanov, K.J. Nurmatov, H.T. Diep, IEEE Transactions on Magnetism (2024).
4. I.F. Sharafullin, H.T. Diep, JETP Letters, 114, 536-539 (2021)
5. S. Zhang, J. Zhang, Y. Wen, E. M. Chudnovsky, X. Zhang, Appl. Phys. Lett., 113, 192403 (2018).
6. B. Huang, M.A. McGuire, A.F. May, D. Xiao, P. Jarillo-Herrero, X. Xu, Nat. Mat., 19, 1276 (2020).
7. C. Reichhardt, C. J. O. Reichhardt, M. V. Milošević. Rev. Mod. Phys. 94, 035005 (2022).

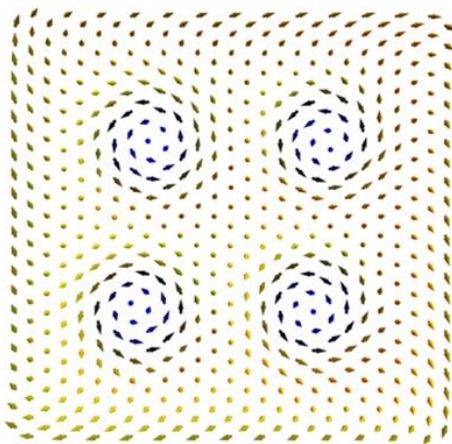
© Абдрахманов Д.И., Шарафуллин И.Ф., 2024

## ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ СКРМИОНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Нугуманов А.Г.

Лаборатория дизайна новых материалов,  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Магнитные скирмионы (рис. 1.) – топологически устойчивые спиновые структуры, которые могут существовать в магнитных материалах при некоторой комбинации конкурирующих взаимодействий, таких как обмен, анизотропия, взаимодействие Дзялошинского-Мория (ДМ), магнитоэлектрическое взаимодействие и т. д. [1]. При этом, в классических решеточных моделях магнитных материалов принято рассматривать «замороженные» кристаллические решетки для упрощения вычислений с помощью учета симметрии. Однако, взаимодействия обменного типа, как правило, зависят от расстояния между спинами и геометрии кристалла [2]. В данной работе мы рассматриваем модель, в которой узлы ферромагнитной пленки с треугольной симметрией связаны с ближайшими соседями с помощью простейшей силы упругости, описанной Робертом Гуком (формула (2)), а обменное и ДМ-взаимодействия зависят от расстояния между соответствующими узлами. Гамильтониан модели:



*Рис. 1.* Основное состояние пленки с четырьмя скирмионами

$$\mathcal{H}_i = -H \cdot S_i^z - \sum_{j=1}^6 \{J_0 \exp(1 - |\vec{d}_{ij}|) \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j + D_0 \vec{d}_{ij} \cdot [\vec{S}_i \times \vec{S}_j]\} \quad (1)$$

Здесь  $\vec{S}_i$  – Гейзенберговский спин на  $i$ -м узле, индекс  $j$  указывает на шесть его ближайших соседних узлов,  $H$  – внешнее магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости пленки,  $J_0$  и  $D_0$  – модули

обменного и ДМ-взаимодействий, а  $\vec{d}_{ij} = \vec{r}_j - \vec{r}_i$  радиус-вектор, направленный от узла  $i$  к узлу  $j$  и по модулю равный расстоянию между ними. Обратим внимание на то, что обменное взаимодействие убывает с увеличением расстояния, ДМ-взаимодействие ему пропорционально.

Как было сказано выше, силу упругости между соседними узлами мы опишем с помощью закона Гука в следующей форме:

$$\vec{F}(\vec{r}_i, \vec{r}_j) = \sum_{j=1}^6 \vec{F}_j(\vec{r}_i) = \sum_{j=1}^6 \kappa(|\vec{d}_{ij}| - 1) \frac{\vec{d}_{ij}}{|\vec{d}_{ij}|} \quad (2)$$

Здесь  $\vec{F}_j$  – сила, действующая на  $i$ -й узел со стороны узла  $j$ ,  $\kappa$  – коэффициент упругости. Эта сила линейно зависит от расстояния, притягивает узлы при  $|\vec{d}_{ij}| > 1$ , отталкивает при  $|\vec{d}_{ij}| < 1$  и обращается в нуль при равновесном расстоянии  $|\vec{d}_{ij}| = 1$ .

В рамках данной работы мы проведем моделирование влияния упругих деформаций кристаллической решетки, описанной формулой (1) на зарождение, уничтожение и переключение скирмионов в присутствии внешнего магнитного поля.

*Работа выполнена в рамках государственного задания соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 тема № 324-21.*

### Литература

1. Nugumanov A.G., Sharafullin I.F., Kharrasov M.Kh. Skyrmion phases in ground state of magnetoelectric bilayer induced by planar Dzyaloshinskii-Moriya interaction // Letters on Materials. – 2023. – V. 13. – № 4. – pp. 317–322.
2. Sahbi E.H., Fumitake K., Satoshi H., Hiroshi K., Gildas D., Tetsuya U., Hung T.D. The stability of 3D skyrmions under mechanical stress studied via Monte Carlo calculations // Results in Physics. – 2022. – V. 38. – p. 105578.

© Нугуманов А.Г., 2024

**ВИХРЕПОДОБНЫЕ МАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ В  
ПЕРФОРИРОВАННЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛЕНКАХ**

Нугуманов Р.Р., Магадеев Е.Б., Шарафуллин И.Ф.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В последние годы значительное число работ в области магнитных явлений посвящено изучению топологически защищенных объектов (скирмионов, бимеронов и т.д. [1]). Объекты такого типа формируются, как правило, лишь в материалах, параметры которых удовлетворяют вполне определенным соотношениям, причем зачастую эти требования оказываются весьма трудновыполнимыми в случае однородных магнитных пленок [2]. Одним из возможных выходов из этой ситуации является создание многослойных образцов, обладающих эмерджентными свойствами [3].

В [4] было показано, что непосредственно в области двух близкорасположенных отверстий магнитной пленки могут локализоваться уединенные вихреподобные неоднородности при условии, что материал образца обладает сильной одноосной анизотропией типа «легкая плоскость», причем данное условие может быть выполнено как за счет кристаллической анизотропии (например, в  $\text{NdCo}_5$  [5]), так и исключительно за счет анизотропии формы в пленках пермаллоя [6]. В настоящей работе изучается возможность замены пленок с легкоплоскостной анизотропией на двухслойные пленки, в которых при определенных условиях может возникать нетривиальная эффективная анизотропия, обуславливающая появление новых направлений легкого намагничивания. В частности, показано, что в этом случае формирующиеся магнитные структуры имеют схожий тип с вихреподобными неоднородностями, изученными в [4-6], однако обладают дополнительной степенью свободы (вектор намагниченности направлен «вверх» или «вниз» относительно пленки; в то же время при сильной легкоплоскостной анизотропии вектор намагниченности вообще не покидает плоскость пленки). Это открывает перспективы для дальнейшего повышения плотности записи информации на магнитных носителях.

В качестве образца была рассмотрена тонкая двухслойная ферромагнитная плёнка с четырьмя одинаковыми отверстиями. Решение задачи осуществлялось с использованием пакета микромагнитного моделирования OOMMF [7]. В процессе расчёта распределения намагниченности было подтверждено появление эффективной анизотропии, которая не соответствует ни типу «легкая ось», ни типу «легкая плоскость». Также было показано, что между областями образца,



в которых отличается знак компоненты  $m_z$ , образуется доменная граница особого типа. При этом вокруг каждого отверстия могут образовываться вихри, имеющие разные топологические заряды. Например, на рис. 1 с левым верхним и правым нижним отверстиями связан заряд  $+1$ , с левым нижним и правым верхним  $-1$ . В данном случае доменная граница образуется посередине плёнки. Жёлтым цветом на рис. 1 обозначено отклонение вектора намагниченности от плоскости под углом  $\alpha_1 \approx 45^\circ$ , а фиолетовым – под углом  $\alpha_2 \approx -45^\circ$ .

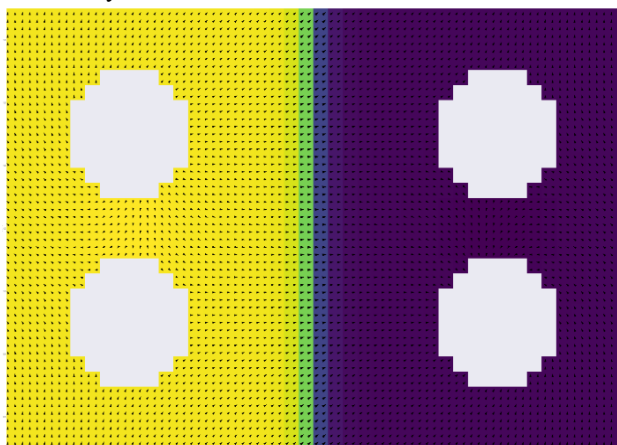


Рис. 1. Топологически защищенные структуры в плёнке с четырьмя отверстиями

*Работа выполнена в рамках государственного задания соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 тема № 324-21.*

### Литература

1. K. Everschor-Sitte, J. Masell, R.M. Reeve, M. Kläui. J. Appl. Phys. 124, 240901 (2018).
2. R. Mansell, J. Huhtasalo, M. Ameziane, S. van Dijken, S. J. Appl. Phys. 134, 243901 (2023).
3. B. Huang, M.A. McGuire, A.F. May, D. Xiao, P. Jarillo-Herrero, X. Xu, Nat. Mat. 19, 1276 (2020).
4. E.B. Magadeev, R.M. Vakhitov. JETP Letters. 115, 123 (2022).
5. E.B. Magadeev, R.M. Vakhitov, R.R. Kanbekov. J. Phys.: Condens. Matter. 35, 015802 (2023).
6. E.B. Magadeev, R.M. Vakhitov, R.R. Kanbekov. Europhys. Lett. 142, 26001 (2023).
7. M.J. Donahue, D.G. Porter. OOMMF User's Guide, version 2.0a3. National Institute of Standard and Technolog: Gaithersburg, MD, USA, 2021; Websites: <https://math.nist.gov/oommf/doc/userguide20a3/userguide/>

© Нугуманов Р.Р., Магадеев Е.Б., Шарафуллин И.Ф., 2024

**ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ И СКРМИОНЫ В  
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФРУСТРИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ**

Юлдашева А.Р., Шарафуллин И.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В данной работе методом Монте-Карло исследовано влияние поверхностного структурного дефекта в виде отверстия различного диаметра при наличии межслоевой связи и магнитоэлектрического взаимодействия в фрустрированных пленках.

В недавней статье Мацумото [1] использовались искусственные поверхностные ямки, изготовленные с помощью сфокусированного электронного луча, для инициации зарождения скирмионов из места закрепления в  $FeGe_{1-x}Si_x$  ( $x \sim 0.05$ ) [2]. Для дальнейшего технического применения в устройствах для чтения и записи информационных битов было бы желательно иметь возможность зарождения скирмионов в четко определенных позициях в пленке. В данной работе мы рассматриваем простую кубическую решетку с поверхностным структурным дефектом со спинами Гейзенберга в узлах решетки. Конкуренция между обменным взаимодействием, взаимодействием Дзялошинского – Мория (D) и внешним магнитным полем, перпендикулярным плоскости пленки соответственно, приводит к появлению кристаллической структуры скирмиона, устойчивой вплоть до температуры перехода [3, 4]. Эта структура встречается в мультислоях на основе  $CrI_3$ , Pt/Co и таких соединений, как  $[Ir(1)|Co(0.8)|Pt(1)]_{\times 6}$ . Мы показываем, что магнитная фрустрация индуцирует создание и возникновение фазы скирмионов, и обсуждаем влияние межслоевой и магнитоэлектрической связи на размер и плотность скирмионов. Показано, как небольшие изменения межслоевого взаимодействия и магнитоэлектрического взаимодействия (типа Дзялошинского-Мория) приводят к большим изменениям размеров скирмионов и влияют на температурный сдвиг фазовых переходов. Диапазон значений напряженности внешнего магнитного поля (H), в котором существует фаза решетки скирмиона в отсутствие дефекта, находится между  $H = 0,5$  (для  $D = 0,35$ ) и  $H = 3,5$  (для  $D = 2,0$ ). При наличии дефекта диаметром 40 узлов критические поля, при которых существует фаза решетки скирмиона, находятся в пределах от  $H = 0,35$  (для  $D = 0,35$ ) до  $H = 4,0$  ( $D = 2,0$ ). При значениях, выходящих за  $D = 0,35$  и  $H = 0,4$ , решетка скирмионов разрушается, но отдельные скирмионы распределяются по слою хаотично, диаметр скирмионов уменьшается с увеличением внешнего магнитного поля. При увеличении параметра взаимодействия Дзялошинского-Мория  $D \geq 0,4$  происходит образование скирмионной решетки.

При наличии дырочного дефекта диапазон значений, при которых существует фаза хаотически распределенных скирмионов, значительно шире по сравнению с пленкой без дефекта. Причем площадь этой фазы увеличивается с увеличением диаметра дефекта до значения  $d = 50$  узлов решетки. Можно сделать вывод, что наличие дырочного дефекта в ферромагнитной пленке с простой кубической решеткой расширяет диапазон значений внешнего магнитного поля, при котором происходит образование как фазы решетки скирмионов, так и фазы хаотически распределенных скирмионов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 тема № 324-21.*

### **Литература**

1. T. Matsumoto, Y. G. So, Y. Ikuhara, N. Shibata Journal of Magnetism and Magnetic Materials 531 (2021) 167976.
2. P. Huang, P. Zhang, S. Xu, H. Wang, X. Zhang, H. Zhang, Nanoscale 12 (2020) 2309.
3. F. Sharafullin, M. K. Kharrasov, H. T. Diep, Physical Review B 99 (21) (2019) 214420.
4. X. Zhang, J. Xia, O. A. Tretiakov, H. T. Diep, G. Zhao, J. Yang, Y. Zhou, M. Ezawa, X. Liu, Physical Review B 104 (22) (2021) L220406.

© Юлдашева А.Р., Шарафуллин И.Ф., 2024

## СЕКЦИЯ «РАДИОФИЗИКА»

УДК 537.533.35

### **МЕТОД ЗОНДА КЕЛЬВИНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВИХРЕВОЙ ТРУБКИ РАНКЕ-ХИЛША**

Миназов И.И., Шарипов Т.И., Шайхитдинов Р.З.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Наша работа строится на исследовании электродинамических процессов в вихревой трубке Ранке-Хилша. Одним из методов данного исследования будет метод зонда Кельвина, потому что с его помощью становится возможным измерить работу выхода электрона (РВЭ) и распределение поверхностного потенциала материала трубки.

Метод зонда Кельвина удобен тем, что он высокочувствителен: то есть он позволяет измерять очень малые изменения поверхностного потенциала, что делает его идеальным для изучения материалов с микроскопическими неоднородностями. Также он способен измерять в наноразмерном масштабе, выдавая в качестве результата детализированные карты поверхностных электрических свойств с разрешением на нанометровом уровне. Данный метод не повреждает исследуемую поверхность, что важно при работе с хрупкими образцами.

Данный метод был выбран для исследования поверхности вихревой трубки Ранке-Хилша, так как толкований механизма вихревого эффекта температурной сепарации внутри трубки имеется множество и все они, как правило, противоречат друг другу. Например, почти во всех работах по вихревой трубке (книгах, статьях и пр.) для объяснения причин термосепарации в том или ином виде используют формулу теплового баланса  $Q_{\text{вх}} = Q_{\text{гор}} + Q_{\text{хол}}$ . Другими словами, объяснение данного феномена практически всегда ограничивается законами термодинамики и уравнениями теплового баланса.

Однако можно взглянуть на поиск объяснения с другой стороны и исследовать вопрос с точки зрения электродинамики. Особенно это касается вихревых трубок из проводникового или полупроводникового материала, т.к. можно предположить, что во время протекания рабочего процесса внутри трубки, т.е. её продувания, внутри нее и на поверхности помимо термодинамических процессов могут проходить и электродинамические. Как вариант, электромагнитная термодинамика, которая описывает процессы изменения энтропии и энергии под воздействием электромагнитных полей, например, в плазме, электромагнитных двигателях или при тепловом воздействии на электропроводящие материалы. Например, рост или падение работы выхода электрона на поверхности трубки. Такой подход позволяет

взглянуть на данный феномен под другим углом, под которым, благодаря новым данным, возможно удастся истолковать механизм вихревого эффекта.

### **Литература**

1. Коновалов В.И., Орлов А.Ю., Кудра Т. Разработка расчёта вихревых труб Ранка-Хилша // Вестник ТГТУ. 2012. Т. 18. № 1. – С. 74–107.
2. Тявловский А.К., Жарин А.Л., Гусев О.К., Воробей Р.И., Мухуров Н.И., Шаронов Г.В., Пантелеев К.В. Анализ дефектов поверхности исходных подложек алюминия и его сплавов методом сканирующего зонда Кельвина // Приборы и методы измерений 2017. – Т. 8, № 1. – С. 61–72.

© Миназов И.И., Шарипов Т.И., Шайхитдинов Р.З., 2024

## ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ 5G В ЖИЛОМ КОМПЛЕКСЕ

Амиров Д.М., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

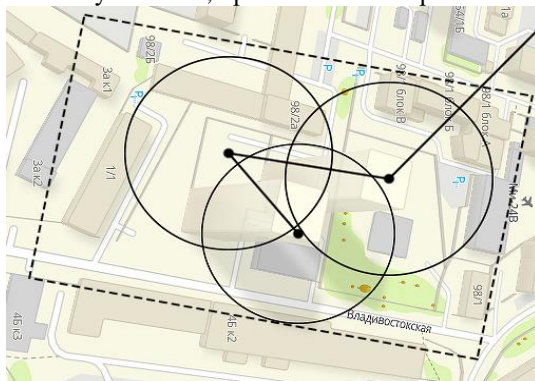
Цель проекта заключалась в проектировании системы 5G на территории какого-либо жилого комплекса (ЖК).

Для достижения цели проекта ставились следующие задачи:

- проектирование беспроводного доступа в ЖК с предоставлением качественных услуг связи и хорошими техническими показателями;
- подбор подходящего оборудования;

За счёт увеличенного трафика и скорости у пользователей появится возможность доступа в сеть интернет с высочайшим из возможных качеством, сведение задержек к минимуму, откроет новые возможности интернету вещей, появится возможность создавать новые приложения.

Актуальность выбора данной темы обусловлена тем, что ёмкости сетей предшествующих поколений, способных поддерживать высокий уровень качества связи и обслуживания, практически исчерпаны.



*Рис. 1.* Расстановка базовых станций на объекте проектирования и общая зона покрытия

В докладе будут представлены вопросы касаяемо технологии 5G, общие сведения, актуальная информация по развитию технологии на территории России, будет показано сравнение технологий 5G и прошлых поколений, будут описаны достоинства и недостатки технологии, исследован вопрос необходимого для построения сетей 5G оборудования и частотно-территориального планирования.

Нами были произведены расчеты количества абонентов, количества необходимого оборудования, а также экономические расчеты.

© Амиров Д.М., Шарипов Т.И., 2024

**УСИЛИТЕЛЬ ЗВУКА НА ТРАНЗИСТОРАХ**

Мухамедьянов М.М., Рыжиков О.Л.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Усилитель звуковых частот — прибор для усиления электрических колебаний, соответствующих слышимому человеком звуковому диапазону частот. Транзисторные усилители, несмотря на появление более современных микро схемных, не потеряли своей актуальности. Достать микросхему бывает, порой, не так легко, а вот транзисторы можно выпаять практически из любого электронного устройства.

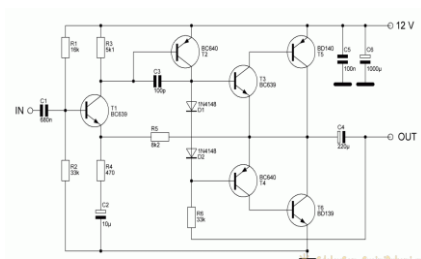


Рис. 1. Схема усилителя



Рис. 2 Собранный усилитель

Собирается схема на печатной плате размерами 50x40 мм

Схема состоит из 6-ти транзисторов и может развивать мощность до 3-х ватт при питании напряжением 12 вольт. Этой мощности хватит для озвучивания небольшой комнаты или рабочего места.

Транзисторы Т5 и Т6 на схеме образуют выходной каскад. Конденсатор С4 отделяет постоянную составляющую сигнала на выходе, именно поэтому данный усилитель можно использовать без платы защиты акустических систем. Динамик можно использовать сопротивлением 4-16 Ом, чем ниже его сопротивление, тем большую мощность будет развивать схема.

**Литература**

1. Евсеев А. Н. Электронные устройства для дома. – М.: Радио, 1994. – 144 с.
2. Гаврилов К. Применение микросхемы КР1441ВИ1: Радио. – 2011. – № 6. – С. 34–36.

© Мухамедьянов М.М., Рыжиков О.Л., 2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭЛЕКТРОННЫХ И СИГНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ СЛОЖНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ

Доломатова М.М.<sup>1</sup>, Ермаков Д.Ю.<sup>2</sup>, Салихова Р.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Уфимский государственный университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В качестве объектов исследования в настоящей работе использовались красители, применяемые в качестве компонентов активных лазерных сред и органических полупроводников: активные, прямые, хромовые, кислотные красители [1].

*Целью работы* является изучение широкополосных сигнальных характеристик оптических спектров красителей.

*Объекты исследования* – водорастворимые красители: прямые, кислотные, хромовые и активные красители.

Проведены спектральные исследования [2] и получены спектры красителей. Полуэмпирическим методом рассчитан потенциал ионизации для различных водорастворимых органических красителей на основе полициклических ароматических углеводородов: для кислотных, активных и хромового.

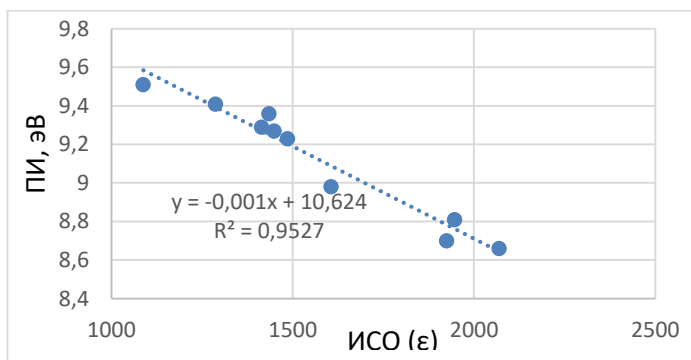


Рис. 1. Зависимость ИСО от ПИ органических красителей

Определены основные спектральные характеристики органических красителей – интегральная сила осциллятора и длина волны при максимальном поглощении органических красителей, определенная с помощью Фурье-преобразования. Исследованы взаимосвязи интегральной силы осциллятора с потенциалом ионизации молекул различных



органических красителей, а также исследована связь максимума поглощения в спектрах красителей с интегральной силой осцилляторов с целью прогнозирования оптимального диапазона генерации излучения лазерами на органических красителях. Полученные зависимости имеют адекватный характер, т.к. значения коэффициентов корреляций для зависимостей имеет высокие значения – 0,97 и 0,87, соответственно.

Полученную зависимость можно рекомендовать для оценки оптимальной частоты возбуждения активной среды, соответствующего устройства.

### **Литература**

1. Насиров Т.З., Хожиев Ф.А., Солиева М.И. Исследование системы накачки лазера на красителях // *Universum: Технические науки: электрон. научн. журн.* 2020. № 4(73). URL:

<http://7universum.com/ru/tech/archive/item/9232>

2. Доломатов М.Ю. Интегральные характеристики оптических спектров, как новый класс дескрипторов для сложных молекулярных систем / Доломатов М.Ю., Ковалева Э.А., Латыпов К.Ф., Доломатова М.М., Ярмухаметова Г. У. и Паймурзина Н. Х. // *Бутлеровские сообщения.* 2019. Т.57. №1. – С. 1–14.

© Доломатова М.М., Ермаков Д.Ю., Салихова Р.Д., 2024

**ГОМООЛИГОНУКЛЕОТИДЫ КАК НАНОПРОВОДА**

Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Для создания миниатюрных электронных схем необходима эффективная технология создания нанопроводов. Широкие перспективы применения ДНК в нанoeлектронике обусловлены возможностью использования их для конструирования нанопроводов, или в качестве самих нанопроволок. Атомно-силовая микроскопия (АСМ) и сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) являются одними из ключевых методов исследования свойств биомолекул [1] на предмет их использования в микро- и нанoeлектронике. В работе [2] были представлены результаты экспериментов по сканирующей туннельной спектроскопии гомогенных молекул ДНК poly(dG)-poly(dC). Был разработан и представлен [3] эффективный метод формирования тонких проволок ДНК с золотым покрытием.

Разработан простой способ получения серебряных нанопроволок [4]. Получены изображения зафиксированных молекул ДНК и готовых нанопроволок с помощью атомного силового микроскопа.

Цель нашего исследования состояла в визуализации и определении электрической проводимости гомоолигонуклеотидов, которые представляют собой последовательности только одного вида нуклеотида: аденина ( $dA_{12}$ ) либо цитозина ( $dC_{12}$ ). Обнаружено, что проводимость исследуемых гомоолигонуклеотидов ниже, чем проводимость золотой пленки. Сопротивление гомоолигонуклеотидов  $dC_{12}$  несколько выше, чем сопротивление  $dA_{12}$ , что объясняется более высокими значениями окислительно-восстановительного потенциала цитозина по сравнению с аденином. Таким образом, СТМ позволяет выявлять даже слабые различия в проводимости цепей ДНК разного нуклеотидного состава, что можно использовать для разработки нового метода секвенирования ДНК с помощью СТМ.

**Литература**

1. Sharipov T.I., Sakhautdinov I.M. et al. // Journal of Nanoparticle Research. 2023. Vol. 25. No. 4. Article No. 64.
2. Ryndyk D., Shapir E. Scanning Tunneling Spectroscopy of Single DNA Molecules // ACS Nano, 2009. №3(7). P. 1651–1656.
3. Stern A., Eidelstein G. et al. Highly Conductive Thin Uniform Gold-Coated DNA Nanowires. // Advanced Materials, 2018. – №30(26).
4. Puchkova A.O., Sokolov P., Kasyanenko N.A. Metallization of DNA on silicon surface // J Nanopart Res, 2011. – №13(9). – P. 3633–3641.

© Шарипов Т.И., 2024

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНЕГО ШУМА И  
ФЛИККЕР-ШУМА**

Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З., Шарипов Т.И.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

При исследовании низкочастотных флуктуаций [1] большой интерес представляет компьютерное моделирование этих шумов.

В данной работе рассмотрены компьютерные модели синего шума и фликкер-шума, основанные на интегрировании и дифференцировании белого гауссовского шума. В связи с тем, что при обычном интегрировании и дифференцировании получаются процессы с индексом СПМ, близким к -2 или 2, для получения шума с индексом СПМ, близким к -1 и 1, в данной работе используется дифференцирование и интегрирование 0,5-го порядка, которое выполняется с помощью Фурье-фильтрации [2].

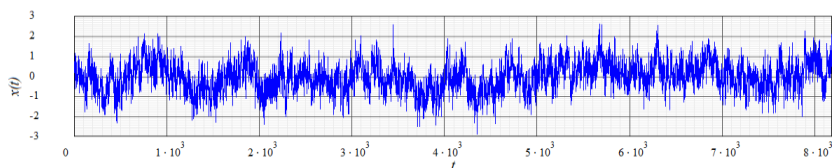


Рис. 1. Реализация фликкер-шума с индексом СПМ, близким к -1

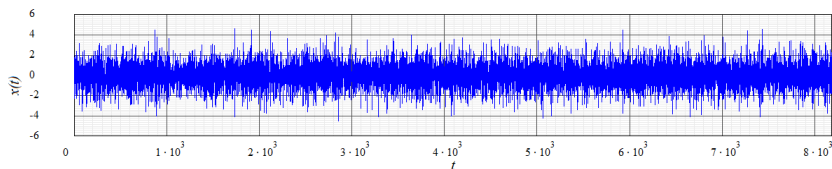


Рис. 2. Реализация синего шума с индексом СПМ, близким к 1

На рисунках 1 и 2 показаны реализации полученных процессов. Видно, что фликкер-шум не является  $\delta$ -коррелированным.

**Литература**

1. Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З., Шарипов Т.И. Экспериментальное исследование спектральных и корреляционных характеристик низкочастотных флуктуаций в вольфрамовых нитях накала // Радиотехника и электроника. – 2022. Т. 67. № 10. – С. 964–972.

2. Гоц С.С. Основы описания и компьютерных расчётов характеристик случайных процессов в статистической радиофизике: Учебное пособие. – Уфа: РИО БашГУ, 2005.

**ОБЗОР ПРОЦЕССОВ ВОЗНИКАЮЩИХ В ВОДЯНОМ МОСТИКЕ**

Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Подача постоянного высокого напряжения (10-15 кВ) с приложенными электродами к двум стеклянным сосудам, наполненных диэлектрической жидкостью – водяной мостик (ВМ). Ниже приводится (рис. 1.) зависимости скорости молекул жидкости в зависимости от расстояния иона, движущегося под действием электрического поля для различных скоростей  $u_0$ . Проведенные с учетом плотности тока и напряженности электрического поля расчеты показывают, что ср. расстояние между ионами в ВМ  $l_i = n^{-1/3} \sim 3 \cdot 10^{-7}$  м.

Интересно, что скорость увлекаемых молекул от одного иона до соседнего уменьшается незначительно (максимум на 5%). Этим утверждается, что «матрица» ионов практически полностью увлекает находящиеся между ними молекулы воды, т.е. можно утверждать о «вмороженности» ионов в жидкость.

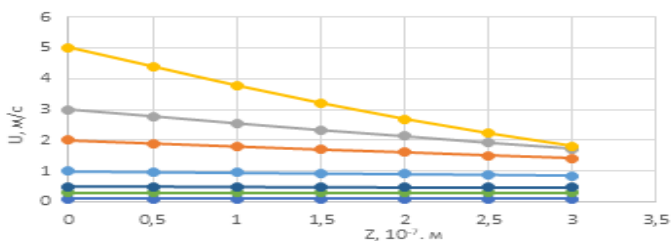


Рис. 1. Зависимость скорости молекул воды от расстояния от дрейфующего иона

Таким образом, наблюдаемое реверсирование потока жидкости через ВМ обусловлено периодическим образованием объемного заряда в катодной емкости с последующим его переносом через ВМ в анодную емкость и его экранировкой пространственным перераспределением зарядов.

**Литература**

1. Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З. Динамика массопереноса жидкости в водном мостике. В сборнике: XIV Международной школы-конференции «ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И ЕЁ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ»: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2023», посвящённой 75 - летию юбилею профессоров Я.Т. Султанаева и М.Х. Харрасова. Уфа, 8-11 октября 2023 г.

© Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З., 2024

УДК 69

## **ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Мочалов А.Н., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Защита зданий и сооружений от беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является актуальной задачей в современном мире.

Методы защиты зданий и сооружений от БПЛА можно разделить на физические методы, такие как ограждение территории объекта, установка систем противодействия БПЛА, таких как лазерные или радиолокационные системы, использование сетей для перехвата БПЛА.

К электромагнитным методам относят использование систем помех для блокирования сигналов управления БПЛА, применение систем подавления GPS-сигналов.

Стоит отметить важность интеграции систем защиты от БПЛА в общую систему безопасности объекта.

Постоянное совершенствование БПЛА и методов их использования требует соответствующего развития систем противодействия.

Регулярное обновление программного обеспечения и аппаратной части систем защиты от БПЛА является обязательным условием их эффективной работы.

### **Литература**

1. Кудасова А.С., Тютюина А.Д., Сокольников Э.В. // ИВД. 2021. №8 (80).
2. Николаев Н.В., Ильин В.В., Некрасов М.И. Актуальные вопросы противодействия современным автономным БПЛА и FPV-дронам // ВБ. 2024. №1.

© Мочалов А.Н., Шарипов Т.И., 2024

## СЕКЦИЯ «НАНОЭЛЕКТРОНИКА И НАНОМАТЕРИАЛЫ»

УДК 543.552.054.1

### **МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТОВ ИЗ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ХИТОЗАНА И N-СУКЦИНИЛХИТОЗАНА С УГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НАПРОКСЕНА**

Булышева Е.О., Ишмакаева Г.И., Зильберг Р.А.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Идентификация лекарственных средств по производителю является одной из основных аналитических задач, поскольку доля фальсифицированной продукции на фармацевтическом рынке ежегодно увеличивается. Для решения этой проблемы можно использовать электрохимические методы, в частности вольтамперометрию. Поскольку лекарственные препараты содержат не только действующее вещество, но и вспомогательные компоненты, которые могут усложнить регистрацию четкого сигнала-отклика, для более точных измерений используются мультисенсорные системы [1-3] на основе вольтамперометрических сенсоров с перекрестной чувствительностью с дальнейшей обработкой методами главных компонент (МГК) и независимого моделирования аналогий классов (SIMCA).

В данной работе разработаны мультисенсорные системы типа «электронный язык» на основе стеклоуглеродных электродов (СУЭ), модифицированных композитами [4-5] из полиэлектrolитного комплекса хитозана и N-сукцинилхитозана (ПЭК) с различными углеродными частицами, такими как углеродные нанотрубки (ОУНТ), оксид графена (ОГ), CarboblackC и Carborack (СУЭ/ПЭК@ОУНТ, СУЭ/ПЭК@ОГ, СУЭ/ПЭК@CarboblackC, СУЭ/ПЭК@Carborack) для идентификации лекарственных препаратов с действующим веществом напроксен. Вольтамперограммы (ВА) исследуемых растворов регистрировали в дифференциально-импульсном режиме. Полученные ВА препаратов напроксена «Налгезин», «Тералив» и «Нексемезин» отличаются друг от друга по высоте пиков, потенциалов окисления и формой всей ВА, что обусловлено различным составом вспомогательных веществ, примесей в лекарственных средствах и природой модификаторов. Для идентификации фармацевтических препаратов напроксена по производителю использовалась хемометрическая обработка полученных ВА. Полученные графики счетов МГК-моделирования для односенсорных систем показывают, что преобразованные в точки ВА образуют кластеры на плоскости главных компонент, которые расположены близко друг к другу,

а некоторые из них даже пересекаются, что не позволяет однозначно идентифицировать препараты напроксена по производителю. С использованием метода SIMCA были рассчитаны доли исследуемых образцов лекарственных средств, отнесенных к соответствующим образцам сравнения. Идентификация фармацевтических препаратов напроксена по производителю с использованием односенсорных систем может быть проведена без ошибок 1-го рода, но ошибки 2-го рода достигают 100%. Для двух- и трехсенсорных систем результаты МГК-моделирования также оказались недостаточно точными для идентификации препаратов по производителю. Для решения данной задачи мы использовали мультисенсорный подход, т.е. совместную хемометрическую обработку ВА, последовательно регистрируемых на четырех композитных сенсорах с перекрестной чувствительностью, что позволяет получить непересекающиеся кластеры на плоскости главных компонент и дает возможность использовать разработанную сенсорную платформу для идентификации лекарственных препаратов по производителю. Результаты классификации SIMCA для четырехсенсорной системы идентифицируют фармацевтический препарат напроксен без ошибок 1-го и 2-го рода.

Таким образом, разработаны новые композиционные материалы на основе проводящих полимеров, модифицированных углеродными частицами, которые успешно использованы при создании вольтамперометрических мультисенсорных систем.

*Исследование выполнено при поддержке РФФ, грант № 23-73-00119*

### **Литература**

1. Зильберг Р.А., Сидельников А.В., Яркаева Ю.А., Кабирова Л.Р., Майстренко В.Н. // Вестник Башкирского университета, 2017, т. 22(2). – С. 356–363.
2. Яркаева Ю.А., Дубровский Д.И., Зильберг Р.А., Майстренко В.Н. // Электрохимия, 2020, т. 56 (7). – С. 591–603.
3. Зильберг Р.А., Яркаева Ю.А., Дубровский Д.И., Загитова Л.Р., Майстренко В.Н. // Аналитика и контроль, 2019, т. 23 (4). – С. 546-556.
4. Salikhov R.B., Zilberg R.A., Bulysheva E.O., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R., Teres Y.B. // Letters on Materials., 2023., v. 13(50), pp. 132-137.
5. Zilberg R., Salikhov R., Mullagaliev I., Ostaltsova A., Vakulin I. // Chimica Techno Acta, 2024, v. 11(3), с. 202411302.

© Булышева Е.О., Ишмакаева Г.И., Зильберг Р.А., 2024

**КОМПОЗИТНЫЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА Ni(II) С  
ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ЛИГАНДАМИ ДЛЯ  
РАСПОЗНАВАНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ АТЕНОЛОЛА**

Терес Ю.Б., Волкова А.А., Зильберг Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Для экспрессного и точного определения энантиомеров биологически активных соединений, входящих в состав фармацевтических препаратов, успешно используются энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры на основе различных хиральных селекторов [1]. Однако традиционные селекторы часто ограничены в универсальности и специфичности. Новый подход использует "программируемые" хиральные селекторы, особенно комплексы переходных металлов с органическими хиральными лигандами [2], которые просты в изготовлении и могут синтезироваться с заданными свойствами.

В данной работе предложен сенсор на основе комплекса Ni(II), иммобилизованного в объем пастового электрода CarboBlackC (СВРЕ/(S)-BPB-Gly-Ni(II)). Регистрация вольтамперограмм в квадратно-волновом режиме (КВВ) показывает, что сенсор селективен к энантиомерам атенолола (Atn) ( $i_{p1}/i_{p2} = 1.60$  и  $\Delta E_p = 20$  мВ). Результаты регистрации КВВ для исследуемых растворов разных концентраций показывают, что СВРЕ/(S)-BPB-Gly-Ni(II) определяет концентрации энантиомеров Atn в линейном диапазоне 100-1000 мкМ с пределами обнаружения (LOD) 2.76 и 4.51 мкМ и нижними границами определяемых концентраций (LOQ) 9.23 и 15 мкМ для S- и R-Atn соответственно. Апробация сенсора в чистых растворах энантиомеров Atn и биологических жидкостях, демонстрирует высокую точность и воспроизводимость определения (относительное стандартное отклонение (RSD) не больше 4.1%). Также в данном исследовании представлена возможность идентификации фармацевтических препаратов Atn по производителю с использованием методов главных компонент и независимого моделирования аналогии классов.

*\*Благодарность за предоставленные образцы Институту элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Лаборатории асимметрического катализа.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 23-23-00340.*

**Литература**

1. Майстренко В.Н., Сидельников А.В., Зильберг Р.А. // Журнал аналитической химии, 2018, т.73(1). – С. 3–13.



2. Zilberg R.A., Teres Ju.B., Bulysheva E.O., Vakulin I.V., Mukhametdinov G.R., Khromova O.V., Panova M.V., Medvedev M.G., Maleev V.I., Larionov V.A. // *Electrochimica Acta*, 2024, v. 492, P. 144334.

© Терес Ю.Б., Волкова А.А., Зильберг Р.А., 2024

**ОРГАНИЧЕСКИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ  
ФОТОТРАНЗИСТОРОВ**

Гильманов Д.Р., Салихов Р.Б.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Одним из направлений применения многослойных полимерных тонкопленочных материалов является разработка новых фототранзисторов для ячеек памяти [1-4]. В перспективе развития органической электроники предстоит создание разнообразных устройств, таких как дисплеи, интегральные схемы, датчики и др. Эти устройства будут отличаться ультратонкостью, легкостью, гибкостью и прозрачностью, что откроет новые перспективы, недоступные для традиционной электроники на основе кремния. Одним из перспективных устройств в области органической электроники является органический транзистор (OFET) с транспортным слоем толщиной не более десяти нанометров, где управление носителями заряда осуществляется изменением плотности заряда в электрическом поле.

Поли(2-этил-3-метилиндол) (MPIn) получали внутримолекулярной циклизацией поли(2-(хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина) при нагревании при 140–150 °С в течение 6–7 ч в полифосфорной кислоте (PPA). Выход MPIn составил 81%. Следует отметить, что данная реакция представляет собой способ синтеза полииндола нового типа из высокорастворимого производного полианилина (ПАНИ) путем полимераналогичной конверсии. В полимерной цепи MPIn участвует атом азота, что, несомненно, оказывает существенное влияние на физико-химические свойства. Образец структуры фототранзистора на основе полииндольных пленок представлен на рис.1.

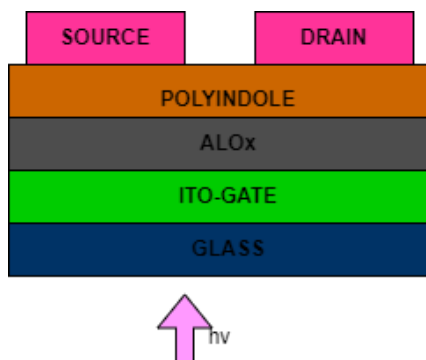


Рис. 1. Структура фототранзистора

В качестве подложки использовалось стекло, покрытое проводящим слоем оксида индия-олова (ИТО) в качестве затвора. Перед созданием необходимых пленок подложки отжигались в муфельной печи. В качестве диэлектрика были созданы пленки AlO<sub>x</sub> толщиной 400 нм. Полииндольную пленку создавали центрифугированием из раствора. Остаточный растворитель удаляли нагреванием в муфельной печи. Затем, методом термического напыления в вакуумной установке наносили два алюминиевых электрода (исток и сток).

Для исследования фотопроводимости измеряли ВАХ в условиях ультрафиолетового излучения при длине волны излучения 350 нм.

Темновой ток полииндольных пленок порядка 1 нА. При УФ-облучении значение фототока на три порядка превышает темновое значение. Энергия УФ-квантов составляет 3,4 эВ, что сравнимо с шириной запрещенной зоны. Это вызывает образование электронно-дырочных пар, а проводимость тонких пленок МРIn увеличивается.

Были измерены семейства выходной и передаточной ВАХ фототранзистора. Изучение вольт-амперных характеристик изготовленных транзисторов показало, что при отсутствии облучения токи в фототранзисторах составляют около 1 нА. Подвижности носителей в активном слое  $\mu$  изготовленных ОПТ оценивали по формуле (1)

$$I_{DS} = (W/L)\mu C(U_G - U_{th})U_{DS} \quad (1)$$

Расчетное значение подвижности носителей  $\mu$  (МРIn) = 0,016 см<sup>2</sup> В<sup>-1</sup> с<sup>-1</sup>, что сравнимо с подвижностью для этого класса соединений

### Литература

1. Sadretdinova Z. R., Akhmetov A. R., Salikhov R. B., Mullagaliev I. N. & Salikhov T. R. 1, 2, 3-Triazolyfullerene-based n-type semiconductor materials for organic field-effect transistors //Mendelevov Communications. 2023, v. 33(3), pp. 320–322.
2. Mustafin A. G., Latypova L. R., Andriianova A. N., Mullagaliev I. N., Salikhov S. M., Salikhov R. B. & Usmanova G. S. Polymerization of new aniline derivatives: synthesis, characterization and application as sensors //RSC advances. 2021, v. 11(34), pp. 21006-21016.
3. Salikhov R. B., Mullagaliev I. N., Badretdinov B. R., Ostaltsova A. D., Sadykov T. T. & Mustafin A. G. Effect of the morphology of films of polyaniline derivatives poly-2-[(2E)-1-methyl-2-butene-1-yl] aniline and poly-2-(cyclohex-2-en-1-yl) aniline on sensory sensitivity to humidity and ammonia vapors // Letters On Materials. 2022, v. 12(4), pp. 309–315.
4. Andriianova A. N., Salikhov R. B., Latypova L. R., Mullagaliev I. N., Salikhov T. R. & Mustafin, A. G. The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives // Sustainable Energy & Fuels. 2022, v. 6(14), pp. 3435–3445.

© Гильманов Д.Р., Салихов Р.Б., 2024

УДК 538.9

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНИДОВ СВИНЦА

Сафаргалиев Д.И.<sup>1</sup>, Биккулова Н.Н.<sup>1</sup>, Ермилов Н.В.<sup>1</sup>,

Гаймалов А.И.<sup>2</sup>, Акманова Г.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
г. Стерлитамак, Россия

<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Разработка новых видов термоэлектрических материалов для прямого преобразования отработанного тепла в электрическую энергию является актуальной задачей. Современное материаловедение ориентировано на наноструктурирование материалов, так как они обычно сочетают в себе высокую электронную проводимость и низкую теплопроводность. Соединения на основе теллуридов и селенидов свинца, легированные серебром и медью считаются перспективными функциональными материалами для электронных устройств, обладают широким спектром физических свойств, таких как термо - эдс, электропроводность, светочувствительность. Халькогениды свинца являются узкозонными полупроводниками, ширина запрещенной зоны которых составляет для сульфида свинца PbS 0,39 эВ, селенида свинца PbSe - 0,27 эВ и теллурида свинца PbTe - 0,32 эВ. Значительную роль играет степень отклонения от стехиометрии: при избытке атомов свинца кристаллы халькогенидов свинца имеют n-тип проводимости, при избытке халькогена – p-тип проводимости. Халькогениды свинца PbSe и PbS используются в качестве ИК-детекторов, работающих в спектральном диапазоне от 1 до 5 мкм. За последние несколько десятилетий было синтезировано множество новых наноструктур и разработано технологий для снижения стоимости и улучшения характеристик системы ИК-детектирования. Несмотря на это современная технология ИК-детектирования является дорогостоящей, сложной в изготовлении и работает в низкотемпературном диапазоне. Тонкие пленки PbSe обладают уникальными физическими свойствами и зонной структурой, широко используемыми для применений в ИК-диапазонах.

В работе представлен расчет зонной структуры селенида свинца. Модельные компьютерные расчеты проведены с помощью программного пакета Quantum Espresso.

© Сафаргалиев Д.И., Биккулова Н.Н.,  
Ермилов Н.В., Гаймалов А.И. Акманова Г.Р., 2024

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Айдагулов А.А., Салихов Р.Б.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Полиметилметакрилат (ПММА) находит широкое применение в микроэлектронике благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая прозрачность, легкость обработки, отличная устойчивость к ультрафиолетовому излучению и хорошая адгезия к различным подложкам. При производстве устройств на основе тонких полимерных пленок ключевыми параметрами являются мониторинг толщины и характеристик материалов. Так одним из простых и легкодоступных является метод Свейнпола (Конвертный метод) [1]. Для демонстраций возможностей метода конвертов были изготовлены тонкие полимерные пленки полиметилметакрилата на кварцевых подложка из 10 процентного раствора в циклогексаноне, концентрация допантов 10 процентов от весовой массы ПММА. В качестве допантов использовался фенолфталеин (ФФ) и 3-бензилиденфталид (БФ). На спектрофотометре Shimadzu UV-1800 были получены спектры оптического пропускания и поглощения в диапазоне от 220 до 800 нм. Выше 400 нм все образцы оптически прозрачны. Толщина и показатель преломления оптически прозрачных органических пленок были определены методом Свейнпола. Наличие допанта уменьшает толщину полимерных пленок более чем на 40%. Определены оптическая ширина запрещенной зоны для пленок ПММА – 5,29 эВ, ПММА с ФФ – 4,27 эВ, ПММА с БФ – 3,35 эВ. Введение добавок приводит к снижению энергии Урбаха на 1,20 эВ для ФФ и на 1,40 эВ для БФ, что указывает на улучшение кристаллической структуры пленок. Также были рассчитаны параметры оптической проводимости, электроотрицательности, а также действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости и коэффициент диэлектрических потерь тонких пленок [2-3].

### Литература

1. Кондрашин В. И. Определение толщины тонких оптически прозрачных пленок SnO<sub>2</sub> конвертным методом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 2 (38). – С. 93–101.
2. Andriianova A.N., Latypova L.R., Mustafin A.G., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. // Sustainable Energy and Fuels. 2022. Т. 6. № 14. – С. 3435–3445.
3. Lachinov A.N., Rakhmееv R.G., Zhdanov É.R., Salikhov R.B., Antipin V.A. // Physics of the Solid State. 2010. Т. 52. № 1. – С. 195–200.

© Айдагулов А.А., Салихов Р.Б., 2024

## ОТСЛЕЖИВАНИЕ ЖИВОТНЫХ НА ФЕРМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN

Айдагулов А.А., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Современное сельское хозяйство сталкивается с рядом вызовов, включая необходимость повышения эффективности управления ресурсами и улучшения благополучия животных. Одним из перспективных решений для решения задач является использование технологий Интернета вещей (IoT), в частности, протокола LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). [1] Этот протокол обеспечивает надежную и энергоэффективную связь на больших расстояниях, что делает его идеальным для применения в условиях фермерских хозяйств.

Так с помощью LoRaWAN развернем собственную сеть с использованием базовой станции (Вега БС-1.2) в близости с фермой, которое позволяет отслеживать животных в радиусе 15-20 км в открытое местности, и 5-10 км в закрытых местностях. Благодаря базовой станции не нужно оплачивать трафик каждого отдельного устройства. Технология LoRaWAN позволяет эффективно использовать устройства, что сказывается на его энергопотребление и позволяет устройству в течение 1-2 лет работать непрерывно.

Для проверки работоспособности был собран макет устройства GPS трекера, с использованием микроконтроллера Nucleo STM 32, GPS модуль GNSS GN-802 с встроенным геокомпасом. Для передачи данных через LoRaWAN использовался приемопередатчик RAK811 и базовая станция Вега БС-1.2. Данные о местоположение передаются в облачный сервис Rightech.io [2], где отображаются на карте. Также можно сделать контроль по геозонам, логику работы, уведомления через Telegram бот и тд.

Использование технологии LoRaWAN для отслеживания животных на фермах представляет собой мощный инструмент для повышения эффективности сельского хозяйства. В будущем можно ожидать дальнейшего развития и интеграции IoT-решений в аграрный сектор, что откроет новые горизонты для устойчивого сельского хозяйства.

### Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2096. – No. 1. – С. 012109.
2. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>.

**ФОТОРЕЗИСТОР НА ОСНОВЕ ПЛЕНКИ ПРОИЗВОДНОЙ  
ПОИАНИЛИНА**

Баджассилона Г.Б., Салихов Р.Б.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Современные полимеры вызывают большой интерес в области создания электронных датчиков благодаря таким качествам, как невысокая стоимость, легкость изготовления и возможность относительно легко изменять их свойства путем добавления необходимых компонентов. Эти полимеры открывают новые возможности для разработки высокоэффективных и недорогих фотодетекторов. В последнее время особое внимание уделяется фоторезисторам с пленкой производных полианилина. Фоторезисторы создавались с использованием стеклянных подложек с готовой пленкой оксида индия-олова (ITO). Слой изучаемых производных полианилина наносился на ITO методом центрифугирования при скорости вращения 800 об/мин в течение 1 минуты. После этого образцы нагревались в печи при 70 °С в течение 20 минут. Верхний алюминиевый контактный слой наносился методом вакуумного термического напыления.



Рис. 1. Структура фоторезистора с пленкой производного полианилина

Преимуществом данных приборов является то, что технология их изготовления совместима с современной технологией печатной органической электроники. Созданные фоторезистивные структуры могут оказаться очень перспективными для использования в системах охранной сигнализации и оптических ячейках памяти.

**Литература**

1. Andriianova A.N., Latypova L.R., Mustafin A.G., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. // Sustainable Energy and Fuels. 2022. Т. 6. № 14. – С. 3435–3445.
2. Lachinov A.N., Rakhmееv R.G., Zhdanov É.R., Salikhov R.B., Antipin V.A. // Physics of the Solid State. 2010. Т. 52. № 1. – С. 195–200.

© Баджассилона Г.Б., Салихов Р.Б., 2024

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ  
ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN**

Абдрахманов В.Х., Давлетбердин И.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В современных условиях автоматизации и цифровизации промышленности системы мониторинга персонала становятся неотъемлемой частью эффективного управления производственными процессами. Это особенно актуально для отраслей с повышенными требованиями к безопасности сотрудников, таких как горнодобывающая промышленность, строительство, энергетика и медицина [1,2]. В связи с этим использование технологии LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), которая характеризуется низким энергопотреблением и большой дальностью передачи данных (до 15 км в сельской местности и 5 км в городских условиях), открывает новые возможности для разработки масштабируемых, надёжных и экономически эффективных решений мониторинга персонала [3-5]. Для моделирования системы использовались математические методы анализа пропускной способности LoRaWAN-сетей, с учётом ограничений на объём данных, которые могут быть переданы за определённый период времени, а также параметров, влияющих на стабильность связи [6]. Рассматривались различные сценарии использования сети: мониторинг сотрудников на объектах с высокой плотностью носимых устройств и в условиях повышенной нагрузки на сеть. В результате теоретического исследования показано, что система мониторинга на базе данной сети обеспечивает стабильную передачу данных на большие расстояния при минимальном энергопотреблении. При правильно выбранной архитектуре сети и параметрах датчиков время автономной работы носимых устройств может достигать 4-6 недель. Пропускная способность сети позволяет поддерживать мониторинг до 1000 сотрудников при оптимальной нагрузке на сеть [7]. Моделирование показало, что система способна эффективно работать в условиях удалённых объектов, таких как стройплощадки или лесозаготовки, где важно своевременно получать данные о состоянии персонала и оперативно реагировать на потенциальные угрозы [8]. Результаты теоретического анализа показали, что модель системы мониторинга персонала на основе LoRaWAN является перспективным направлением для дальнейшего развития и внедрения решений в области промышленной безопасности, автоматизации контроля здоровья и активности персонала, что позволяет не только снизить риски для сотрудников, но и улучшить управляемость производственными процессами.



### Литература

1. Romanova Y.D., Vintova T.A., Koval P.E. // Moscow: Yurayt, 2024. – С. 272.
2. Latfullin G.R., O.N. Gromova, A.V. Raychenko. // Moscow: Yurayt, 2014. – pp. 480.
3. Litvinyuk A.A. // Moscow: Yurayt, 2013. – pp. 448.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. // IEEE, 2021. – pp. 234–238.
5. Smith J. & Johnson A. «The Role of LoRaWAN in Industrial IoT Applications». *Industrial IoT Journal*, 2021, 5 (2). – pp. 45–56.
6. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2021. v. 20969(1) pp. 012098.
7. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. // *International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*. – IEEE, 2021. – pp. 229–233.
8. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.Kh., Safargalin I.N. Internet of things (IOT) security alarms on ESP32-CAM. В сборнике: *Journal of Physics: Conference Series*. Сер. "International Conference on Automatics and Energy, ICAE, 2021. pp. 012109.

© Абдрахманов В.Х., Давлетбердин И.И., 2024

## **СИСТЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ**

Давлетшин Т.Ю., Абдрахманов В.Х.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В современном производстве обеспечение безопасности труда является ключевым фактором успешной деятельности предприятия. Предлагаемая система отслеживания безопасности рабочей среды представляет собой инновационное решение, направленное на предотвращение несчастных случаев, снижение профессиональных рисков и создание комфортных условий труда [1].

Я предлагаю создать устройство с использованием LoRaWan работающий в двух разных режимах. В спящем режиме устройство будет периодически просыпаться и посылать данные, где будут приниматься решения об уведомлении о изменениях рабочей среды [2].

Преимущества предлагаемой системы: комплексный подход: охватывает физические, химические, биологические и психосоциальные факторы рабочей среды; высокая точность: использование современных датчиков обеспечивает точные измерения различных параметров; гибкость и масштабируемость: система легко адаптируется под различные рабочие условия и может быть расширена при необходимости; облачная интеграция: использование платформы Rightech IoT Cloud позволяет эффективно обрабатывать и анализировать данные в реальном времени [3].

Предлагаемая система мониторинга безопасности рабочей среды представляет собой инновационное решение, способное значительно повысить уровень безопасности и комфорта на рабочих местах. Интеграция современных технологий и комплексный подход к оценке условий труда делают эту систему эффективным инструментом для улучшения производительности и благополучия работников [4].

### **Литература**

1. Andriianova A.N., Latypova L.R., Mustafin A.G., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. // Sustainable Energy and Fuels, 2022, v. 6, № 14, pp. 3435-3445.
2. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.Kh., Safargalin I.N. // Journal of Physics: Conference Series, «International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021», 2021, s. 012109.
3. Rightech IoT Cloud. Access mode: <https://rightech.io/>
4. Lachinov A.N., Rakhmееv R.G., Zhdanov É.R., Salikhov R.B., Antipin V.A. // Physics of the Solid State, 2010, v. 52, № 1, pp. 195-200.

## **ОРГАНИЧЕСКИЕ ФОТОРЕЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Ильясов Д.Р., Салихов Т.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Тонкоплёночные органические фоторезисторы — это устройства, основанные на органических полупроводниковых материалах, которые демонстрируют чувствительность к свету и применяются для преобразования фотонного сигнала в электрический. Данные устройства состоят из нескольких слоев, один из которых играет роль активного полупроводникового материала, обладающего фоточувствительностью [1-3].

Основные компоненты тонкоплёночных органических резисторов:

1. Активный слой, состоящий из органических полупроводников, таких как производные полифениленвинилена (PPV), фталоцианина, полианилина или малые молекулы типа РЗНТ. Эти материалы обладают способностью поглощать фотоны в видимом или ближнем инфракрасном диапазоне, что приводит к генерации электронно-дырочных пар.

2. Электроды, которые могут быть выполнены из проводящих материалов, таких как золото, серебро или прозрачные оксиды (например, оксид индия и олова (ИТО)), обеспечивают контакт с активным слоем и собирают генерируемые носители заряда (электроны и дырки).

3. Изоляционные или подложечные слои, которые поддерживают механическую стабильность устройства и могут способствовать эффективной работе ТОФ за счет улучшения переноса заряда.

К преимуществам тонкоплёночных органических фоторезисторов относят гибкость, низкую стоимость производства, возможность работы на больших площадях и чувствительность к различным спектральным диапазонам, что делает их перспективными для применения в таких областях, как гибкая электроника, сенсоры и солнечные элементы. В данной работе были получены 8 образцов плёнок, также был проведён анализ АСМ изображений, взятых с помощью программы Наноскан 3D, вследствие чего были выведены значения шероховатости поверхности образцов. Для создания фоторезисторов применяли подложки из стекла с предоставленной плёнкой оксида индия-олова. Плёнка производных полианилина была создана поверх слоя ИТО методом центрифугирования. После нагрева в печи вакуумным термическим напылением нанесли алюминиевый контакт. Структура фоторезистора показана на рис. 1а. Изучили кинетику фотоотклика тонкоплёночных структур на рис 1б. Для этого регистрировались изменения фотопроводимости при воздействии последовательности прямоугольных световых импульсов длительностью

5, 10 и 5 секунд. Согласно полученным данным, время нарастания и спада фототока не превышает 1 секунды. Более короткие времена отклика наблюдаются для структур, полученных при повышенных скоростях вращения в процессе центрифугирования.

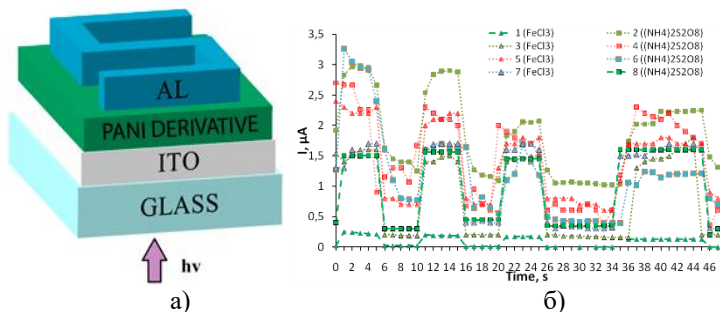


Рис. 1. а) Структура фоторезистора с плёнкой изучаемой производной анилина. б) Зависимость тока от времени облучения при напряжении 10 вольт и расстоянии от выхода излучения из оптоволоконного кабеля до образца 10 мм

Анализ вольтамперных характеристик, а также измерения среднеквадратичной шероховатости поверхности образцов показали, что фототок напрямую зависит от уровня шероховатости: с уменьшением шероховатости происходит увеличение фотопроводимости образцов. Полученные результаты являются ценным вкладом в оптимизацию производственных процессов и разработку более эффективных полимерных фотоэлектрических устройств.

Примечательно, что все измерения проводились в условиях открытой атмосферы, что даёт исследуемым фоторезистивным структурам конкурентное преимущество перед большинством аналогов, которые требуют проведения экспериментов в инертной среде или при использовании сухого азота.

### Литература

1. Andriianova A.N., Latypova L.R., Mustafin A.G., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. // Sustainable Energy and Fuels, 2022, v. 6., № 14, pp. 3435-3445. 2734.
2. Lachinov A.N., Rakhmееv R.G., Zhdanov É.R., Salikhov R.B., Antipin V.A. // Physics of the Solid State. 2010. T. 52. № 1. – С. 195–200.
3. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.Kh., Safargalin I.N. // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Сер. "International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021" 2021. – С. 012109.

© Ильясов Д.А., Салихов. Т.Р., 2024

## ФОТОРЕЗИСТОРЫ И ФОТОТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ НОВОГО ПОЛИИНДОЛА – ПОЛИ(2ЭТИЛ-3-МЕТИЛИНДОЛА)

Салихов Р.Б., Иванов В.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Полииндолы обладают высокой термической и химической стабильностью, а также электропроводящими и фотолюминесцентными свойствами, что делает их перспективными материалами для органической электроники. МРІn был синтезирован путем циклизации производного полианилина, и его свойства были исследованы с использованием различных методов [1-3]. Для создания фоторезисторов и фототранзисторов на основе нового производного полииндола, поли(2-этил-3-метилиндола) (МРІn), применяется метод центрифугирования. В этом процессе тонкие пленки МРІn наносятся на стеклянные подложки, покрытые проводящим слоем оксида индия и олова (ІТО). Структура подобных фоторезисторов и фототранзисторов приведена в рисунке 1.

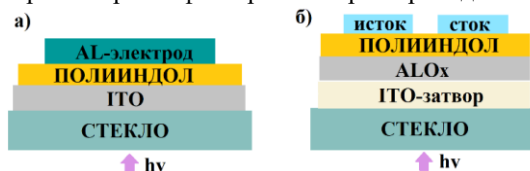


Рис. 1. Структура (а) фоторезистора и (б) фототранзистора

Фоторезисторы на основе МРІn значительно повышают фототок под воздействием ультрафиолета благодаря генерации электронно-дырочных пар. Фототранзисторы из этих пленок отличаются высокой квантовой эффективностью и быстрым фотооткликом, что делает их перспективными для оптоэлектроники. Разработка фоточувствительных устройств на основе МРІn открывает возможности для создания надежных и эффективных компонентов органической электроники.

### Литература

1. Salikhov R.B., Mustafin A.G., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Andriianova A.N., Latypova L.R., Sharafullin I.F. // *Materials* v. 15(1), p. 228.
2. Andriianova A.N., Latypova L.R., Mustafin A.G., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. // *Sustainable Energy and Fuels*, 2022. v. 6(14), pp. 3435–3445.
3. Lachinov A.N., Rakhmееv R.G., Zhdanov E.R., Salikhov R.B., Antipin V.A. // *Physics of the Solid State*. 2010. Т. 52. № 1. – С. 195–200.

УДК 663.19

## ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN

Кушбоков Н.А., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В наше время эффективное управление водными ресурсами в сельском хозяйстве становится критически важным в свете глобальных изменений климата и увеличивающегося дефицита воды в аграрном секторе. Для повышения продуктивности и устойчивости сельского хозяйства необходимо внедрение инновационных технологий. Я разработал автоматизированное устройство для эффективного управления водными ресурсами в аграрной сфере с использованием технологии LoRaWAN. Эта технология обеспечивает надежную беспроводную передачу данных на большие расстояния при минимальном энергопотреблении и высокой устойчивости.

Моим текущим проектом является разработка автоматизированного устройства для эффективного управления водными ресурсами в аграрной сфере с использованием технологии LoRaWAN

В настоящее время я создал и протестировал макетный образец контроля запасов воды [1-3] в сельском хозяйстве.

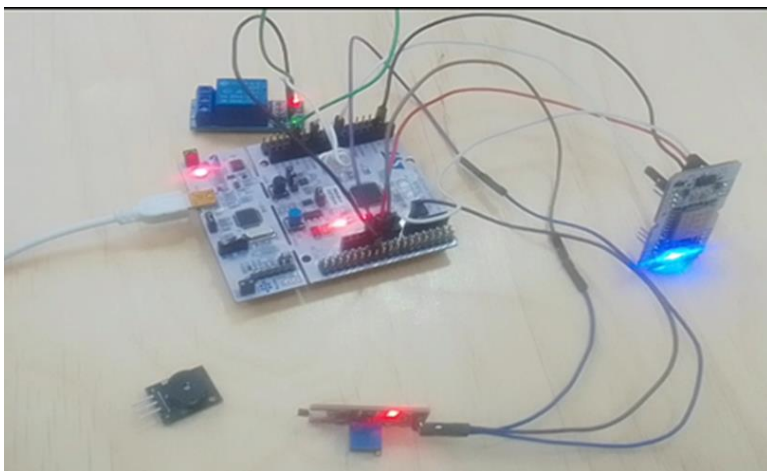


Рис. 1. Структурная схема макета устройства

Сравнив мое устройство с аналогами, я убедился в его преимуществах, таких как долгий срок службы батареи, минимальные эксплуатационные затраты и высокая мобильность. Важным аспектом является также

возможность передачи данных в облачное хранилище Rightech IoT Cloud, что обеспечивает владельцам теплицы оперативный доступ к информации о водных ресурсах через телеграм-бот.

Информация о запасах воды крепится к магниту с помощью механических устройств. Здесь автоматическое открытие или закрытие крана зависит от магнитного датчика Холла. Устройство работает следующим образом:

Если количество запаса воды уменьшится, магнит (перемещается в соответствии с изменением количества запаса воды) отойдет от магнитного датчика Холла и кран откроется автоматически.

Если запаса воды достаточно, магнит (перемещается в зависимости от изменения количества запаса воды) приблизится к магнитному датчику Холла и кран автоматически закроется.

Одновременно эта информация также отправляется владельцу теплицы. В этом случае все данные передаются телеграм-боту через Wi-Fi, подключенный к устройству.

Информация о водоснабжении поступает постоянно. Эти данные поступают каждые 10 секунд.

Таким образом, разработанное мной устройство представляет собой инновационное и эффективное решение для управления водными ресурсами в сельском хозяйстве, а технология LoRaWAN придает ему преимущества в сравнении с аналогами [1-5].

### **Литература**

1. Салихов Р.Б., Абдрахманов В.К., Сафаргаллин И.Н. Интернет вещей (IoT) Охранные сигнализации на ESP32-CAM //Физический журнал: Серия конференций. – Издательство ИОП, 2021. – Т 2096. – Нет. 1. – С 012109.
2. Абдрахманов В.К., Салихов Р.Б., Зиннатулина А.А. – IEEE, 2021. – С. 234–238.
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2096. – No. 1. – С. 012098.
4. Учёт расхода водных ресурсов (iotvega.com): Режим доступа: [https://iotvega.com/turnkey\\_solutions/all/agrobelogorie](https://iotvega.com/turnkey_solutions/all/agrobelogorie)
5. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/4>. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>

© Кушбоков Н.А., Абдрахманов В.Х, Салихов Р.Б., 2024

## РАЗРАБОТКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Композитные сенсоры на основе производных хитозана успешно применяются для распознавания и определения энантимеров триптофана, тирозина, напроксена и пропранолола в моче и плазме крови человека, а также в таблетированных формах лекарств без предварительного введения активного вещества.

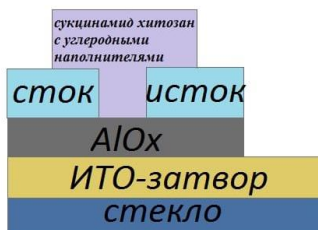


Рис. 1. Конструкция экспериментального полевого транзистора

Образцы полевых транзисторов (рис. 1) были изготовлены из композитов на основе SCTS (графеновые оксиды, композитные полимеры, углеродные чернила и одностенные углеродные нанотрубки). Они размещены на стеклянной подложке с слоями индий-оксидного олова (ITO) для затвора. Подложки прошли отжиг при 350°C перед нанесением диэлектрических пленок оксида алюминия (AlOx) толщиной 300 нм, полученных центрифугированием. На диэлектрик были установлены два алюминиевых электрода (сток и источник) толщиной 500 нм. Полупроводниковый слой был нанесен в зазоре между контактами, который составил 50 микрон, а длина – 2 мм. Для измерения вольтамперных характеристик использовались источник питания Mastech HY3005D-2 и мультиметр Tektronix DMM-4020.

### Литература

1. Mustafin A.G., Latypova L.R., Andriianova A.N., Salikhov S.M., Sattarova A.F., Abdrakhmanov I.B., Mullagaliev I.N., Salikhov R.B. // *Macromolecules*, 2020, v. 53(18), pp. 8050-8059. 31.
2. Salikhov R.B., Rakhmееv R.G., Lachinov A.N., Kornilov V.M. // *Technical Physics.*, 2009, v. 54(4), pp. 575-579.



## ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ СУКЦИНАМИДА ХИТОЗАНА

Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Исследуются тонкопленочные структуры, основанные на сукцинамиде хитозана, с использованием различных наполнителей, таких как оксид графена, однослойные углеродные нанотрубки и углеродные адсорбенты. Для проведения этих исследований применялись методы циклической вольтамперометрии, электрохимической импедансной спектроскопии и атомно-силовой микроскопии [1-2].

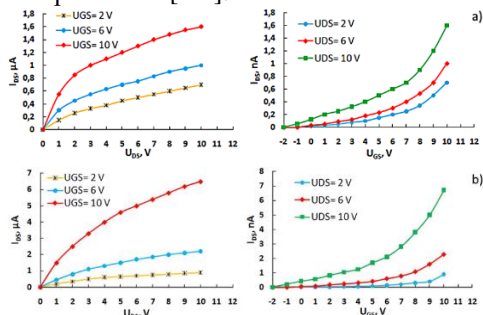


Рис. 1. Выходные и передаточные характеристики полевого транзистора с активным слоем: а) SCTS б) SCTS-GO

Вольтамперные характеристики (см. рис. 1) полевых транзисторов были получены с помощью схемы измерения с общим источником в открытом воздухе при комнатной температуре. Выходной ток изменяется при положительном смещении на затворе, что свидетельствует о наличии электронного типа проводимости в исследуемых нанокompозитных пленках. Важно отметить, что пленки, изготовленные на основе SCTS (сукцинамидный хитозан) без каких-либо добавок, демонстрируют наименьшую подвижность носителей заряда по сравнению с другими образцами.

### Литература

1. Salikhov R.B., Lachinov A.N., Rakhmeyev R.G. // Journal of Applied Physics, 2007. v.101(5), pp. 706.
2. Salikhov R.B., Lachinov A.N., Rakhmeyev R.G. // Molecular Crystals and Liquid Crystals, 2007, v. 467(1), pp. 85–92.

УДК 517.9, 519.633

## БЕЗПРОВОДНОЕ ОДНОПЛАТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГАЗОВ NH<sub>3</sub>

Сафаргалин И.Н., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., Остальцова А.Д.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Новейшие технологии, такие как химическая инженерия, машинное обучение, компьютерные науки, Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект и коммуникационные технологии, улучшают системы обнаружения. С одной стороны, они открывают путь к созданию компактных, легких и интеллектуальных систем. С другой стороны, они способствуют производству устройств, которые более экологичны, потребляют меньше энергии, более стабильны и менее дороги. Кроме того, эти новые технологии способствуют созданию недорогих методов экологического мониторинга, снижают стоимость датчика газа [1-2].

Устройство сигнализации превышения уровня NH<sub>3</sub> (рис.1) состоит из чувствительного элемента, который сделан из пленки хитозан + Ag, приёмопередатчика LoRaWAN и STM32Nucleo. Показания датчика передаются в облачный сервис Rightech и там отображаются в реальном времени в виде графика. В случае превышения уровня газа, срабатывает датчик, и телеграмм бот сразу уведомляет об этом.

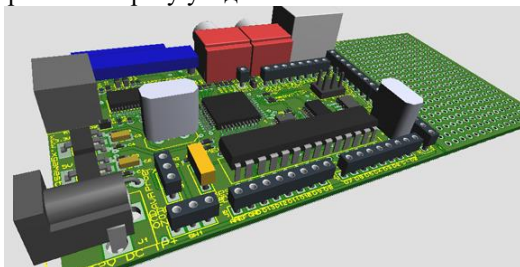


Рис. 1. 3D изображение печатной платы

Устройство может использоваться как в бытовых условиях, так и в промышленных (промышленных цехах, складах, и в любой сфере).

### Литература

1. Andriianova A.N., Latypova L.R., Mustafin A.G., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. // Sustainable Energy and Fuels. 2022. Т. 6. № 14. – С. 3435–3445.
2. Lachinov A.N., Rakhmееv R.G., Zhdanov É.R., Salikhov R.B., Antipin V.A. // Physics of the Solid State. 2010. Т. 52. № 1. – С. 195–200.

© Сафаргалин И.Н., Абдрахманов В.Х.,  
Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., 2024

УДК 681.518.3

## **СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В ПОМЕЩЕНИЕ НА БАЗЕ ИОТ И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RFID**

Сагидуллина А.Р., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящее время популярность продуктов умного устройств контроля доступа постоянно растет [1-4]. При увеличении разнообразия возможных опасностей, важно обеспечить безопасность на различных объектах – от школ и офисов до больших бизнес-центров и предприятий. Одной из задач является разработка программно-аппаратного комплекса для реализации системы контроля доступа в помещение с использованием телеграмм-бота.

Мы предлагаем бюджетную версию, более удобную для всех пользователей. На основе идеи была реализована базовая конструкция с помощью программируемого модуля Nucleo F401RE. Логика была разработана в облачном сервисе Rightech [4]. Идея проекта заключается в создании устройства контроля доступа, которое открывает доступ в помещение и отправляет оповещения телеграмм-боту.

Предлагаемая система более доступное и простое в использовании решение для отслеживания сохранности имущества. Пользователям будет удобно получать уведомления от телеграмм-бота при любом воздействии на датчик, что позволит им быть в курсе происходящего. Для эффективной работы проекта необходимо наличие Wi-Fi сети в зоне эксплуатации.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания (приказ MN-8/1356 от 09/20/2021).*

### **Литература**

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. // International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021, pp. 229–233.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021, v. 2096(1) pp. 012109.
3. Yumalin T.T., Salikhov R.B., Salikhov T.R. // Hydraulic and Civil Engineering Technology VIII. Proceedings of the 8th International Technical Conference on Frontiers of HCET0, 2023. pp. 1118–1123.
4. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>

© Сагидуллина А.Р., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., 2024

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» ДЛЯ РАЗВИТИЯ УМНОГО ГОРОДА**

Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Янтураев Д.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Изучая и анализируя теоретические источники, мы пришли к выводу, что применение технологий «Интернета вещей» открывает огромные возможности для улучшения качества жизни людей и оптимизации всех аспектов городской жизни. В соответствии с целью исследования технологий «Интернета вещей» для применения в Умном городе, поставленные задачи были успешно решены. Мы подробно рассмотрели современные технологии «Интернета вещей», с особым вниманием к протоколу LoRaWAN, который с 2017 года активно внедряется в Российской Федерации в рамках системы энергоэффективной сети LPWAN на базе технологий "LoRa". Эта система охватывает как частные, так и многоквартирные дома, а также городскую инфраструктуру в таких городах, как Москва, Казань и Уфа. Таким образом, для нашей страны этот вопрос актуален. Архитектура сети обеспечивает оптимальный баланс между увеличением срока службы батарей IoT-устройств и дальностью связи. Протокол работает в нелицензируемом диапазоне, что делает его уникальным с точки зрения стоимости и скорости внедрения. Мы также изучили опыт внедрения данного протокола в Уфе, его преимущества и проблемы. Оценили возможность применения технологии в крупных городах. Проведены расчеты эффективности LoRa, включая распространение радиоволн, чувствительность приемника, энергетический потенциал линии связи и емкость сети LoRa. Эти расчеты подтвердили преимущества данной технологии и обосновали целесообразность использования протокола LoRaWAN в нашей стране. Мы пришли к следующим выводам: для быстрого внедрения новых технологий необходимо увеличить объем инвестиций. Экономическая эффективность должна соответствовать результативности и скорости внедрения [1-3].

### **Литература**

1. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.Kh., Safargalin I.N. // «International Conference on Automatics and Energy», ICAE, 2021, pp. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N.// Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2024, v. 2096(1), pp. 012109.
3. Andriianova A.N., Latypova L.R., Mustafin A.G., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. // Sustainable Energy and Fuels, 2022, v. 6(14), pp. 3435–3445.

**УПРАВЛЕНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТЬЮ  
ПОЛИ-2-(1-МЕТИЛБУТ-2-ЕН-1-ИЛ)АНИЛИНА ПОСРЕДСТВОМ  
ЛЕГИРОВАНИЯ И КОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЙ  
ОКИСЛЕНИЯ**

Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Исследовались оптоэлектронные свойства нового полимера, поли-2-(1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина, с основным акцентом на его фотопроводимости. Тонкие пленки этого полимера, синтезированные с использованием различных легирующих и окисляющих агентов, были тщательно проанализированы на предмет их поглощения. Фотопроводимость измерялась под ультрафиолетовым излучением на длине волны 350 нм. Исследование включает создание и тщательный анализ образцов фоторезисторов, оценку важных параметров, таких как светочувствительность и общая чувствительность. Особое внимание уделяется пониманию поглощения полимера, а также его фотопроводящей реакции на УФ-свет.

Исследование показывает, что фотопроводимость пленок поли-2-(1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина может существенно зависеть от выбора легирующих агентов и условий синтеза. Этот полимер демонстрирует заметное увеличение фотопроводимости под воздействием УФ-излучения, что объясняется образованием пар электрон-дырка. В целом, наши результаты показывают, что поли-2-(1-метилбут-2-ен-1-ил)анилин обладает многообещающими оптоэлектронными свойствами, что делает его сильным кандидатом для будущих применений в оптоэлектронных устройствах, таких как датчики и фоторезисторы [1-2]. Исследование подчеркивает потенциал этого нового полимера, чтобы внести значительный вклад в достижения в области оптоэлектроники.

Полимеры с высоким содержанием анилина демонстрируют пик излучения около 345 нм, в то время как полимеры с более высоким содержанием СРА демонстрируют красный сдвиг в своих спектрах ФЛ с пиком излучения около 508 нм. Это согласуется с более низкой долей хинонименных звеньев в сополимерах, которые содержат большее количество СРА.

Темновой ток относится к внутреннему электрическому току в материале при отсутствии света, на который влияют различные факторы, такие как состав материала и температура. Фототок, с другой стороны, является результатом фотовозбуждения, вызванного светом, что приводит к эмиссии электронов. Эти токи дают ключевое представление о фоточувствительности материала и общем фотоэлектрическом поведении.

Исследование показало, что полимеры S8 и S9 показали самую высокую фотопроводимость, с увеличением тока до 35 000 раз при облучении 3,5 Вт/см<sup>2</sup>.

Таблица 1. Зависимость фоточувствительности полимеров от мощности облучения

	Образец	Мощность излучения, Вт/см			
		0.175	0.35	1.05	3.5
Фоточувствительность	P5	550	980	2230	8520
	P6	110	90	150	2990
	P7	200	370	630	3700
	P8	320	630	1080	12000
	P9	170	410	730	1330
	S6	1030	1910	3620	5680
	S7	400	720	1360	4550
	S8	4490	5830	10300	24600
	S9	5260	6790	15090	35700

Спектры поглощения указывают на то, что увеличение содержания СПА в исходном сополимере снижает сопряжение вдоль основной цепи полимера, о чем свидетельствует смещение полос поглощения. Сдвиги в фотолуминесценции также указывают на изменения в структуре сополимера. Измерения фотопроводимости показали, что полимер S9 продемонстрировал самые высокие характеристики, причем анализы как темнового тока, так и фототока указывают на повышенную фоточувствительность в этих материалах на основе полианилина.

### Литература

1. Andriianova A. N., Salikhov R. B., Latypova L. R., Mullagaliev I. N., Salikhov T. R. & Mustafin A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*, 6(14), 3435–3445.
2. Salikhov R. B., Gaskarova A. A., Salikhov T. R., Ostaltsova A. D. & Yumalin, T. T. (2023). Polyaniline Derivatives for Chemical Sensors of Ammonia Vapor. *Chemistry Proceedings*, 14(1), 15.

© Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., 2024

## **АНАЛИЗ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ С ПЕРЕКРЕСТНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ**

Мухаметдинов Ч.Р., Зильберг Р.А., Терес Ю.Б.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Контроль качества минеральных вод является важной задачей, так как данная продукция востребована во всех возрастных группах населения. Для решения данной задачи используется целый комплекс дорогостоящего оборудования, а также высококвалифицированные специалисты. В рамках настоящего исследования предлагается простое, но эффективное решение – вольтамперометрические сенсоры с перекрестной чувствительностью с дальнейшей комплексной обработкой аналитического сигнала с включением элементов искусственного интеллекта.

В основе системы экспрессного контроля качества лежат следующие компоненты: композитные сенсоры на основе стеклоуглеродных электродов, портативный потенциостат/гальваностат для регистрации вольтамперограмм, элементы искусственного интеллекта (МГК, PLS, SIMCA-классификация) позволяющие извлечь полезную информацию из массива вольтамперометрических данных.

Принцип работы предложенной системы: аналитический сигнал, полученный с помощью комплекса сенсоров [1, 2], посредством технологии Bluetooth через аналитический прибор передается компьютеру для дальнейшего анализа с использованием искусственного интеллекта. Полученный «образ» исследуемой минеральной воды может совпадать или не совпадать со стандартом [5-6].

Разработанная методика обладает рядом преимуществ (эксперсность, низкая стоимость, простота изготовления и применения и др.) по сравнению с существующими аналогами, что открывает широкий простор для применения данной технологии.

### **Литература**

1. Zilberg R., Salikhov R., Mullagaliev I., Ostaltsova A., Vakulin I. // *Chimica Techno Acta*, 2024, 11(3), 202411302.
2. R. B. Salikhov, R. A. Zilberg, E. O. Bulysheva [et al.] // *Letters on Materials*, 2023, Vol. 13, No. 2(50), P. 132–137.
3. А. В. Сидельников, Р. А. Зильберг, Г. Ф. Юнусова [и др.] // *Вестник Башкирского университета*, 2008, Т. 13, № 3. – С. 481–482.
4. A. V. Sidel'nikov, R. A. Zil'berg, F. Kh. Kudasheva [et al.] // *Journal of Analytical Chemistry*, 2008, Vol. 63, No. 10, P. 975–981.

УДК 004.94

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ ЁМКОСТИ ВОДОРОДА ЧЕШУЙКИ СКОМКАННОГО ГРАФЕНА С ЧАСТИЦАМИ ЛИТИЯ

Бассареев А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Водород — перспективный источник энергии благодаря высокой энергетической плотности и экологичности. Основная проблема — его хранение из-за низкой плотности в газообразном состоянии [1]. Нанотехнологии, такие как углеродные нанотрубки и металлоорганические каркасы, могут улучшить хранение водорода [2]. Легирование графена литием также может повысить водород-сорбционную способность материалов. Исследования показали, что модификация графена литием улучшает его водород-сорбционные свойства, что важно для развития водородной энергетики [3].

В данном исследовании были проанализированы процессы адсорбции водорода на скомканном графене, модифицированном литием, с использованием метода молекулярной динамики. Для моделирования использовали чешуйку скомканного графена, полученную из углеродной нанотрубки с диаметром 2 нм и длиной 2,5 нм, содержащей 286 атомов углерода после удаления двух рядов атомов (серые атомы на Рис.1). Атомы лития (16 и 64) размещались внутри чешуйки, которая помещалась в среду водорода (3 600 атомов) (атомы лития представлены зеленым цветом, атомы водорода — синим на рис. 1).

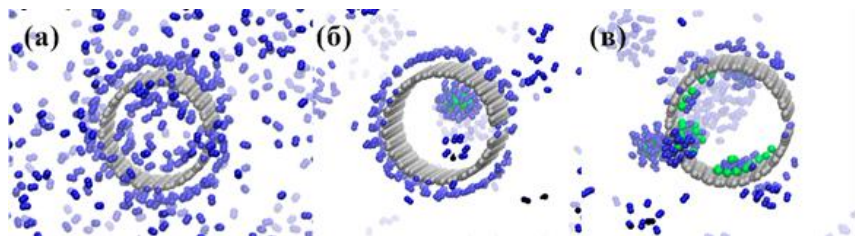


Рис. 1. Исходная структура чешуйки скомканного графена без атомов лития (а) и легированного литием: 16 (б) и 64 (в) атома Li. Атомы углерода, водорода и лития показаны серым, синим и зеленым цветом соответственно

Метод молекулярной динамики с пакетом LAMMPS использовался для моделирования адсорбции водорода [4, 5], с потенциалами AIREBO и Морзе для описания межатомных взаимодействий [6, 7, 8]. Условия моделирования регулировались термостатом Носе-Гувера, а визуализация проводилась с



помощью Visual Molecular Dynamics. Анализ водород-сорбционной емкости выполнялся собственным программным кодом [9, 10].

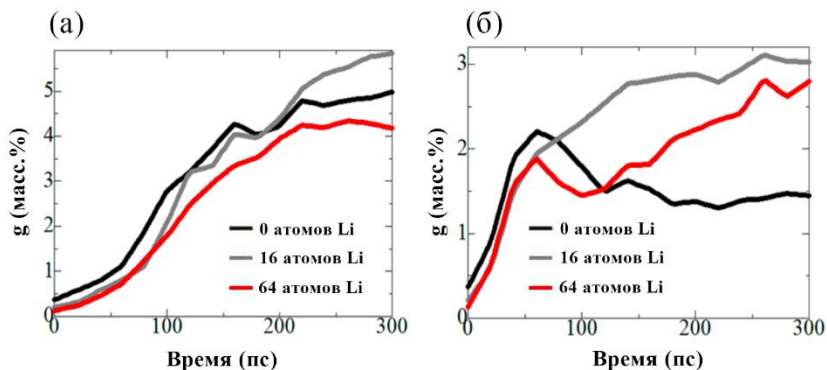


Рис. 2. Зависимость гравиметрической плотности чешуек скомканного графена легированного атомами лития и без них от времени выдержки при 77 (а) и 300 К (б)

Процесс насыщения водородом скомканного графена с литием исследовали при 77 и 300 К на протяжении 300 пс. На графиках, представленных на Рис. 2 (а) и (б), показано изменение гравиметрической плотности в зависимости от времени насыщения для чешуек скомканного графена с различным содержанием лития. Видно, что максимальная гравиметрическая плотность достигалась в чешуйке с 16 атомами лития, независимо от температуры. При 77 К плотность составила 6 масс.%, а при 300 К — 3 масс.%. При 77 К плотность на 20% выше, чем у образца без лития, а при 300 К — в два раза выше. Повышение температуры до 300 К разрушает слабые связи между водородом и углеродом. Увеличение количества лития до 64 атомов снижает плотность из-за дисперсии частиц лития. Продолжение исследований в этой области может привести к созданию новых, более эффективных материалов для хранения водорода.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания молодежной лаборатории ИПСМ РАН.*

### Литература

1. Kang S., Lee S. Y. & Yoo S. H. (2019). Hydrogen storage for fuel cell vehicles. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 72, 1–11.
2. Jawhari Ahmed Hussain. *Novel Nanomaterials for Hydrogen Production and Storage: Evaluating the Futurity of Graphene/Graphene*

Composites in Hydrogen Energy. Department of Chemistry, Faculty of Science, Jazan University, P.O. Box 2097, Jazan 45142, Saudi Arabia.

3. Xia, Xiaodong et al. “Hydrogen Storage Properties of Li-Decorated Graphene: First-Principles Calculations.” ACS Omega vol. 3,1 (2018): 302–309. doi:10.1021/acsomega.7b01506.
4. S. Plimpton // Journal of Computational Physics. 1995. 117 (1). P. 1–19.
5. A. P. Thompson, et. al. // Computer Physics Communications. 2022. 271. P. 108171.
6. S. J. Stuart, et. al. // J. Chem. Phys. 2000. 112 (14). P. 6472–6486
7. A. Galashev, et. al. // Computation. 2019. 7. 60.
8. W.-C. Qiang, et. al. // Physics Letters A. 2007. 363. P. 169–176.
9. N. G. Apkadirova, et. al. // Letters on Materials. 2022. 12 (4s). P. 445–450.
10. N. G. Apkadirova, et. al. // Materials Physics and Mechanics. 2021. 47. P. 817–822.

© Баккареев А.А., 2024

УДК 543.552.054.1

## ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР СВРЕ/Ni(II)-CL-(S) ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ НАПРОКСЕНА

Сычева М.А., Зильберг Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Среди всех нестероидных противовоспалительных препаратов на фармацевтическом рынке можно выделить достаточно известный в настоящее время препарат напроксен (Nap). Его положительный терапевтический эффект наблюдается в широком спектре заболеваний – от сильных болей до острой подагры [1]. Nap существует в виде 2х оптически изомерных формах S- и R-энантиомеры, причем лекарственные препараты содержат только S-Nap, так как R-Nap гепатотоксичен. Именно поэтому необходим контроль энантиочистоты данного лекарства, ведь от степени энантиочистоты зависит терапевтическая активность, а также наличие или отсутствие побочного действия. Для этой цели существует множество различных методов, среди которых все большую популярность набирает вольтамперометрический метод, в частности энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры (ЭВС). Так, в данной работе был разработан ЭВС на основе пастового электрода, в объем которого введен комплекс никеля [2]. Обнаружено, что сенсор СВРЕ/Ni(II)-Cl-(S) селективно распознает энантиомеры Nap, проявляя большую чувствительность к S-Nap. Предложенный сенсор успешно апробирован для определения энантиомеров напроксена в смесях, в биологических жидкостях, в лекарственных формах препаратов. При этом относительное стандартное отклонение в моче колеблется в пределах 2.0–3.9 %, в плазме крови в диапазоне 1.6–4.7%, в лекарственных препаратах не превышает 2.6 %

*Благодарность за предоставленные образцы Институту элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Лаборатории асимметрического катализа.*

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-13-00169, <https://rscf.ru/project/21-13-00169/>.*

### Литература

1. Roddy E., Clarkson K. [et. al]. // Annals of the Rheumatic Diseases, 2020, v. 79(2), pp. 276–284.
2. Зильберг Р. А., Терес Ю. Б., Загитова Л. Р., Жигалова А. А., Ибрагимова А. А. // Вестник Башкирского университета, 2021, т. 26(4). – С. 877–885.

© Сычева М.А., Зильберг Р.А., 2024

## ВОДОРОНАЯ СОРБЦИЯ НА ГРАФЕНОВЫХ ЧЕШУЙКАХ С АТОМАМИ Li

Блохина А.Н.<sup>1</sup>, Крылова К.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

Современные научные исследования активно изучают скомканные графеновые структуры и другие трехмерные материалы на основе графена [1]. Скомканный графен (СГ) – это материал, состоящий из сложенных друг на друга чешуек графена, которые слабо связаны между собой силами Ван-дер-Ваальса. Эта уникальная структура придает СГ большую удельную площадь поверхности и высокую пористость, что делает его превосходным сорбентом с более высокой емкостью по сравнению с другими углеродными материалами [2]. В связи с этим в данной работе с помощью молекулярной динамики с использованием программного пакета LAMMPS изучаются водород-сорбционные свойства чешуек графена, модифицированных атомами лития в различной концентрации, с целью оптимизации их характеристик по водородной сорбции. В работе исследовался процесс наводороживания наночешуйка графена с 1, 5 и 10 атомами Li при 77 и 300 К.

Установлено, что температура оказывает сильное влияние на процесс наводороживания чешуйки СГ. Возникающие тепловые флуктуации при 300К разрушают межатомные связи, что приводит к разводороживанию скомканного графена. Однако, в работе показано, что легирование атомами лития удерживает водород в структуре графена и ведет к росту его гравиметрической плотности.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 20-72-10112-П.*

### Литература

1. Баимова Ю.А., Мулюков Р.Р., Графен, нанотрубки и другие углеродные наноструктуры: монография Баимова Ю. А., Мулюков Р.Р. // М.: РАН, 2018.
2. Krylova K.A., Baimova J.A., Lobzenko I.P., Rudskoy A.I., // Crumpled graphene as a hydrogen storage media: Atomistic simulation, Physica B: Condensed Matter. 2020, 583 P. 412020

© Блохина А.Н., Крылова К.А., 2024

## ФОТОТРАНЗИСТОРЫ С АКТИВНЫМ СЛОЕМ НА ОСНОВЕ ФУЛЛЕРЕНА И ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Муллагалиев И.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Яркими примерами органических микроэлектронных устройств являются органические полевые транзисторы. В последние годы активно исследуется оптоэлектроника, где изучаются органические фототранзисторы [1-2]. Органические материалы перспективны в плане замены неорганических фотодетекторов устройствами на органической основе. Активно создаются и исследуются фоточувствительные органические полевые транзисторы на основе органического объемного гетероперехода с использованием производной фуллерена [3].

В данной работе созданы полевые фототранзисторы и исследованы их вольтамперные характеристики. Активный слой под контактами сток-исток представлял собой пленку из отдельного фуллерена или вариант с гибридом фуллерена и фоточувствительного дитиенилэтена. Толщина пленок менее 140 нм. Рабочие напряжения транзисторов достигают 30 вольт, а длина волны излучения, влияющего на проводимость активного слоя, равна 350 нм. Зафиксирован быстрый отклик фототока на облучение: менее чем за 1 секунду ток увеличивается на три порядка. Рассчитанные подвижности носителей заряда находятся на уровне десятков тысячных  $\text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ , что сравнимо с аналогичными работами. Показана перспективность гибрида фуллерена для фототранзисторов.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания (код научной темы FZWU-2023-0002).*

### Литература

1. Khuzin A.A., Tuktarov A.R., Khalilov L.M., Khuzina L.L., Dzhemilev U.M., Venidiktova O.V., Barachevsky V.A., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Salikhov R.B. Hybrid molecules based on fullerene c60 and dithienylethenes. Synthesis and photochromic properties. Optically controlled organic field-effect transistors // Photochemistry and Photobiology, 2022, v. 98, № 4, pp. 815–822.

2. Tuktarov A.R., Khuzin A.A., Popod'Ko N.R., Dzhemilev U.M., Salikhov R.B., Safargalin I.N., Mullagaliev I.N. Photocontrolled organic field effect transistors based on the fullerene C60 and spiropyran hybrid molecule // RSC Advances, 2019, v. 9, № 13, pp. 7505–7508.

3. Yasin M., Tauqeer T., Karimov K. S., San S. E., Kösemen A., Yerli Y., Tunc A. V. P3HT: PCBM blend based photo organic field effect transistor // Microelectronic engineering, 2014, v. 130, pp. 13–17.

© Муллагалиев И.Н., 2024

УДК 681.518.5

## **БАЗЫ ДАННЫХ, КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ (IOT)**

Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Стремительное развитие технологии Интернета вещей (Internet of Things, IoT) за последние годы коренным образом трансформировало многие отрасли промышленности, в том числе и сферу нефтегазодобывающей отрасли. IoT-системы, оснащенные сетью интеллектуальных датчиков, позволяют осуществлять удаленный мониторинг технологических процессов, геологических объектов и окружающей среды в режиме реального времени. Однако, для эффективной работы IoT-систем необходима надежная инфраструктура хранения, обработки и анализа данных. Ключевую роль в этом играют современные базы данных, которые выступают неотъемлемым компонентом комплексных решений на базе Интернета вещей.

IoT-датчики генерируют огромные потоки информации, которые необходимо аккумулировать в централизованных базах данных. Это позволяет обеспечить надежное хранение и доступность данных для последующего анализа. Накопленные в базах данных IoT-показатели становятся основой для интеллектуального анализа, моделирования и принятия управленческих решений. Современные СУБД обладают развитыми аналитическими возможностями, позволяющими выявлять скрытые закономерности и тенденции. Также эти базы интегрируются с другими корпоративными информационными системами, обеспечивая обмен данными и согласованность решений на различных уровнях управления. IoT-данные, хранящиеся в базах, служат основой для построения наглядных информационных панелей и отчетов, которые помогают лицам, принимающим решения, лучше понимать текущую ситуацию и прогнозировать дальнейшее развитие событий.

Основными требованиями к базам данных в IoT-системах являются:

- Высокая производительность и масштабируемость для обработки больших объемов данных, а также отказоустойчивая работа и возможности резервного копирования,
- Возможность работы с неструктурированными данными и потоковой аналитикой,
- Интеграция с различными IoT-платформами, облачными сервисами и аналитическими инструментами.

Типы баз данных для IoT:

Реляционные базы данных (RDBMS): подходят для хранения структурированных данных, таких как данные от сенсоров. Примеры: MySQL, PostgreSQL.

Нереляционные базы данных (NoSQL): идеально подходят для хранения неструктурированных данных, таких как данные от видеокамер. Примеры: MongoDB, Cassandra, Redis.

Базы данных временных рядов (Time Series DB): специализированы для хранения и обработки данных, изменяющихся во времени. Примеры: InfluxDB, Prometheus.

Базы данных графов (Graph DB): используются для хранения взаимосвязанных данных, например, для отслеживания сетей IoT-устройств. Примеры: Neo4j, OrientDB.

### **Литература**

1. Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х. Устройство для мониторинга уровней загазованности на базе ИОТ. // *Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2022»: тезисы докладов XIII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию образования математического и физического факультетов БашГУ (г. Уфа, 19 – 22 октября 2022 г.)* / отв. ред. Л.А. Габдрахманова. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2022. – 324 с.

© Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х., 2024

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х., Сафаргалин И.Н.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Эффективная эксплуатация нефтегазового месторождения во многом зависит от возможности непрерывного мониторинга и контроля ключевых параметров процессов. Традиционные методы сбора и анализа данных часто оказываются недостаточно оперативными и исчерпывающими. В этой связи применение технологий Интернета вещей (IoT) открывает новые возможности для повышения эффективности и безопасности разработки и эксплуатации месторождений.

Технология Интернета вещей предполагает использование сети взаимосвязанных датчиков и устройств, обеспечивающих сбор, передачу и обработку различных данных в режиме реального времени. В контексте эксплуатации месторождения IoT-решения могут применяться для мониторинга следующих параметров:

1. Дебит, давление, объём, температура, уровень жидкости, механическое состояние оборудования;
2. Состояние трубопроводов: утечки, коррозия;
3. Характеристики пласта: пластовое давление, температура;
4. Экологические параметры: выбросы, утечки, качество воздуха.

Сбор данных осуществляется сетью распределенных IoT-датчиков, интегрированных с системами телеметрии и передающих информацию на центральный сервер для последующего анализа. Использование беспроводных технологий связи, таких как WiFi, Bluetooth, LoRaWAN, обеспечивает гибкость и масштабируемость IoT-инфраструктуры.

Обработка данных с применением методов машинного обучения и искусственного интеллекта позволяет выявлять аномалии, прогнозировать возникновение неисправностей, оптимизировать режимы работы оборудования. Интеграция IoT-решений с другими информационными системами предприятия открывает новые возможности для повышения эффективности принятия управленческих решений.

### **Литература**

1. Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х. Устройство для мониторинга уровней загазованности на базе ИОТ. // Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2022»: тезисы докладов XIII Международной школы-конференции студентов,



аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию образования математического и физического факультетов БашГУ (г. Уфа, 19 – 22 октября 2022 г.) / отв. ред. Л.А. Габдрахманова. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2022. – 324 с.

© Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х., Сафаргалин И.Н., 2024

УДК 681.518.5

## **РОЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

На сегодняшний день цифровая трансформация является ключевым приоритетным направлением развития для нефтегазовой отрасли, поскольку она позволяет повысить эффективность производственных процессов, снизить затраты и усилить безопасность на объектах. Одной из ведущих технологий, способствующих развитию нефтегазовой промышленности в данном направлении, является Интернет вещей (IoT). Интернет вещей представляет собой сеть физических устройств, оснащенных датчиками, программным обеспечением и сетевыми возможностями, которые позволяют им собирать и обмениваться данными. В нефтегазовой отрасли технология IoT находит широкое применение для мониторинга состояния оборудования, оптимизации производственных процессов и повышения безопасности.

IoT-датчики, установленные на буровых установках, трубопроводах, насосах и другом оборудовании, позволяют в режиме реального времени отслеживать параметры работы и выявлять признаки возможных неисправностей. Это позволяет своевременно проводить техническое обслуживание и предотвращать незапланированные простои.

Датчики Интернета вещей могут отслеживать такие показатели, как содержание вредных веществ в воздухе, утечки из трубопроводов и другие критические параметры. Эта информация в сочетании с аналитикой позволяет своевременно выявлять и устранять потенциальные угрозы для здоровья персонала и окружающей среды.

Интеграция данных, собираемых IoT-системами, с аналитическими платформами дает возможность прогнозировать потребность в ресурсах, оптимизировать логистику и повысить общую эффективность производства. Кроме того, IoT-решения способствуют автоматизации рутинных операций, таких как регулировка параметров бурения или закачка реагентов.

Использование IoT-решений для мониторинга оборудования, оптимизации производственных процессов и повышения безопасности позволяет нефтегазовым компаниям повысить эффективность, снизить затраты и минимизировать риски. По мере дальнейшего развития технологий Интернета вещей можно ожидать, что их роль в цифровой трансформации отрасли будет только возрастать.

### Литература

1. Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х. Устройство для мониторинга уровней загазованности на базе ИОТ. // Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2022»: тезисы докладов XIII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию образования математического и физического факультетов БашГУ (г. Уфа, 19 – 22 октября 2022 г.) / отв. ред. Л.А. Габдрахманова. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2022. – 324 с.

© Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х., 2024

**ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ ZnS В НАНОПОРАХ  
ДИОКСИДА КРЕМНИЯ**

Акылбекова А.Д., Байзакова А.Т., Мухатаева А.Ж.  
ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Современный прогресс науки и техники основан на использовании электроники, компьютерных технологий, биомедицинских технологий и нанотехнологий. Наноструктура ZnS обладает уникальными свойствами, которые делают ее важным материалом для различных технологических и промышленных секторов [1].

Сульфид цинка (ZnS) – один из первых открытых полупроводников. Еще в 1866 г. была экспериментально обнаружена люминесценция сульфида цинка, использованная сначала для научных исследований, а затем стала использоваться и в практических целях [2]. Наноструктура ZnS обладает полупроводниковыми свойствами, что позволяет использовать ее в солнечных элементах, фотоэлектрических элементах и других устройствах, которым необходимо преобразовывать энергию света в электричество. ZnS имеет две общие фазы: кубический цинковый сплав (ZB) и гексагональный вюрцит (WZ). Ширина запрещенной зоны WZ-фазы составляет 3.77 эВ [3], тогда как ширина запрещенной зоны структуры ZB составляет 3.72 эВ [4]. Методика извлечения темплейтного трека SiO<sub>2</sub>/Si описана в [5, 6].

a-SiO<sub>2</sub> /Si-n (аморфный SiO<sub>2</sub> на подложке типа Si-n) получен облучением ионами Хе с энергией 177 МэВ на ускорителе ДЦ-60 до флюенса 10<sup>8</sup> см<sup>-2</sup> (Астана, Казахстан). Перед химической обработкой нанопор поверхность образцов очищалась в ультразвуковом очистителе в течение 10 минут. Для электрохимического осаждения (ЭХО) требовались нанопоры разного диаметра.

ЭХО сульфида цинка на трековый шаблон a-SiO<sub>2</sub>/Si-n проводили в потенциостатическом режиме при напряжении 1.75 В и pH=2 при комнатной температуре (20°C). Для напыления изготавливают конструкцию, состоящую из деревянной подставки, медных электродов, ячейки (коробки), раствора и резиновой ленты. Электрохимическое осаждение сульфида цинка в темплейте a-SiO<sub>2</sub>/Si-n проводили в электролитах ZnCl<sub>2</sub> - 1.72 г/л, SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> – 1.53 г/л. Время электрохимического осаждения – 10 минут. После осаждения образцы были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-7500F.

Рентгеноструктурный анализ проводили на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE ECO с использованием рентгеновской трубки с медным анодом в диапазоне углов 2θ под углом 20°-80° с шагом

0,01°. Определение фаз и исследование кристаллической структуры проводили с использованием программного обеспечения BrukerAXSDIFFRAC.EVA v.4.2 и международной базы данных ICDD PDF-2. Рентгеноструктурные исследования образцов показали образование однофазных нанокристаллов ZnS с кубической кристаллической структурой и группой поля F-43m (216).

Согласно полученным данным, исследуемый образец представляет собой кристаллическую структуру с кубической фазой (сфалерит), пространственная группа F-43m (216). Образец характеризуется плоскостями (111), (200), (220), (331) и (311) соответственно, соответствующими кубической фазе ZnS. На основании полученных рентгенограмм были определены основные кристаллографические характеристики исследуемого образца.

Таким образом, методом темплейтного синтеза впервые были получены нанокристаллы ZnS и изучены их свойства морфологические и структурные.

*Работа выполнена в рамках реализации научного проекта грантового финансирования молодых ученых по проекту «Жас Галым» на 2022–2024 годы Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан АР13268607 «Особенности формирования полупроводниковых наноструктур в трековом темплэйте SiO<sub>2</sub>/Si».*

### Литература

1. Wang C., Li Q., Hu B. Optoelectronic characterization of ZnS/PS systems // Chinese Optics Letters. – 2009. – Vol. 7, №. 5. – P. 432–434.
2. Sidot M.T; Acad, C. R. Sci. (Paris).1866, 63, 188.
3. Chen H., Shi D., Qi J., Jia J. & Wang B. The stability and electronic properties of wurtzite and zinc-blende ZnS nanowires // Physics Letters A. – 2009. – Vol. 373, №. 3. – P. 371–375.
4. Tran T. K., Park W., Tong W., Kyi M. M., Wagner B. K. & Summers C. J. Photoluminescence properties of ZnS epilayers // Journal of applied physics. – 1997. – Vol. 81, №. 6. – P. 2803–2809.
5. A. Al'zhanova, A. Dauletbekova, F. Komarov, L. Vlasukova, V. Yuvchenko, A. Akilbekov, M. Zdorovets. Peculiarities of latent track etching in SiO<sub>2</sub>/Si structures irradiated with Ar, Kr and Xe ions. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At. 2016, 374, P.121–124.
6. L. Vlasukova, F. Komarov, V. Yuvchenko, L. Baran, O. Milchanin, A. Dauletbekova, A. Alzhanova, A. Akilbekov. Etching of latent tracks in amorphous SiO<sub>2</sub> and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>: Simulation and experiment. Vacuum. 2016, 129, P.137–141.

## ТЕМПЛЕЙТНЫЙ СИНТЕЗ И СТРУКТУРА НАНОКРИСТАЛЛОВ ТЕЛЛУРИДА ЦИНКА

Акылбекова А.Д., Есмахан А.Б., Садуова Н.М.  
ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Теллурид цинка представляет собой полупроводник  $A^{II}B^{VI}$  группы с шириной запрещенной зоны 2.26 эВ, равной комнатной температуре [1].  $ZnTe$  обычно имеет кубическую кристаллическую структуру (сфалерит), но его также можно получить в виде гексагональных кристаллов (с использованием структуры вюрцита). Такие материалы применяются в солнечных элементах [2], фотодетекторах [3], светодиодах [4], оптоэлектронных устройствах [5], высокоэффективных многопереходных солнечных элементах [6], терагерцевых (ТГц) устройствах и электронных устройствах [7]. Все это зависит от структуры кристалла и размера частиц.

В последние несколько десятилетий многие исследователи заинтересовались изучением наночастиц. Это связано с отличием их свойств по сравнению с обычными материалами. Фактически, все типы наночастиц, такие как халькогенид кадмия (Cd), были синтезированы различными методами и обладают размерно-зависимыми свойствами [8].

Некоторые исследователи для синтеза  $ZnTe$  используют различные методы, такие как электроосаждение [9], химический синтез [4], термическое испарение [10], микроволновое излучение, метод сублимации [11], распылительный пиролиз [12], микроволновую плазму [13], электропроводность и другие.

В данной работе представлены результаты темплетного синтеза (химического осаждения) нанокристаллов  $ZnTe$  на трековую структуру. Структура  $SiO_2/Si$  была облучена ионами Хе с энергией 177 МэВ при флюенсов  $10^8$  ионов/ $cm^2$  с последующим химическим травлением в 4% водном растворе HF, состав растворителя:  $m(Pd) = 0,025$  г. Химическое осаждение сульфида цинка ( $ZnS$ ) проводили при  $t = 25^\circ C$ , а время осаждение – 10 минут.

Для осаждения использовался следующий состав:  $ZnCl_2 - 0,36$  г/л,  $TeO_2 - 0,4$  г/л,  $HCl - 3$  мл. Время осаждения составляло 30, 60 и 90 минут.

После химического осаждения морфологию поверхности и поперечное сечение исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JSM-7500F. Исследования с помощью СЭМ показали, что большая часть пор образца была заполнена, и что метод химического осаждения отлично подходит для выращивания материалов с контролируемой морфологией и высоким порядком.

Анализ СЭМ-изображений показал, что среднее заполнение нанопор составило 90%. Были получены диаметры нанопор от 363 до 368 нм.

Установлено, что заполнение нанопор зависит от времени осаждения. Рентгеноструктурный анализ (рентгеновский дифрактометр D8 ADVANCE ECO) показал формирование нанокристаллов ZnTe с гексагональной кристаллической структурой и пространственной группой 152: P3121.

Таким образом, полученные новые результаты позволяют создавать различные типы полупроводниковых устройств на наноуровне.

*Работа выполнена в рамках реализации научного проекта грантового финансирования молодых ученых по проекту «Жас Галым» на 2022–2024 годы Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан АР13268607 «Особенности формирования полупроводниковых наноструктур в трековом темплэйте SiO<sub>2</sub>/Si».*

### Литература

1. Ersching J., Hernandez M.I., Cezarotto F.S., Ferreira J.D., Martins A. B., Switzer W.B., Xiang Z., Ertl H.C., Zanetti C.R., Pinto A.R. Neutralizing antibodies to human and simian adenoviruses in humans and New-World monkeys // National Library of Medicine, 2010. V. 34. – P 42–46.
2. Christopher L.K. ZnTe Semiconductor-Polymer Gel Compositated Electrolyte for Conversion of Solar Energy // Energy Conversion and Storage: Synthesis, Mechanism, and Applications of Nanomaterials, 2014. V.16. – P 10–13.
3. Luguterah A. Article citations // Scintific Research Publishing, 2009. P. V. 12. 23–25.
4. Christopher L. K., ZnTe Semiconductor-Polymer Gel Compositated Electrolyte for Conversion of Solar Energy // Energy Conversion and Storage: Synthesis, Mechanism, Applications of Nanomaterials, 2014. V. 14. – P. 12–16.
5. Liu J.M., Song R.M. Reducing spread in climate model projections of a September ice-free Arctic // Nasa, 2013. V. 13. – P 15–17.
6. Maryam S. Association with pain and psychological factors // Taylar group, 2014.V. 13. – P 13–15.
7. Shaygan M., Böger A. Neuropsychiatric Disease and Treatment, Neuropathic sensory symptoms: Association with pain and psychological factors // APA PhysicNet, 2010. V. P.16. 96–98.
8. Mohammed Y.I., Kurogi K. Identification and characterization of zebrafish // Aguat Toxicol, 2016. V. P.17. 19–21.
9. Lincheneau C. Amelia S. Synthesis and properties of ZnTe and ZnTe/ZnS core//shell semiconductor nanocrystals // Journal of Materials Chemistry, 2016. V. 17. P. 95–98.

10. Orii H, Watanabe K. Bone morphogenetic protein is required for dorso-ventral patterning in the planarian *Dugesia japonica* // *Dev Growth Differ*, 2014. V. 49. P. 345–349.
11. Gosain, A.K., Mani A., Dwivedi C. Hydrological Modelling-Literature Review. // *Advances in Fluid Mechanics*, 2015. V. 339. P. 63–70.
12. Xia M. An index of substitution saturation and its application // *Molecular Phylogenetics and Evolution* 2012, V. 54. P. 64–68.
13. Maijandee S., Kreasuwun J., Komonjinda S., Promnopas W. Effects of climate change on future extreme rainfall indices over Thailand // *ResearchGate*, 2015. V. 56. P. 63–68.

© Акылбекова А.Д., Есмахан А.Б., Садуова Н.М., 2024



## СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА НАНОСИСТЕМ»

УДК 544.171.27

### ВЕРОЯТНЫЙ МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА С ПАРАМИ СПИРТОВ

Таюпов М.М.<sup>1</sup>, Давлятгареев Х.И.<sup>2</sup>, Маркова А.В.<sup>1</sup>, Асфандиаров Н.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>ООО «ПОЛИСЕНСОР», г. Уфа, Россия

Изменение состава атмосферы оказывает большое влияние на энергетические параметры границы раздела структуры, состоящей из двух полимерных пленок полидефинеленфталида (ПДФ). Указанное свойство позволяет использовать такого рода структуры в качестве активных слоев газовых сенсоров. Сенсоры на полимерной основе обладают более высокой чувствительностью и коротким временем срабатывания, особенно при комнатной температуре, по сравнению с датчиками, основанными на оксидах металлов. Полимеры легко синтезируются с помощью химических или электрохимических процессов, а их молекулярная цепочечная структура может быть легко модифицирована путем сополимеризации или структурных преобразований.

В работе [1] было выяснено, что переход полимерной пленки ПДФ в высокопроводящее состояние связан с тенденцией мономерного соединения к раскрытию пятичленного цикла. Позднее этот механизм был подтвержден в работе [2], в которой методами спектроскопии проходящих электронов и спектроскопии диссоциативного захвата электронов была исследована изолированная молекула фталида, которая, как оказалось, образует долгоживущий отрицательный молекулярный ион (ОМИ) путем разрыва связи С-О.

В представленной работе, на примере этанола, н-бутанола и изопропилового спирта будет представлен вероятный механизм влияния паров спиртов на электрофизические свойства тонких пленок ПДФ. Он заключается в дегидрировании адсорбированных молекул спиртов ОМИ фталида, образованными при протекании электрического тока через указанную структуру, с последующим образованием новой молекулярной структуры мономеров ПДФ.

### Литература

1. Лачинов А.Н., Воробьева Н.В., Электроника тонких слоев широкозонных полимеров // УФН, 2006, Т. 176, № 12. – С. 249–266.
2. Asfandiarov N.L. et al., Electron attachment to the phthalide molecule //The journal of chemical physics, 2015, v. 142, №. 17, p. 174308.

© Таюпов М.М., Давлятгареев Х.И.,  
Маркова А.В., Асфандиаров Н.Л., 2024

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В  
ТОКОПРОВОДЯЩЕМ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНОМ  
ОРГАНИЧЕСКОМ ПОКРЫТИИ В СТРУКТУРЕ СОЛНЕЧНОГО  
ЭЛЕМЕНТА**

Галиев А.Ф.<sup>1,2</sup>, Карамов Д.Д.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

Исследована зависимость параметров носителей заряда в пленках сополиариленаэфиркетонов (со-ПАЭК) в структуре солнечного элемента [1] от заданного состава полимера: различного содержания боковых флуореновых и фталидных групп. Было произведено извлечение величины потенциального барьера на границах раздела с со-ПАЭК по обем ветвям вольтамперных характеристик (ВАХ), что позволило установить различный вклад границ раздела с барьерными ИТО, ИФО и омическими Си, Sn контактами.

Установлено, что зависимость электрофизических характеристик со-ПАЭК от содержания боковых групп от 5 до 25 вес.% носит немонотонный характер. При этом во всех случаях величина потенциального барьера на границе раздела с ИТО (ИФО) получается заниженной. Сделано предположение о влиянии поля поверхностной поляризации на поверхности полимерной пленки и локальных электронных состояний в запрещенной зоне полимера на потенциальный барьер. Установлена высокая временная стабильность параметров структур. Показано, что примененный метод извлечения параметров носителей заряда может быть перспективным для исследования несимметричных структур, содержащих барьерный и омический контакты.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-1900535), <https://rscf.ru/project/22-19-00535/>.*

**Литература**

1. Lachinov A.N. et al. Non-Conjugated Copoly (Arylene Ether Ketone) for the Current-Collecting System of a Solar Cell with Indium Tin Oxide Electrode //Polymers. – 2023. – V. 15. – I. 4. – P. 928.

© Галиев А.Ф., Карамов Д.Д., 2024

## ГИБКИЙ СЕНСОР ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИАРИЛЕНФТАЛИДОВ

Ишмухаметов М.С.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Одним из направлений развития сенсорики является мягкая робототехника. Решения в этой области также могут быть внедрены в ассистивные технологии и персонализированную медицину, мягкую робототехнику. В частности, существует потребность в очувствлении протезов. Здесь требуются разработки как отдельных датчиков, например, тактильных, так и мультисенсорных решений по типу «электронная кожа».

Решение может быть найдено в области органической электроники, так как органическим материалы обладают рядом необходимых свойств: механическая гибкость, биологическая совместимость, химическая и температурная стойкость, возможность изготовления требуемых форм и размеров, толщины [1,2]. Использование материалов, обладающих высоким сопротивлением в основном состоянии, но способных менять сопротивление при небольших внешних воздействиях позволит получить чувствительное устройство с низким энергопотреблением.

В работе представлены результаты по разработке гибкого тактильного сенсора на основе тонких пленок полиарилефталидов [1], в структуре металл/полимер/металл. Такая структура позволяет реализовать работу сенсора как в постоянном, так и в переменном поле. Сенсор выполнен в виде координатной сетки XY, что позволяет определять не только координаты воздействия, но и геометрические параметры объекта воздействия. Сенсор может быть капсулирован в гибкую основу или встроен в робототехнические конструкции. Сенсор совместим с микроконтроллерами серии STM32, работает по протоколу I2C.

### Литература

1. Karamov D.D. et al. Non-Conjugated Poly (Diphenylene Phthalide)—New Electroactive Material //Polymers. – 2023. – V. 15. – I. 16. – P. 3366.
2. Галиев А.Ф. и др. Температурная зависимость сопротивления тонких пленок полидифениленфталита // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2020. – Т. 84. – №. 5. – С. 623–625.

© Ишмухаметов М.С., 2024

## ИМПЕДИМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОАКТИВНОГО ПОЛИМЕРА ДЛЯ ПЕРСониФИЦИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЫ

Буланкин Н.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

В персонифицированной медицине существует проблема контроля состояния имплантов. Отмечаются такие признаки, как разрушение имплантов под действием критических нагрузок и проблема локального нагрева имплантов. В этой связи, требуются сенсорные системы, которые могут быть встроены в импланты, способные определять локализацию механических нагрузок и градиент температуры. При этом, такие системы могут применяться как при разработке имплантов, так и для дальнейшего контроля *in situ*.

В работе предлагается решение в виде встраиваемого импедиметрического сенсора структуры металл/полимер/металл с алгоритмами машинного обучения для автономного мониторинга состояния имплантов. Работа сенсора заключается в изменении импеданса полимерной пленки при изменении температуры и деформации [1, 2]. В основе нейросетевого алгоритма лежит 1D-модель сверточной нейронной сети (1D CNN), которая автоматически обрабатывает импедиметрические спектры и выводит данные о температуре и деформации, а также предупреждает о превышении критических значений. Нейросетевые алгоритмы были разработаны в среде программирования Python. Показана возможность применения нейросети для анализа величины деформации и температуры.

### Литература

1. Galiev A.F. et al. Non-conjugated polymer films to monitoring strain deformation of metals and alloys //Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2024. – V. 35. – I 14. – P. 1–10.
2. Ишмухаметов М.С. и др. Импедансный анализ процессов переноса заряда в структуре металл/полимер/металл // Известия УНЦ РАН. – 2024. – №. 1. – С. 30–34.

© Буланкин Н.С., 2024

## ЭЛЕКТРОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОСТРУКТУР СВЕРХПРОВОДНИК – ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИД – СВЕРХПРОВОДНИК

Арутюнов К.Ю.<sup>1,2</sup>, Завьялов В.В.<sup>2,1</sup>, Лачинов А.Н.<sup>3,4</sup>, Карамов Д.Д.<sup>4</sup>,  
Юсупов А.Р.<sup>4</sup>

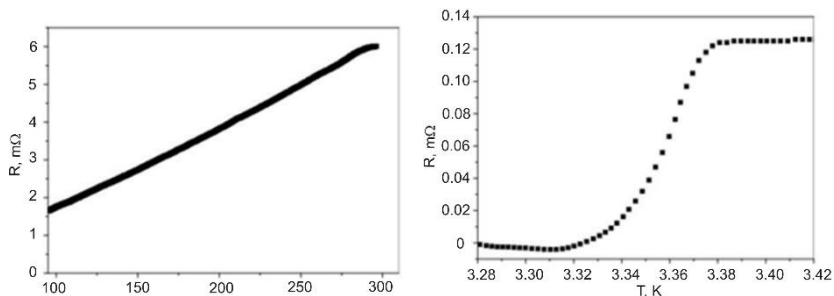
<sup>1</sup>МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ИФП им. П. Л. Капицы РАН, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

<sup>4</sup>БГПУ им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Исследовались слоистые тонкопленочные гетероструктуры типа «сэндвич» сверхпроводник – полидифениленфталид (ПДФ) – сверхпроводник на различных диэлектрических подложках. В качестве сверхпроводника использовался свинец или индий. Известно, что под воздействием внешнего электростатического поля и/или механических напряжений электрическая проводимость ПДФ полимера может значительно возрастать [1]. Целью настоящей работы было наблюдение возможности возникновения наведенной сверхпроводимости в обозначенных тонкопленочных структурах.



*Рис. 1.* Зависимости сопротивления от температуры  $R(T, I_{ac}=\text{const})$  для тонкопленочной слоистой гетероструктуры In–PDP–In (а) в высокотемпературном диапазоне и (б) в области сверхпроводящего перехода. Измерения проводились в 4-х контактной конфигурации на переменном токе  $I_{ac}=1$  мА на частоте 17 Гц методом фазочувствительного детектирования

Ранее нами исследовались структуры на базе свинцовых пленок, которые изготавливались методом термического напыления [2-4]. Несмотря на достаточно низкую температуру плавления свинца  $327^\circ\text{C}$ , нельзя было полностью исключить возможность термической деградации промежуточного слоя полимера. С этой целью в настоящей работе исследовались транспортные свойства тонкопленочных «сэндвичей» индий–ПДФ–индий, изготовленных методом холодной прокатки

исключительно мягкого металла (индия). Соответственно, в такой системе с большой вероятностью можно исключить возникновение механического или термического повреждения пленки полимера в процессе формирования гетероструктуры.

В используемой конфигурации «сэндвич» можно измерить как зависимости  $R(T)$  и  $V(I)$  поперек слоя полимера, так и – транспортные характеристики каждого индиевого электрода в отдельности. Было исследовано четыре структуры In–PDP–In. Все они проявили качественно идентичные результаты. Типичные зависимости сопротивления от температуры  $R(T, I_{ac}=\text{const})$  для «сэндвич» структуры In–PDP–In приведены на Рис. 1. В широком температурном диапазоне система проявляет металлический ход сопротивления: уменьшение с понижением температуры (Рис. 1а) и резкое падение до инструментального нуля (Рис. 1б) ниже температуры сверхпроводящего перехода индиевых электродов  $T_c(\text{In})\approx 3,4$  К. Вольт-амперные характеристики также демонстрируют типичные для сверхпроводников зависимости: нулевое падение напряжения до некоего критического значения тока  $I_c(T)$ .  $R(T)$  и  $V(I)$  зависимости позволяют сделать предположение, что в слоистой гетероструктуре In–PDP–In присутствуют сверхпроводящие корреляции, которые мы интерпретируем как проявление эффекта близости (proximity effect).

*Работа поддерживалась центром фундаментальных исследований НИУ ВШЭ и программой сотрудничества «Зеркальные лаборатории» Национального Исследовательского Университета Высшая Школа Экономики и Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы.*

### Литература

1. А. Н. Лачинов, В. М. Корнилов, Т. Г. Загуренко, А. Ю. Жеребов, ЖЭТФ 129, 728 (2006).
2. К. Ю. Арутюнов, К. А. Беляев, В. В. Артемов, А. Л. Васильев, А. Р. Юсупов, Д. Д. Карамов, А. Н. Лачинов, Физика твердого тела 65(1), 151 (2023).
3. K. Yu. Arutyunov, V.V. Artemov, A. L. Vasiliev, A. R. Yusupov, D. D. Karamov, A. N. Lachinov, Beilstein J. Nanotechnology 13, 1551 (2022).
4. К. Ю. Арутюнов, А.С. Гурский, С.Д. Монахова, П.В. Панарина, Е.Ф. Позднякова, Д.Э. Цой, А.Р. Юсупов, Д.Д. Карамов, А.Н. Лачинов, ИЗВЕСТИЯ УФИМСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН 1, 42 (2023).

© Арутюнов К.Ю., Завьялов В.В., Лачинов А.Н., Карамов Д.Д., Юсупов А.Р., 2024

**ОБРАЗОВАНИЕ НЕКОВАЛЕНТНЫХ СТРУКТУР В  
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНАХ 5-  
БРОМОФТАЛИДА**

Маркова А.В., Асфандиаров Н.Л.

Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

В тех случаях, когда время жизни отрицательных молекулярных ионов (следовательно, и величина сродства к электрону) того или иного вещества превышает значения предсказанные с помощью модели Аррениуса и квантово-химических расчетов, это может говорить о том, что при их образовании могут происходить те или иные перегруппировочные процессы [1, 2]. Некоторые анионы, такие как бромнафталины, бромбифенильные эфиры [3] и триклокорбан [4] могут даже образовывать, так называемые нековалентные структуры. Образование указанных структур повышает вероятность объединения таких ион-радикалов, либо продуктов их диссоциации в плоские углеводородные наномембраны. Кроме того, аномально большие величины дипольного момента, до 15 Д, делает их чрезвычайно реакционно-способными, что должно повысить выход реакции синтеза наномембран.

В представленной работе будет показано, что молекулярные отрицательные ионы 5-бромфталида, так же могут образовывать нековалентные структуры, которые были промоделированы с помощью расчетов теории функционала плотности. Для них было экспериментально оценено время жизни относительно автоотщипления электрона, сродство молекул к электрону, визуализированы вакантные молекулярные орбитали.

**Литература**

1. Asfandiarov N. L. et al., Electron attachment to the phthalide molecule //The journal of chemical physics, 2015, v. 142, №. 17, p. 174308.
2. Таюпов М. М. и др. Определение сродства к электрону на основе экспериментально измеренных времен жизни отрицательных молекулярных ионов производных кумарина //Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2020. – Т. 23. – №. 3. – С. 45–59.
3. Asfandiarov N. L., Muftakhov M. V., Pshenichnyuk S. A. Long-lived molecular anions of brominated diphenyl ethers //The Journal of Chemical Physics. – 2023. – Т. 158. – №. 19.
4. Asfandiarov N. L. et al. Electron Capture Dissociation by Triclocarban Molecules //Russian Journal of Physical Chemistry A. – 2023. – Т. 97. – №. 9. – С. 1907–1913.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ В  
ТУННЕЛЬНЫХ КОНТАКТАХ МЕТАЛЛ - СВЕРХПРОВОДНИК**

Амиров Э.Ш., Васенко А.С.

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

В работе изучено влияние неравновесных процессов на квазичастичный электрический ток и на функции распределения в туннельных контактах нормальный металл (N) – изолятор (I) – неравновесный сверхпроводник (S') – сверхпроводник (S). Построены графики квазичастичного тока и функций распределения при различных температурах с учетом неупругой релаксации частиц в неравновесном сверхпроводнике S'. Показано, что при отсутствии сильной релаксации электрический ток для напряжений  $eV < \Delta$  подавлен. Мы связываем это подавление с обратным туннелированием квазичастиц в нормальный металл.

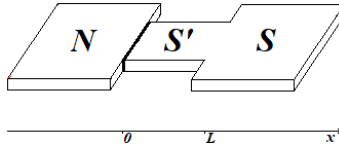


Рис. 1. Геометрия рассматриваемой системы

На Рис. 1 изображена NIS'S структура, которая состоит из нормально металлического резервуара (N), изолятора (I), сверхпроводникового провода S' толщины L и сверхпроводникового резервуара S. Провода S и S' сделаны из одного и того же материала (например, алюминия), и граница между ними предполагается абсолютно прозрачной. Рассматривается диффузионный предел, при котором длина упругого рассеяния  $\ell$  намного меньше длины когерентности  $\xi_0 = \sqrt{\mathcal{D}/2\Delta}$ , где  $\mathcal{D}$  – коэффициент диффузии (предполагается, что  $\hbar = k_B = 1$ ). Длина L много больше  $\xi_0$ .

Вычисление тока требует решения одномерных уравнений Келдыша-Узаделя

$$[\check{\sigma}_z E + \check{\Delta}, \check{G}] = i\mathcal{D} \partial \check{J}, \quad \check{J} = \check{G} \partial \check{G}, \quad \check{G}^2 = \check{1}, \quad (1)$$

$$\check{G} = \begin{pmatrix} \hat{g}^R & \hat{G}^K \\ 0 & \hat{g}^A \end{pmatrix}, \quad \hat{G}^K = \hat{g}^R \hat{f} - \hat{f} \hat{g}^A, \quad (2)$$

где  $\hat{g}^{R,A}$  – гриновские матричные функции  $2 \times 2$  в пространстве матриц Намбу,  $\hat{f} = \hat{f}_+ + \sigma_z \hat{f}_-$  – матричные функции распределения,  $\sigma_{y,z}$  – матрицы



Паули в пространстве Намбу,  $\hat{\Delta} = e^{i\sigma_z \chi} i \sigma_y \Delta$ ,  $\Delta$  и  $\chi$  являются модулем и фазой парного потенциала,  $\partial \equiv \partial / \partial x$ ,  $\check{1}$  – единичная матрица,  $\check{\sigma}_z$  и  $\check{\Delta}$  – блочные матрицы с матрицами  $\sigma_z$  и  $\hat{\Delta}$  на диагонали.

Граничные условия для функции  $\check{G}$  и матрицы спектрального тока  $\check{J}$  при  $x = -0$  и  $x = +0$  (слева и справа от туннельного барьера при  $x = 0$ ) задаются соотношением

$$(\sigma_N / g_N) \check{J}_{-0} = \check{J}_{+0} (W / \xi_0) = [\check{G}_{-0}, \check{G}_{+0}], \quad (3)$$

где  $\sigma_N$  и  $g_N$  проводимость нормального металла N и сверхпроводящего провода S' в нормальном состоянии, соответственно, а  $W \ll 1$  - параметр прозрачности,

$$W = \frac{R(\xi_0)}{2R},$$

где  $R(\xi_0) = \xi_0 / g_N$  является сопротивлением провода S' в нормальном состоянии на длине  $\xi_0$ , а R – сопротивление туннельного барьера. На прозрачной границе S'-S все функции и их первые производные непрерывны.

Электрический ток связан с келдышевской компонентой матрицы спектрального тока  $\check{J}$  как

$$I = -\frac{g_N}{4e} \int_0^\infty \text{Tr} \sigma_z \check{J}^K dE, \quad (4)$$

и с учетом граничного условия (3)

$$I = \frac{1}{8eR} \int_0^\infty \text{Tr} \sigma_z [\check{G}_{-0}, \check{G}_{+0}]^K dE. \quad (5)$$

Для простоты вместо включения интегралов столкновения в кинетические уравнения мы используем  $\tau$ -приближение,

$$l^2 \partial^2 f_{+S} = (f_{+S} - f_{eq}) N(E), \quad (6)$$

$$l^2 \partial^2 f_{-S} = f_{-S} N(E), \quad (7)$$

где  $N(E) = \theta(|E| - \Delta) |E| / \sqrt{E^2 - \Delta^2}$  – плотность состояний в сверхпроводнике.

Граничные условия при  $x = 0$  для уравнений (6) и (7) получаются из выражения (3). На правой прозрачной границе функции распределения становятся равновесными функциями сверхпроводящего резервуара S

$$f_{+S} \big|_{x=L} = f_{eq} = \tanh\left(\frac{E}{2T_S}\right), \quad f_{-S} \big|_{x=L} = 0. \quad (8)$$

Решив уравнение (7) с учетом условий (3) и (8), а затем воспользовавшись выражением (5), получим выражение для одночастичного тока

$$I = \frac{1}{eR} \int_{\Delta}^{\infty} \frac{N(E) f_{-N} \coth\left(\beta_{-}/\sqrt{N(E)}\right)}{\alpha_{-}/\sqrt{N(E)} + \coth\left(\beta_{-}/\sqrt{N(E)}\right)} dE. \quad (9)$$

На рис. 2 изображена вольт-амперная характеристика NIS'S контакта, где видно, что с ростом  $l_{-}$  (длины неупругой релаксации зарядового дисбаланса) ток уменьшается. Когда  $l_{-} > L$  ток почти не зависит от  $l_{-}$  и  $L$  (длина  $S'$ ) играет роль длины релаксации.

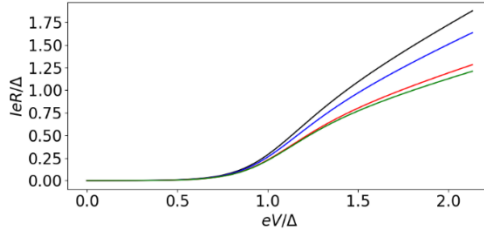


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика NIS'S структуры.

$$T_N = T_S = 0.3T_C, W = 0.01, L = 50\xi_0.$$

Черным цветом изображен равновесный ток. Синим, красным, зеленым  
одночастичный ток при  $l_{-} = 10\xi_0, 50\xi_0, 300\xi_0$  соответственно

*Работа выполнена при поддержке конкурса «Научная инициатива» Центра академического развития студентов НИУ ВШЭ.*

### Литература

1. Giazotto F. Heikkilä T. T., Luukanen A., Savin A. M., Pekola J. P. Opportunities for mesoscopics in thermometry and refrigeration: Physics and applications [Journal] // Reviews of Modern Physics. - 2006. - 1 : Vol. 78. - pp. 217-274.
2. Nahum M. Eiles T. M., Martinis J. M. Electronic microrefrigerator based on a normal-insulator-superconductor tunnel junction [Journal]. - 1994. - 24 : Vol. 65. - pp. 3123-3125.
3. N. Ullom J. Physics and applications of NIS junctions. - American Institute of Physics [Conference] // Physics and applications of NIS junctions. - 2002. - Vol. 605. - pp. 135-140.
4. Clark A. M. Miller N. A., Williams A., Ruggiero S. T., Hilton G. C., Vale L. R., Beall J. A., Irwin K. D., Ullom J. N. Cooling of bulk material by electron-tunneling refrigerators [Journal] // Applied Physics Letters. - 2005. - 17 : Vol. 86. - pp. 1-3.

© Амиров Э.Ш., Васенко А.С.: 2024

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТОНКИХ ПЛЕНОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТАЦИОНАРНЫХ УРАВНЕНИЙ ГИНЗБУРГА-ЛАНДАУ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕМЕННЫХ СВЯЗКИ

Пашковская В.Д., Васенко А.С.

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

В последние годы некоторые из наиболее важных тем физики опираются на сверхбыстрые однофотонные детекторы: квантовая запутанность и проблема затухания волновой функции во времени; обнаружение фотонов в диапазоне частот темной энергии и т. д. Этот класс электронных устройств может принести несколько прорывов в будущие научные исследования. Идея состоит в том, чтобы исследовать импульсы напряжения в небольших сверхпроводящих образцах вблизи границы между системами типов I и II (интертипный режим). Некоторые из наиболее многообещающих открытий, сделанных в последнее время в области сверхпроводимости, связаны с системами в области информационных технологий. Ранее теоретически описано, что стационарные состояния в сверхпроводниках в интертипном домене (или режиме) имеют очень похожие энергии, и это означает, что подвижность магнитного потока внутри сверхпроводников становится менее дорогостоящей, что требует исследования этого при различных механизмах рассеивания.

Обобщенные нестационарные уравнения Гинзбурга-Ландау в безразмерном виде имеют вид:

$$\frac{u}{\sqrt{1 + \gamma^2 |\Psi|^2}} \left( \frac{\partial}{\partial t} + i\varphi + \frac{1}{2} \gamma^2 \frac{\partial}{\partial t} |\Psi|^2 \right) \Psi = (\nabla - iA)^2 \Psi + (1 - T - |\Psi|^2) \Psi$$

и

$$\left( \frac{\partial A}{\partial t} + \nabla \varphi \right) = J_s - \kappa^2 \nabla \times \nabla \times A,$$

где плотность сверхпроводящего тока равна  $J_s = \text{Im}[\Psi^*(\nabla - iA)\Psi]$

Используя теорему Гельмгольца, можно провести более простое тепловое моделирование, в результате чего получится уравнение теплопроводности:

$$C'_{eff} \frac{\partial T}{\partial t} = K_{eff} \nabla^2 T + \frac{1}{2} W_{Total} - \eta(T - T_0),$$

где  $T_0$  – температура резервуара,  $C'_{eff} = \pi^4/48u$  – эффективная теплоемкость,  $K_{eff} = \pi^4/48u^2$  – эффективная теплопроводность.

Для определения общей диссипации необходимо обобщить теорему о свободной энергии Гельмгольца, выраженную в безразмерных единицах:

$$W_{Total} = 2 \left( \left| \frac{\partial A}{\partial t} \right|^2 \right) + \frac{2u}{\sqrt{1 + \gamma^2 |\Psi|^2}} \left[ \left| \frac{\partial \Psi}{\partial t} \right|^2 + \frac{\gamma^2}{4} \left( \frac{\partial}{\partial t} |\Psi|^2 \right)^2 \right]$$

Граничные условия системы имеют вид:

$$\hat{n} \cdot (\nabla - A)\Psi = 0$$

$$B|_{\partial V} = H_e$$

$$T|_{\partial V} = T_0$$

Обнаружена эволюция параметра порядка, магнитного поля и локальной температуры при значениях  $\kappa$ , близких к  $\kappa = 1/\sqrt{2}$  и  $T = T_c$ . В системе граница влияет на проникновение вихрей и их устойчивую конфигурацию. Полученные результаты имеют несколько ограничений, поскольку симметрия была аппроксимирована в направлении оси OZ. В таких случаях поле рассеяния может внести важный вклад в магнитное поле.

На рисунке 1 показана полная теплота, рассеиваемая по всему образцу, в зависимости от времени при всех значениях  $\kappa = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$ . Наблюдаемые пики соответствуют вхождению вихрей в образец. Второй экстремум на графике соответствует повторному входу новой партии вихрей в образец. Можно заметить, что локальный отвод тепла увеличивает локальную температуру, что вызывает снижение значений параметра порядка, что облегчает проникновение вихрей.

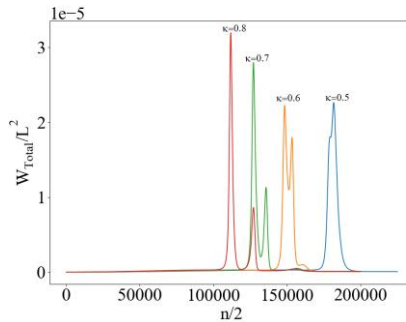


Рис. 1. Временное изменение общей диссипации

Данные результаты показывают стандартные вихри, которые не должны существовать в стандартной Абрикосовской картине при  $\kappa < 1/\sqrt{2}$ . Из-за тепловой диссипации барьер Бина-Ливингстона ослабевает, что способствует проникновению вихрей. На рисунке 2 изображена временная эволюция параметра порядка и температуры. В процессе движения вихрей можно наблюдать рост локальной температуры внутри образца, когда как на границе температура остается неизменной ( $\Delta T = 0$ )

ввиду граничных условий (мы полагаем, что термализация с термальной баней мгновенная). В момент проникновения 4-х вихрей в образец возникают изменения в магнитном потоке, из-за чего возникает напряжение в образце (закон Фарадея). Одним из вкладов в общую диссипацию является  $W_A = 2 \left( \left| \frac{\partial A}{\partial t} \right|^2 \right)$ , что означает что движение магнитного потока генерирует рост температуры по линии проникновения вихрей.

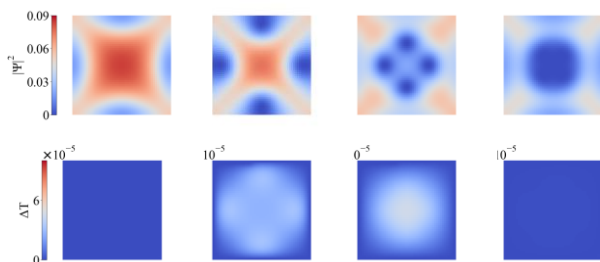


Рис. 2. Эволюция параметра порядка и температуры во времени ( $\kappa = 0,8$ ) для различных значений внешнего поля 0.1075, 0.111, 0.114, 0.12 ( $Hc2(0)$ )

*Пашковская В. Д. благодарит конкурс «Научная инициатива» Центра академического развития студентов Национального Исследовательского Университета Высшая Школа Экономики.*

*Васенко А. С. благодарит программу сотрудничества «Зеркальные лаборатории» Национального Исследовательского Университета Высшая Школа Экономики.*

### Литература

1. Gol'tsman G.N. et al. Picosecond superconducting single-photon optical detector // Appl. Phys. Lett. 2001. Vol. 79, № 6. P. 705–707.
2. Vagov A. et al. Superconductivity between standard types: Multiband versus single-band materials // Phys. Rev. B. 2016. Vol. 93, № 17. P. 174503.
3. Duarte E.C.S. et al. Comparing energy dissipation mechanisms within the vortex dynamics of gap and gapless nano-sized superconductors. // Materials Science and Engineering: B. 2023. Vol. 296, P. 1

© Пашковская В.Д., Васенко А.С., 2024

**ТОК ВИГНЕРА В МНОГОМЕРНЫХ КВАНТОВЫХ БИЛЬЯРДАХ**

Сеидов С.С.

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Вигнеровский ток является квантовым аналогом тока Лиувилля в фазовом пространстве. Уравнение Лиувилля, описывающее классическую динамику функции плотности вероятности распределения системы в фазовом пространстве, в квантовом случае заменяется на уравнение Мoyal. Это уравнение на так называемую функцию Вигнера – квазираспределение плотности вероятности квантовой системы в фазовом пространстве. Оба уравнения можно представить как уравнения непрерывности. В классическом случае соответствующий ток является током Лиувилля, тесно связанным с гамильтоновым потоком классической системы. Аналогично ток Вигнера, соответствующий уравнению Мoyal, описывает квантовый поток в фазовом пространстве.

В работе рассмотрены квантовые частицы, свободно движущиеся внутри некоторой ограниченной области – квантовом бильярде. Разработанный ранее метод наложения граничных условий на функцию Вигнера в данных задачах [1], позволил значительно упростить общее выражение для вигнеровского тока. Одну из компонента тока Вигнера удалось представить в виде контурного интеграла по некоторой поверхности выражения произведения  $\varphi^* \left( x - \frac{y}{2}, t \right) \varphi \left( x + \frac{y}{2}, t \right)$ ,  $\varphi(x, t)$  – зависящая от времени волновая функция свободной частицы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Зеркальные лаборатории «Квантовые эффекты в низкоразмерных гибридных наноструктурах» НИУ ВШЭ и Башкирского педагогического университета им. М. Акмуллы.*

**Литература**

1. Seidov S.S., // J. Phys. A: Math. Theor. 2023, 56, 325303.

© Сеидов С.С., 2024

**ВЛИЯНИЕ ТАММОВСКИХ УРОВНЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ОБЪЕМНОГО ФОТОЭФФЕКТА В СТРУКТУРАХ  
МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК**

Ихсанов Р.Ш.<sup>1,2</sup>, Усков А.В.<sup>1</sup>, Сметанин И.В.<sup>1</sup>, Проценко И.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский институт электроники и математики  
Высшей школы экономики, г. Москва, Россия

В нашей работе проведено теоретическое исследование усиления фотоэмиссии, проходящей по объемному механизму, из металла в полупроводник путем резонансного туннелирования фотовозбужденных электронов через так называемый “таммовский” уровень [1, 2]. Таммовские состояния возникают в полупроводнике вблизи его поверхности и по энергии находятся в запрещенной зоне, вблизи дна зоны проводимости. Нами показано, что туннелирование через таммовский уровень может привести к красному смещению пороговой длины волны фотоэффекта, более высокому наклону линейного роста фототока вблизи порога, и возможности существенного увеличения эффективности фотоэмиссии аналогично недавним экспериментальным результатам по генерации горячих носителей в плазмонных структурах с дискретным энергетическим уровнем на границе металл-полупроводник. Так же показано, что разница в эффективных массах электрона в металле и полупроводнике существенно влияет на эффективность фотоэмиссии. Результаты работы могут быть полезны для разработки структур с резонансным туннелированием для применения в фотохимии и в плазмонных фотодетекторах в ближней и средней ИК областях спектра [3].

**Литература**

1. Tamm I., Z. Phys. 1932, 76, 849.
2. Davison S.G., Steslicka M. Basic Theory of Surface States. Oxford University Press, 1999.
3. Uskov A.V., Protsenko I.E., Smetanin I.V., Willatzen M., Nikonorov N.V. // Optics Letters, 2021, v. 46, p. 568.

© Ихсанов Р.Ш., Усков А.В.,  
Сметанин И.В., Проценко И.Е., 2024

**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ  
СУЛЬФАТОВ ЛАНТАНИДОВ(III)**

Панова Н.А., Тухбатуллин А.А., Шарипов Г.Л.  
Институт нефтехимии и катализа, Уфимский федеральный  
исследовательский центр РАН, г. Уфа, Россия

В настоящее время широкий интерес в оптоэлектронике приобретают материалы содержащие ионы лантанидов, используемые в качестве активных центров свечения в люминесцентных устройствах. Для подобных устройств в основном применяют органические комплексы лантанидов, неорганические соединения являются менее изученными. Ранее нами были проведены исследования по триболоминесценции (ТЛ, свечение при деструкции кристаллов) ряда сульфатов лантанидов [1]. Однако сравнительные систематические исследования люминесценции при фото-, рентгено- соно- и трибовозбуждении, ранее не проводились. Знания о спектрально-люминесцентных характеристиках этих люминофоров, при разных способах возбуждения свечения будут представлять несомненный интерес для разработки новых оптических устройств.

В работе для исследования фото-, рентгено-, трибо-, сонотриболоминесценции, времени жизни возбужденных состояний и квантового выхода фотолюминесценции использовали  $\text{Ln}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{Ln} = \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}$ ). Обнаружено, что в спектрах для всех исследованных видов люминесценции, положения полос ионов трехвалентных лантанидов совпадают. Это свидетельствует об идентичности состава эмиттеров. Показано, что применение ультразвука позволяет зарегистрировать триболоминесценцию сульфатов лантанидов с низким квантовым выходом фотолюминесценции и получить спектры с высоким спектральным разрешением.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 23-12-20002.*

**Литература**

1. Sharipov G. L., Tukhbatullin A. A. Triboluminescence of inorganic lanthanide salts. Triboluminescence: Theory, synthesis, and application. Ed. Olawale D. O. et. all. Cham: Springer International Publishing, – 2016. – P. 273–303.

© Панова Н.А., Тухбатуллин А.А., Шарипов Г.Л., 2024



**КОГЕРЕНТНАЯ КВАЗИЧАСТИЧНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТОКА В  
ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРАХ ААРОНОВА-БОМА**Гурский А.С.<sup>1</sup>, Позднякова Е.Ф.<sup>1</sup>, Арутюнов К.Ю.<sup>1,2</sup>, Шаповалов Д.Л.<sup>2</sup>,Иевлева В.А.<sup>1,3</sup>, Седов Е. А.<sup>1,3</sup>, Маркина М.А.<sup>4</sup>,Тарасов М.А.<sup>4</sup>, Чекушкин А.М.<sup>4</sup><sup>1</sup>НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия<sup>2</sup>ИФП им. П. Л. Капицы РАН, г. Москва, Россия<sup>3</sup>ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, г. Москва, Россия<sup>4</sup>ФИАН им. П. Н. Лебедева, г. Москва, Россия

Достижения в области квантовых вычислений за последнее десятилетие подчеркнули важность исследования процессов, ответственных за декогеренцию состояний кубитов и существенно ограничивающих их дальнейшее масштабирование [1-3]. Использование сверхнизких температур помогает эффективно устранять тепловой шум, но на границах гибридных структур из нормального металла и сверхпроводника проблемы сохраняются. Под влиянием внешних факторов (электромагнитное облучение, туннелирование и др.) в сверхпроводнике возникают дополнительные неспаренные квазичастицы, рекомбинирующие в куперовские пары на значительных для мезоскопической физике расстояниях, превышающих, например, 5 мкм в сверхпроводящем алюминии [4].

В настоящей работе исследовались транспортные свойства гибридных структур типа нормальный металл-изолятор-сверхпроводник (НИС), которые являются твердотельными аналогами оптических двухщелевых интерферометров. Образцы, изготовленные методами электронно-лучевой литографии и многоугольного вакуумного напыления, представляли Т-образный медный электрод, из которого квазичастицы туннелировали через слой изолятора в сверхпроводящий алюминий (рис. 1). Разность фаз волновых функций квазичастиц  $\Delta\varphi$  в «плечах» интерферометра модулировалась внешним магнитным полем благодаря эффекту Ааронова-Бома [5]. Ожидалось, что на некотором масштабе  $\lambda_\varphi$  должно сохраняться постоянство разности фаз  $\Delta\varphi$ .

При фиксации на НИС-контакте напряжения инжекции  $V_{inj}$  выше сверхпроводящей щели  $\Delta/e$  постоянной температуре  $T \approx 10$  мК, существенно меньшей, чем критическая температура алюминия, измерялся туннельный ток как функция магнитного поля  $I_T(B, V_{inj} = const)$ . Экспериментальные зависимости показали немонотонный характер обозначенной зависимости с центральным пиком в области полей  $|B| \leq 1$  мТл и вторичными максимумами с периодом  $\delta B \approx 4,1$  мТл, что

качественно соответствует эффективной площади интерферометра  $S \approx 0,48 \text{ мкм}^2$ .

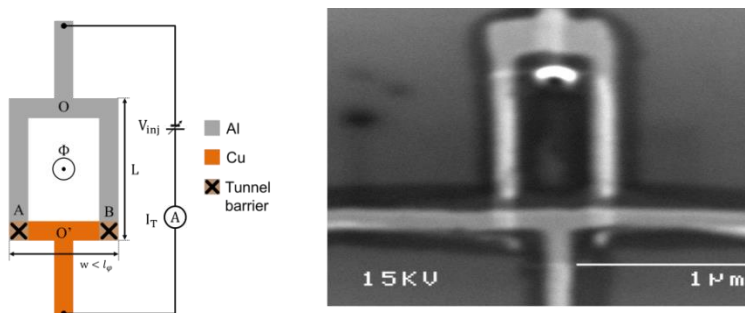


Рис. 1. Левая панель: схематическое представление интерферометра. Правая панель: микрофотография твердотельного интерферометра, полученная растровым электронным микроскопом

С учетом того, что описанный эффект наблюдался на всех исследованных образцах, разумно предположить возможное обнаружение когерентной составляющей в токе неравновесных квазичастиц, инжектированных в сверхпроводящий алюминий.

*Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 23-72-00018 «Исследование неравновесных и граничных явлений в сверхпроводящих гибридных наноструктурах».*

#### Литература

1. Siddiqi I. Engineering high-coherence superconducting qubits // Nature Reviews Materials. – 2021. – Vol. 6, №. 10. – P. 875-891.
2. С. Н. Liu [et al.] Quasiparticle Poisoning of Superconducting Qubits from Resonant Absorption of Pair-Breaking Photons // Physical Review Letters. – 2024. – Vol. 132, № 1.
3. Anthony-Petersen R. [et al.] A stress-induced source of phonon bursts and quasiparticle poisoning // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15, № 1.
4. Arutyunov K. Y. [et al.] Relaxation of nonequilibrium quasiparticles in mesoscopic size superconductors // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2018. – Vol. 30. – №. 34. – P. 343001.
5. Aharonov Y., Bohm D. Significance of electromagnetic potentials in the quantum theory // Physical review. – 1959. – Vol. 115, №. 3. – P. 485.

© Гурский А.С., Позднякова Е.Ф., Арутюнов К.Ю., Шаповалов Д.Л., Ивлева В.А., Седов Е. А., Маркина М.А., Тарасов М.А., Чекушкин А.М., 2024

## **ПОВЕДЕНИЕ ФУНКЦИЙ ГРИНА В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ СВЕРХПРОВОДНИК-ФЕРРОМАГНЕТИК ПРИ НАЛИЧИИ СПИНОВОГО РАССЕЯНИЯ**

Милютин Д.П., Безымянных Д.Г., Пугач Н.Г.  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Современные исследования реликтового излучения требуют использования высокочувствительных датчиков. Одним из наиболее подходящих кандидатов является болометр на холодных электронах [1].

Принцип его работы заключается в том, что фотоны, попавшие в нормальный металл, нагревают электроны в нем. Благодаря этому, электроны, изначально имевшие энергию ниже сверхпроводниковой щели, получают возможность туннелировать из металла в сверхпроводник. Для эффективной работы, нормальный металл должен иметь минимально возможную температуру. Однако, Андреевский ток, состоящих, способен создавать джоулев нагрев в структуре [2]. Для его подавления можно использовать ферромагнитную подложку.

В данной работе мы описывали влияние спинового рассеяния на функции Грина и плотность электронных состояний в гетероструктурах сверхпроводник (S) – ферромагнетик (F). Мы рассматривали два вида рассеяний – спин-орбитальное и спин-флип. Такую структуру описывают квазиклассические уравнения Узаделя с граничными условиями Куприянова-Лукичева [3].

В результате мы получили осцилляции функций Грина, которые появлялись из-за наличия обменного взаимодействия в ферромагнитном слое. Однако, спин-орбитальное взаимодействие эти осцилляции полностью подавляло, в то время как спин-флип лишь незначительно их видоизменяло.

Рассеяние и обменное взаимодействие играют ключевую роль в формировании плотности состояний на интерфейсе. Варьирование параметров рассеяния от слабого к сильному, существенно влияет на электронные состояния.

*Авторы благодарят программу сотрудничества Зеркальная лаборатория «Квантовые эффекты в низкоразмерных гибридных наноструктурах» Национального Исследовательского Университета Высшая Школа Экономики и Башкирского Государственного Педагогического Университета им. М.В. Акмуллы.*

### Литература

1. Gordeeva A. V. et al. Record electron self-cooling in cold-electron bolometers with a hybrid superconductor-ferromagnetic nanoabsorber and traps //Scientific Reports. – 2020. – Т. 10. – №. 1. – С. 21961.
2. Rajauria S. et al. Competition between electronic cooling and Andreev dissipation in a superconducting micro-cooler //Journal of Low Temperature Physics. – 2009. – Т. 154. – С. 211–220.
3. Golubov A. A., Kupriyanov M. Y. The current phase relation in Josephson tunnel junctions //Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters. – 2005. – Т. 81. – С. 335–341.

© Милютин Д.П., Безмянных Д.Г., Пугач Н.Г., 2024

**ТОКИ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ В  
ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК ПДФ/ПММА**Ильясов В.Х.<sup>1</sup>, Ваенский А.П.<sup>1</sup>, Карамов Д.Д.<sup>2</sup>,Лачинов А.Н.<sup>2</sup>, Пономарев А.Ф.<sup>3</sup><sup>1</sup>Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия<sup>2</sup>Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия<sup>3</sup>Бирский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
г. Бирск, Россия

Известно, что граница раздела двух аморфных полимерных пленок с широкой запрещенной зоной обладает аномальной электрической проводимостью [1]. В связи с этим, целью настоящей работы явилось исследование электронных свойств двух полимерных пленок, отвечающих нескольким критериям. В частности, полимер должен относиться к соединениям, в которых отсутствует сопряжение  $\pi$ -электронов, мономерное звено должно содержать дипольную группу, направленную под углом к скелетной части молекулы, быть растворимым и способным формировать качественные пленки. Кроме того, важным фактором для постановки этой работы явился выбор коммерчески доступного полимера. Так как в большинстве выполненных до сих пор работ по изучению свойств вдоль границ раз дела полимер/полимер были использованы коммерчески недоступные полимеры класса полиарилефталидов. В данной работе были изучены термоактивационные процессы в субмикронных пленках коммерческого полимера полиметилметакрилата (ПММА) в зависимости от толщины и исследованы электронные свойства двухслойных полимерных пленок полидифенилефталид (ПДФ) и ПММА. Полимеры относятся к несопряженным полимерам, т.е. содержащие только простые сигма связи – все атомные орбитали C находятся в  $sp^3$  состоянии, в таких полимерах отсутствует делокализация  $\pi$ -электронов вдоль полимерной цепи, ограничиваясь пределами мономерного звена. Общим, также, является то, что они имеют полярные группы, способные формировать поверхностный поляризованный слой. ПДФ, имеющий боковые фталидные фрагменты мономерных звеньев, которые обладают относительно большим дипольным моментом  $\sim 5.6 D$ . У ПММА такой группой является группа  $COOCH_3$  с дипольным моментом  $\sim 1.9 D$ .

**Литература**

1. Karamov D.D., Galiev A.F., Lachinov A.A. et al. // Polymers. 2023. V. 15. No. 16. P. 3366.

© Ильясов В.Х., Ваенский А.П., Карамов Д.Д.,  
Лачинов А.Н., Пономарев А.Ф., 2024

УДК 544.15

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ СО-ПАЭК**

Байбулова Г.Ш.<sup>1</sup>, Карамов Д.Д.,<sup>1,2</sup> Галиев А.Ф.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

В работе проведено исследование физико-химических особенностей строения и электронных свойств сополимеров полиарилэнэфиркетонов в зависимости от содержания фталидных и флуореновых функциональных групп с целью установления связи между структурой соответствующих полимеров и олигомеров и их транспортными свойствами. Актуальность и практическая значимость данной работы заключается в наработке методов и инструментов для комплексного исследования оптических и зарядо-транспортных свойств ряда новых сополимеров полиарилэнэфиркетонов для их последующего использования в фотовольтаических и светоизлучающих структурах.

В результате экспериментальных исследований спектров поглощения и излучения и квантово-химических расчетов ширины запрещенной зоны были построены зависимости от концентрации флуореновой функциональной группы. Было установлено, что при увеличении содержания функциональной группы, ширина запрещенной зоны уменьшается. Предложена интерпретация немонотонного изменения электронных свойств со-полиарилэнэфиркетонов, основанная на гипотезе о различном строении функциональных центров в макромолекуле в зависимости от содержания функциональных групп в сополимере.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда, проект № 22-19-00535.*

© Байбулова Г.Ш., Карамов Д.Д., Галиев А.Ф., 2024

**ВОЗБУЖДЕНИЕ СПИНОВЫХ ВОЛН, ВЫЗВАННОЕ  
ДИНАМИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ БЛИЗОСТИ В ГИБРИДНЫХ  
СТРУКТУРАХ СВЕРХПРОВОДНИК/ФЕРРОМАГНИТНЫЙ  
ИЗОЛЯТОР**

Туркин Я.В., Пугач Н.Г.

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

В данной работе теоретически рассматривается возбуждение перпендикулярной стоячей спиновой волны (ПССВ) в тонкой пленке ферромагнитного диэлектрика, контактирующей со сверхпроводником s-типа. Спиновая волна возбуждается в режиме ферромагнитного резонанса (ФМР), в результате чего на границе раздела сверхпроводника за счет обратного эффекта близости генерируется неравновесная спиновая плотность.

В случае прецессии намагниченности внутри гибридной структуры ферромагнетик/сверхпроводник на границе раздела создается наведенная намагниченность. Эта наведенная намагниченность может играть роль нестационарного возбуждения на границе раздела. При достаточно близких частотах прецессии моды ФМР и первого типа ПССВ возможна такая ситуация, когда наведенная намагниченность на границе раздела прецессирует с частотой первой моды колебаний, возбуждая ее и создавая эффективное закрепление спинов. Этот эффект позволяет возбуждать высшие типы спиновых волн с помощью однородного переменного электромагнитного поля.

Теоретическая модель описываемого эффекта построена в формализме системы линеаризованных нестационарных уравнений Узаделя [1] и Ландау-Лифшица-Гильберта, описывающих связанный линейный отклик сверхпроводника и ферромагнитного диэлектрика. Учитывая периодический характер прецессии намагниченности, уравнение Узаделя можно записать в представлении Фурье [2], что позволяет исследовать стационарную задачу в частотном пространстве. Возбуждение спиновых волн на границе раздела магнитного изолятора и сверхпроводника описывается с помощью нестационарных граничных условий, учитывающих частичное закрепление намагниченности и изменение спектра магнонов в результате эффекта близости со сверхпроводником. Система линеаризованных уравнений решена аналитически и численно. Полученные результаты позволяют определить зависимость порога возбуждения первой спиновой моды от коэффициента затухания в ферромагнитном диэлектрике.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного Фонда (проект № 23-72-00018).*

### **Литература**

1. Brinkman A., et al. Microscopic nonequilibrium theory of double-barrier Josephson junctions // *Phys. Rev. B*, 2003, v. 68, Iss. 22, p. 224513.
2. Turkin Y.V. Spin dynamics in superconductor/ferromagnetic insulator hybrid structures with precessing magnetization / Y.V. Turkin, N. Pugach // *Beilstein J. Nanotechnol.* –2023. – № 14. – p. 233–239.

© Туркин Я.В., Пугач Н.Г., Туркин Я.В., Пугач Н.Г., 2024



УДК 538.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В УЛЬТРАТОНКИХ СЛОЯХ ДВУОКСИ КРЕМНИЯ

Бояренцева А.В., Корнилов В.М.

Башкирский государственный педагогический университет

им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Граница раздела кремний - двуокись кремния обладает набором уникальных электрофизических свойств, которые во многом обусловили бурное развитие кремниевой микроэлектроники. Особенности накопления и переноса заряда вблизи этой границы сделали возможной реализацию широкого круга полупроводниковых устройств. В связи с этим большой интерес представляет исследование процессов перераспределения заряда на гетерогранице Si-SiO<sub>2</sub> и регистрация их в нанометровом масштабе. В данной работе была поставлена задача исследования нанометровых слоев двуокиси кремния на поверхности кремния методом атомно-силовой микроскопии с электропроводящим зондом. Для эксперимента были использованы пластины монокристаллического кремния p-типа. Известно, что в этом случае на поверхности присутствует естественный (нативный) слой двуокиси кремния толщиной порядка нескольких нанометров. На первом этапе работы были получены изображения поверхности, снятые одновременно в режиме АСМ и в режиме регистрации тока, протекающего в месте контакта, проводящего кантилевера с образцом. Установлено, что естественный слой двуокиси кремния на поверхности кремния изначально обладает хорошими диэлектрическими свойствами. При деформации этого слоя образуется большое количество дефектов, которые и служат местами протекания тока. Наиболее плотно дефекты сконцентрированы в области прямого механического воздействия, в то же время некоторое количество дефектов генерируется на расстоянии в несколько микрон от места царапины. Следует отметить, что аналогичное распределение дефектов наблюдалось в работе [1]. Таким образом, использование атомно-силового микроскопа с проводящим зондом позволяет одновременно исследовать топографические и электрические особенности поверхности в нанометровом масштабе. Можно прогнозировать использование таких методик для целенаправленного создания электропроводящих дефектов в двуокиси кремния с последующим наблюдением и исследованием таких объектов.

### Литература

1. В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, Б.А. Логинов, В.А. Беспалов. ФТП, 43, 850 (2009).

© Бояренцева А.В., Корнилов В.М., 2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ

Газизов Ш.Н., Корнилов В.М.

Башкирский государственный педагогический университет

им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Методом спектроскопии поглощения-пропускания были исследованы растворы и пленки полидифениленфталида (ПДФ) различных концентраций. Представлены спектры поглощения растворов ПДФ в циклогексаноне концентрацией 1,5% и 5% и чистого циклогексанона. В спектре полимера концентрацией 5% наблюдается пик поглощения в области энергий порядка 3 эВ. Как известно, отдельные не взаимодействующие друг с другом макромолекулы полимера могут присутствовать только в сильноразбавленных растворах. Изменение свойств раствора при переходе от сильно разбавленных растворов к полуразбавленным через точку кроссовера должно отражаться и на свойствах пленок, получаемых из раствора. В частности, можно ожидать, что толщина пленок зависит от вязкости (концентрации) раствора ПДФ. Для проверки этого предположения была исследована серия полимерных пленок, изготовленных из растворов различной концентрации в диапазоне концентраций 0,1 – 10% на подложках из полированного кремния [1]. При концентрациях раствора 1,5-1,6% происходит переход от первого линейного участка ко второму. Установлено, что полимерная пленка внутренне структурирована, причем структурный элемент представляет собой эллипсоид, большая ось которого имеет размер 100-110 нм, а малая ось имеет размер 28 нм. Процесс формирования полимерной пленки представляется следующим образом. При центрифугировании ассоциаты макромолекул, не разрушаются за время формирования пленочного образца и потому наблюдаются при изучении внутренней структуры полимерной пленки. Можно предположить, что разрыв пленки при ее деформировании происходит в основном по границам агрегатов в результате нарушения межмолекулярных, а не внутримолекулярных связей. Таким образом, в результате работы продемонстрирована возможность использования методик оптической спектроскопии и атомно-силовой микроскопии для исследования надмолекулярной структуры полимерных слоев субмикронной толщины. Открывается возможность целенаправленно влиять на ассоциацию макромолекул в растворе для получения полимерных пленок.

### Литература

1. В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, Д.Д. Карамов, и др. // ФТТ. – 2016. – Т.58. – В.5. – С. 1030–1035.

© Газизов Ш.Н., Корнилов В.М., 2024

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕХОДОВ В ЭЛЕКТРОДЕ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕР-МЕТАЛЛ

Смольников Н.В., Корнилов В.М.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В рамках проведенной работы в системе металл – полимер – наноструктурный металл ( $M_1$ -П- $M_2$ ) был экспериментально исследован эффект электронного переключения при изменении условий на поверхности раздела металл – полимер при эволюции микроструктуры в наноструктурном металле. Представлены характерные температурные зависимости тока, протекающего через систему  $M_1$ -П- $M_2$  при нагреве в цикле нагрев-охлаждение, полученные при использовании в качестве  $M_2$  разных наноструктурных металлов. Контроль состояния проводимости образца осуществлялся по схеме регистрации с источником ЭДС в измерительной цепи. Было установлено, что в области температур  $\sim 0.4 T_{\text{плав}}$  наноструктурного электрода наблюдается резкое увеличение инжекционного тока, что соответствует переходу  $M_1$ -П- $M_2$  системы в высокопроводящее состояние. При дальнейшем нагреве в некотором интервале температур образец остается в высокопроводящем состоянии, затем возвращаясь в исходное низкопроводящее состояние. Подробнее поведение температурной зависимости тока, протекающего через систему  $M_1$ -П- $M_2$ , рассматривается на примере использования в качестве  $M_2$  электрода из наноструктурной меди. При комнатной температуре образец находился в низкопроводящем состоянии, величина тока, протекающего через систему  $M_1$ -П- $M_2$ , практически равна приборному нулю. При нагреве значение тока оставалось неизменным до температуры 140 – 145 С. При этой температуре наблюдалось возникновение осцилляций тока, амплитуда которых увеличивалась с ростом температуры до тех пор, пока система не переходила в высокопроводящее состояние. При дальнейшем нагреве в интервале 20 – 50 °С образец оставался в высокопроводящем состоянии. Дальнейшее увеличение температуры приводило к новому росту амплитуды флуктуаций тока и возвращению образца в исходное диэлектрическое состояние. Результаты работы важны для прояснения механизмов резистивного переключения в полимерных пленках и для разработки технологических требований по изготовлению и тестированию чувствительных элементов для сенсоров.

### Литература

1. R.Z. Valiev, High Technology Vol. 80, Kluwer Academic Publishers 2000. – P.333–337.

© Смольников Н.В., Корнилов В.М., 2024

## **МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МЯГКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ**

Каримов В.Р.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Существует потребность в разработке гибких сенсорных структур для мягкой робототехники и биомедицинских приложений. Одними из самых востребованных видов сенсоров являются тактильные сенсоры. В то же время, существуют мультисенсорные разработки, совмещающие несколько вариантов ответа на внешние воздействия. Такие системы получи название «электронная кожа». При разработке таких систем актуальным является сочетание механических и электрофизических характеристик. В качестве базовых материалов могут выступить электроактивные аморфные полимеры, так как обладают всеми необходимыми свойствами. В частности, полимеры из класса полиарилефталидов обладают исключительными пленкообразующими характеристиками [1]. Могут выступать как в качестве активного материала, так и в качестве матрицы, для введения чувствительных к определенным внешним факторам добавок [2].

В работе показана возможность использования структур металл/полимер/металл для мультисенсорного приложения: одновременной регистрации одноосного механического давления и температуры. Показана возможность разделения влияния двух факторов. При этом, структура является гибкой, может быть выполнена по требуемым формам и капсулирована внешним защитным материалом.

Результаты работы могут быть использованы для создания координатной матрицы сенсоров для применения в устройствах мягкой робототехники и ассистивных устройствах для персонифицированной медицины.

### **Литература**

1. Байбулова Г.Ш. и др. Квантово-химические исследования надмолекулярной структуры полидифенилефталоида //Вестник омского университета. – 2014. – №. 2 (72). – С. 46–49.
2. Карамов Д.Д. и др. Допирование несопряженного полимера органическим соединением с двумя устойчивыми энергетическими состояниями //Журнал технической физики. – 2021. – Т. 91. – №. 5. – С. 874–878.

УДК 538.971

**КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЫ  
ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ  
QUANTUM ESPRESSO**

Давлятгареев Х.И.<sup>1,3</sup>, Карамов Д.Д.<sup>2,3</sup>, Байбулова Г.Ш.<sup>3</sup>, Галиев А.Ф.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью «ПОЛИСЕНСОР»,  
г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

<sup>3</sup>Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Расчет плотности электронов в основном состоянии в расширенной атомной системе важен для понимания и руководства разработкой свойств и функций материалов и молекулярных систем. Методом, обеспечивающим превосходный компромисс между вычислительными затратами и точностью результатов, является теория функционала плотности (DFT). Quantum ESPRESSO — это интегрированный набор компьютерных кодов с открытым исходным кодом для расчетов электронной структуры и моделирования материалов в наномасштабе. Она основана на теории функционала плотности, плоских волнах и псевдопотенциалах [1]. Целью данной работы является оценка плотности электронных состояний и вклада энергии молекулярных орбиталей в зонной структуре молекулы в программном пакете Quantum ESPRESSO.

В данной работе в качестве объекта исследования был выбран полидифениленфталид (ПДФ) Метод синтеза ПДФ подробно описан в работе Салазкина С.Н. и коллег [2, 3]. ПДФ представляет собой карбоциклический полимер (рисунок 1) с высокой устойчивостью к химическим воздействиям и высокой термической стабильностью ( $T_g = 420^\circ\text{C}$ ,  $T_d = 440^\circ\text{C}$ ), обладает полной прозрачностью в области видимого спектра, отличными механическими свойствами и прекрасными пленкообразующими характеристиками.

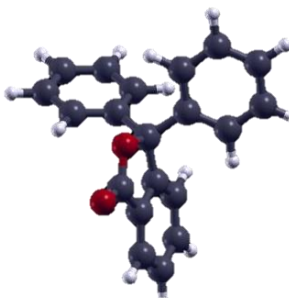


Рис. 1. Структура мономерного звена полидифениленфталида

В ходе проведенных расчетов получены значения энергии верхней занятой (ВЗМО = -5,41 эВ) и нижней вакантной молекулярной орбитали (НВМО = -1,71 эВ), получен график плотности состояний DOS и зонной структуры (рисунок 2).

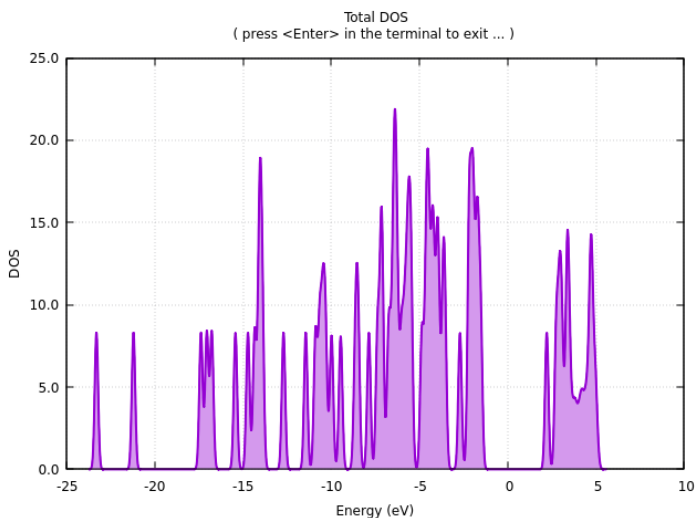


Рис. 2. График плотности состояний

В докладе будут представлены преимущества и недостатки программного пакета Quantum ESPRESSO для расчета плотности электронных состояний полимеров класса полиарилефталидов.

### Литература

1. Giannozzi P. et al. Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO //Journal of physics: Condensed matter. – 2017. – V. 29. – №. 46. – P. 465901.
2. Salazkin S.N. et al. Molecular mass characteristics of poly (diphenylene phthalide) //Polymer Science USSR. – 1987. – Т. 29. – №. 7. – С. 1572–1578.
3. Salazkin S.N. Aromatic polymers based on pseudoacid chlorides //Polymer science. Series B. – 2004. – Т. 46. – №. 7-8. – С. 203–223.

© Давлятьгареев Х.И., Карамов Д.Д.,  
Байбулова Г.Ш., Галиев А.Ф., 2024

**ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАРИЛЕНФТАЛИДОВ  
ДОПИРОВАННЫХ ГРАФЕНОМ RG-S1**

Мукминова Р.Р., Юсупов А.Р.

Башкирский государственный педагогический университет

им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Применение углеродных наноматериалов в электронике обусловлено возможностью изменения электропроводности и прочности исходного материала. Получение эффективных композитов, состоящих из полимерной матрицы и углеродного наполнителя требуют тщательного изучения электрофизических и оптических свойств. Поскольку в качестве допирующего вещества использован графен RG-S1 [1], не вступающий в химическую реакцию с соединениями полимера, важным этапом исследования было определение вклада графена на оптические свойства полидифениленфталида. Поскольку ранее было установлено, что добавка графена не приводит к существенным изменениям спектров оптического поглощения, в настоящей работе были изучены спектры флуоресценции, измеренные на спектрофлуориметре OmniFluo-900 при двух значениях длин волн возбуждения 270 нм и 300 нм, длины волн спектров излучения 290-800 нм и 320-500 нм. Длина волны возбуждения 270 нм устанавливалась исходя из свойств ПДФ, 300 нм для графена.

На рисунке 1 и 2 показаны полученные спектры возбуждения исследуемых пленок (чистых) и допированных графеном разной концентрации. Как можно видеть из полученных зависимостей, возбуждение на длине волны 270 нм не приводит к изменению в спектрах флуоресценции. Интенсивность полученных зависимостей определяется толщиной полимерной пленки с графеном и без графена. Возбуждение на длине волны в 300 нм приводит к незначительному изменению спектров в длинноволновой области.

По-видимому, существенных изменений в электронных свойствах полимерного материала, с добавлением графена не происходит. Вследствие чего, не наблюдается существенных изменений в оптических свойствах полимерного композита. Другим объяснением полученного результата, может быть не верный выбор длины волны оптического возбуждения, что характеризует оптическую область свойственную для данного композита.

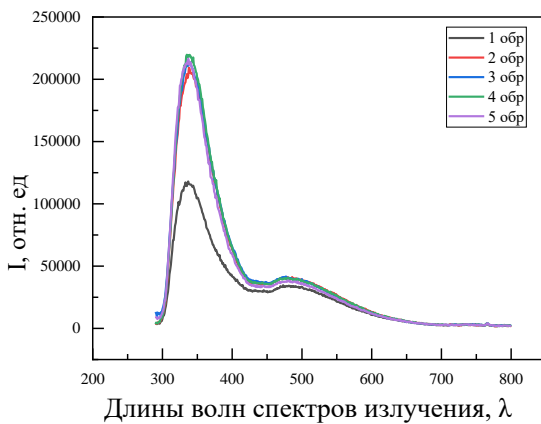


Рис. 1. Спектры возбуждения при  $\lambda$  возб. = 270 нм

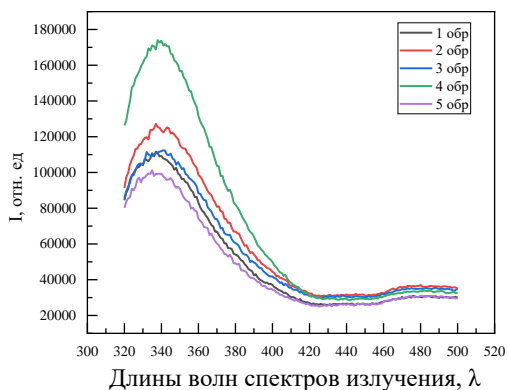


Рис. 2. Спектры возбуждения при  $\lambda$  возб. = 300 нм

### Литература

1. Графеновый порошок RG-S1/ [Электронный ресурс]//[сайт]. – URL:<https://www.rusgraphene.ru/product-page/graphene-powder> (дата обращения: 30.03.2024).

© Мукуминова Р.Р., Юсупов А.Р., 2024



УДК 538.9

## ГИБКИЕ НАГРЕВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА

Яхин А.Р.<sup>1</sup>, Юсупов А.Р.<sup>1</sup>, Галиев А.Ф.<sup>1</sup>, Карамов Д.Д.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Равномерный нагрев поверхности сложной формы требует решений, в основе которых лежат гибкие тонкопленочные и эффективные системы нагрева, которые могут применяться в различных областях, таких как биомедицина, робототехника, устройства для хранения энергии, пищевая промышленность и другие. Подобные нагреватели представляют собой тонкие слои материала, обладающего высоким удельным сопротивлением и способностью выделять тепло при пропускании через них электрического тока.

Цель данной работы заключается в изучении теплогенерирующих характеристик полимерного композита, состоящего из термо- и химически стойкого аморфного полидифениленфталида и коммерческого технического графена (RG-S1, RG-P1).

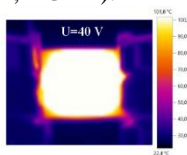


Рис. 1. Термограмма полимерного композита на основе RG-P1

В качестве основного метода получения тонких пленок полимерного композита был выбран метод полива. На рис. 1 показана термограмма полученной экспериментальной структуры. Согласно расчетам, проведенным на данной структуре, мощность нагревателя составила  $\sim 3$  Вт при сопротивлении пленки композита в 565 Ом. Эффективность преобразования электронного нагрева составила 0,018 Вт/оС.

В докладе будут представлены результаты работы и их обсуждение.

### Литература

1. Лачинов А.Н., Корнилов В.М. Электронные свойства интерфейсных полимерных структур: монография [Текст]. – Воронеж: Изд-во АртПринт, 2021. – 349 с.

© Яхин А.Р., Юсупов А.Р.,  
Галиев А.Ф., Карамов Д.Д., 2024

## СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

УДК 539.3

### МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВОЙ СЕТКИ И МЕТАЛЛА: МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИНАМИКА

Сафина Л.Р., Крылова К.А., Баимова Ю.А.

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

На сегодняшний день большой интерес ученых вызывают композиты графен/металл новой морфологии с улучшенными механическими свойствами. Одним из таких недавно предложенных морфологий композита является графеноматричный композит. В данной работе методом молекулярной динамики исследуются механические свойства графеноматричного композита с разными металлами-наполнителями (Ni и Cu), полученные деформационно-термической обработкой. Оценка механических свойств композитов графен/металл проводится посредством одноосного растяжения.

В табл. 1 представлены основные механические характеристики композитов графен/металл, полученные после одноосного растяжения. Результаты показывают, что самой высокой прочностью и модулем Юнга обладает композит графен/Ni. При этом композит графен/Cu демонстрирует большую пластичность. Такая разница в механических свойствах композитов графен/металл объясняется силой взаимодействия графена и металла. Использование графенофильного металла в качестве наполнителя, как Ni, приводит к равномерному распределению наночастиц металла в графеновой матрице в процессе его получения. Применение графенофобного металла, как в случае с Cu, который слабо взаимодействует с графеном, приводит к образованию коагулированных наночастиц металла в структуре. Это снижает прочность композита, поскольку крупные частицы металла мешают формированию прочной однородной графеновой сетки с большим числом ковалентных связей.

Табл. 1. Предел прочности ( $\sigma$ ), деформация разрушения ( $\varepsilon_f$ ) и модуль Юнга ( $E$ ) композитов графен/Ni и графен/Cu

Композит	$\sigma$ , ГПа	$\varepsilon_f$	$E$ , ГПа
графен/Ni	89,5	0,45	296,9
графен/Cu	35,1	0,75	65,9

Результаты моделирования показывают, что механические свойства композитов с графеновой матрицей сильно зависят от выбранного металла и их силы взаимодействия с графеном.

© Сафина Л.Р., Крылова К.А., Баимова Ю.А., 2024

УДК 621.7

## ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Наумова Д.М., Дмитриев С.В.

Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

В статье обсуждается электропластическая обработка металлов давлением, основные теории, описывающие электропластичность и механизмы её реализации. Электропластическая обработка металлов давлением (ЭОМД) – это производственный процесс, повышающий формуюемость материалов за счет применения постоянного или переменного электрического тока или электрических полей. Как известно, ЭОМД имеет большой потенциал коммерческого использования благодаря таким достоинствам, как снижение сопротивления деформации, повышение пластичности металлов, упрощение некоторых технологических процессов, повышение энергоэффективности, снижение стоимости и улучшение качества продукции. Большое количество экспериментальных работ, выполненных за последние годы, свидетельствует об актуальности данной тематики. Компьютерное моделирование позволяет рассчитать воздействия тока на деформацию металлов, а также помогают разрешить некоторые спорные теоретические вопросы. В качестве примера успешного применения компьютерного моделирования в работе будет описана математическая модель залечивания дефектов под действием коротких импульсов высокоэнергетического электромагнитного поля. Кроме того, будут показаны основные преимущества компьютерного моделирования, позволяющего во многом предсказать результаты эксперимента, и основные проблемы моделирования процессов ЭОМД, такие как рост дороговизны расчета с повышением его точности. Предложены методы по их решению. Основной вывод представленного обзора состоит в том, что применение метода молекулярной динамики при моделировании процессов, касающихся ЭОМД, является актуальным, и что на сегодняшний день данный метод используется недостаточно широко [1].

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда 24-11-00139.*

### Литература

5. Alder B.J., Wainwright T.E. Phase Transition for a Hard Sphere System // Chem. Phys. – 2004. – V. 1957 – P. 1208.

© Наумова Д.М., Дмитриев С.В. 2024

## ЗОННАЯ СТРУКТУРА СЕЛЕНИДА МЕДИ В СУПЕРИОННОМ СОСТОЯНИИ

Горяев М.Р.<sup>1</sup>, Сафаргалиев Д.И.<sup>2</sup>, Биккулова Н.Н.<sup>2</sup>, Акманова Г.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий, г. Стерлитамак, Россия

При высоких температурах в суперионном состоянии  $\text{Cu}_2\text{Se}$  имеет ГЦК структуру, образованную анионами Se, а катионы Cu занимают тетраэдрические позиции (рис. 1).

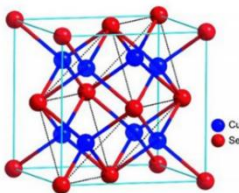


Рис. 1. ГЦК структура соединения  $\text{Cu}_2\text{Se}$

Расчет зонной структуры был выполнен в рамках теории функционала электронной плотности с помощью метода псевдопотенциала в базисе плоских волн. На рис. 2 представлен расчет зонной структуры для суперионного состояния  $\text{Cu}_2\text{Se}$  при температуре 673 К

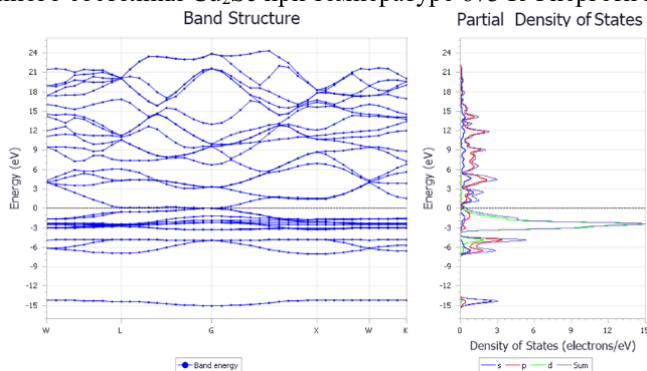


Рис. 2. Зонная структура  $\text{Cu}_2\text{Se}$  при температуре 673 К

уровень 12,8 эВ образован s-состояниями селена с небольшим вкладом s- и d-состояний Cu. В интервале энергий от -6,5 эВ до уровня Ферми расположены гибридные p-уровни селена и d-уровни меди.

© Горяев М.Р., Сафаргалиев Д.И.,  
Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р., 2024

УДК 538.9

## ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В СЕЛЕНИДЕ МЕДИ

Аллабердин И.З.<sup>1</sup>, Кутов А.Х.<sup>2</sup>, Биккулова Н.Н.<sup>3</sup>, Акманова Г.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Нефтяной институт (филиал) Югорского государственного университета,  
г. Нижневартовск, Россия

<sup>3</sup>Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
г. Стерлитамак, Россия

Соединение  $\text{Cu}_{2-8}\text{Se}$  привлекает все большее внимание как перспективный термоэлектрический материал благодаря своим превосходным электрическим свойствам и чрезвычайно низкой теплопроводности.

В данной работе представлены результаты исследований фазовых переходов в монокристаллическом соединении  $\text{Cu}_{1.8}\text{Se}$  и поликристаллическом соединении  $\text{Cu}_{1.75}\text{Se}$ .

Монокристаллические образцы выращивались методом Бриджмена-Стокбаргера. Полученные монокристаллы исследовались методом Лауэ и методом рентгеновской топографии. Были получены лауэграммы монокристалла  $\text{Cu}_{1.8}\text{Se}$  при температурах 300 К, 250 К, 200 К, 190 К, 180 К, 150 К и при обратном нагреве – 200 К, 230 К, 300 К. Было обнаружено, что фазовый переход из суперионного в несуперионное состояние представляет собой размытый фазовый переход I рода, происходящий в интервале температур 180–250 К.

Поликристаллический образец селенида меди  $\text{Cu}_{1.75}\text{Se}$  был исследован с помощью метода ЯМР [1]. Измерения ЯМР спектров  $^{77}\text{Se}$  были выполнены в диапазоне температур 100–450 К во внешнем магнитном поле  $H = 92.82$  кЭ. Спектр ЯМР  $^{77}\text{Se}$  в  $\text{Cu}_{1.75}\text{Se}$  представляет собой одиночную линию с шириной на половине высоты  $\sim 4$  кГц при температуре 250 К (температура фазового перехода). По форме линия представляет собой смесь гауссовой и лоренцевой линий. При повышении температуры выше 250 К сдвиг этой линии возрастает, что согласуется с поведением магнитной восприимчивости. В области температур 100–200 К сдвиг практически не меняется.

### Литература

1. Bikkulova N.N., Tsygankova L.V., Kurbangulov A.R., Kutov A.K., Mikhalev K.N., Yakshibaev R.A., Akmanova G.R., Bikkulova A.V. // Ionics. 2019. V. 25. № 2. P. 887–890.

© Аллабердин И.З., Кутов А.Х.,  
Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р., 2024

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ  
СОЕДИНЕНИЯ  $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$** 

Казакбаев А.Р., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Сульфиды меди являются перспективными материалами для электродов источников тока, солнечных элементов, оптических устройств, датчиков, термоэлектрических преобразователей. Интерес к сульфидам меди в качестве термоэлектрических материалов связан с их высокой термоэлектрической добротностью. Соединения с высокой ионной проводимостью обладают высокой термоэлектрической добротностью из-за дополнительного рассеяния фононов на подвижных ионах и уменьшения теплопроводности. Введение щелочного металла в сульфиды меди приводит к образованию наноразмерных пор, на которых происходит дополнительное рассеяние фононов. Однако мало работ, посвященных изучению тройных соединений Na-Cu-S. Это, по нашему мнению, связано с трудностями получения однофазных образцов. В данной работе синтезировано соединение  $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$  методом твердофазных реакций в вакуумированных ампулах из сульфидов меди  $\text{Cu}_2\text{S}$  и натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ . Сульфид меди  $\text{Cu}_2\text{S}$  синтезировали из элементов ампульным методом. Безводный сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$  получили из гидрата сульфида натрия  $\text{Na}_2\text{S} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $n=1, 2, 5, 9$ ) путем обезвоживания в вакууме. Дифрактограмма полученного соединения  $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$  при комнатной температуре имеет узкие линии, что свидетельствует о высокой кристалличности образцов. Соединение имеет гексагональную структуру с параметрами  $a = 13.803(10)$  Å и  $c = 14.972(16)$  Å. При комнатной температуре  $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$  примерно через 6 месяцев самопроизвольно переходит в ГЦК модификацию. ГЦК модификация имеет широкие рентгеновские линии, что свидетельствует о малости размеров областей когерентного рассеяния (ОКР). Размеры ОКР, определенные по уширению дифракционных линий, варьируют от  $D \sim 17$  нм при комнатной температуре до  $D \sim 70$  нм при  $400^\circ\text{C}$  и  $D \sim 50$  нм при  $500^\circ\text{C}$ . Образцы сохраняют ГЦК структуру в области исследуемых температур от комнатной до  $500^\circ\text{C}$ . Из-за малости размеров ОКР и высокой ионной проводимости исследуемые образцы представляют интерес для термоэлектрических преобразователей.

**Литература**

1. Qiu P., Shi X., Chen L. // *Energy Storage Mater.* 2016, 3, pp.85–97.

© Казакбаев А.Р., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д., 2024

**МЕТОД РЕЗОНАНСНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА**

Козин К.Д., Юмагузин Ю.М.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Для исследования свойств металлов в динамическом режиме широко используется метод резонансной акустической спектроскопии (РАС). Этот метод основан на анализе спектра резонансных частот металлического образца, что позволяет получить точные данные о его физических характеристиках. Наиболее удобной формой образца для проведения экспериментов является цилиндр, длина которого значительно превышает его радиус. Резонансные частоты, определяемые по максимумам амплитуды вынужденных колебаний, позволяют вычислить скорость звука в металле, а ширина резонансной кривой связана с коэффициентом затухания. Метод РАС отличается высокой точностью измерений и не требует сложного и дорогостоящего оборудования, что делает его популярным в исследованиях различных физических явлений, таких как внутреннее трение и фазовые переходы. С его помощью можно измерить упругие константы, такие как модуль Юнга ( $E$ ) и модуль сдвига ( $G$ ), что особенно важно для материаловедения и инженерных приложений [1].

Экспериментальная установка включает измерительную ячейку с образцом, с прикрепленными пьезоэлементами (ПЭ) к отполированным торцам образца. С выхода многофункционального генератора MHS-5200A гармонический сигнал подается на ПЭ-излучатель. Сигнал с ПЭ-приемника регистрировался анализатором спектра ISDS205A. Оба устройства, как генератор, так и анализатор, были подключены к компьютеру через USB порты, что обеспечивало удобство и точность в управлении и сборе данных. Такой подход позволял автоматизировать процесс измерений с помощью специальной программы и минимизировать возможные ошибки, связанные с ручным управлением.

По частоте резонанса были определены скорости продольных волн для алюминия, меди и стали:  $C_{Al} = 6250$  м/с;  $C_{Cu} = 4860$  м/с;  $C_{\sigma} = 5700$  м/с. Расчет модуля упругости по экспериментальным значениям продольной скорости для этих материалов также имели хорошее соответствие табличным значениям.

**Литература**

1. Акимов В.В., Иванов Н.А. Прикладная механика и техническая физика. 2002. Т. 43, № 2.

## ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ СУЛЬФИДОВ $\text{Na}_{0.3}\text{Cu}_{1.6}\text{S}$ И $\text{Na}_{0.35}\text{Cu}_{1.6}\text{S}$

Кубенова М.М.<sup>1</sup>, Алина Р.А.<sup>1</sup>, Балапанов М.Х.<sup>2</sup>, Ишембетов Р.Х.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет, г. Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Легированные натрием сульфиды меди показывают высокие значения коэффициента Зеебека и являются перспективными термоэлектрическими материалами [1-3]. В данной работе исследованы коэффициент Зеебека  $\alpha$ , электропроводность  $\sigma$  и теплопроводность  $k$  наномпозитных сплавов  $\text{Na}_{0.3}\text{Cu}_{1.6}\text{S}$  и  $\text{Na}_{0.35}\text{Cu}_{1.6}\text{S}$  в температурном интервале 300–600 К. На рис. 1а показаны температурные зависимости теплопроводности образцов. Для  $\text{Na}_{0.3}\text{Cu}_{1.6}\text{S}$  наблюдаются экстремально низкие значения теплопроводности до  $0.11 \text{ Вт м}^{-1}\text{К}^{-1}$ .

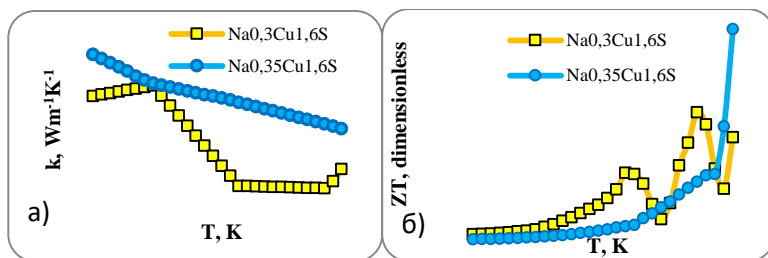


Рис. 1. Теплопроводность (а) и добротность  $ZT$  (б) образцов

По результатам измерений были рассчитаны значения добротности  $ZT$  образцов, приведенные на рис. 1б. При температуре 590 К получен очень высокий  $ZT = 0.97$  для состава  $\text{Na}_{0.35}\text{Cu}_{1.6}\text{S}$ .

### Литература

1. Kubenova M.M.; Balapanov M.Kh.; Kuterbekov K.A.; Ishembetov R.Kh. et al. // Eurasian J. of Physics and Func. Mater., 2020, v. 4(1), pp. 67–85.
2. Балапанов М.Х.; Ишембетов Р.Х.; Кабышев А.М. и др. // Вестник Башкирского университета, 2019, Т. 24, №. 4. – С. 823–829.
3. Алина Р.А., Балапанов М.Х. // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: мат. IX Межрег. школы-конф. (г. Уфа, 26 – 27 апреля 2023 г.) / Уфа: РИЦ УУНиТ, 2023. – С. 19–21.

© Кубенова М.М., Алина Р.А.,  
Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., 2024



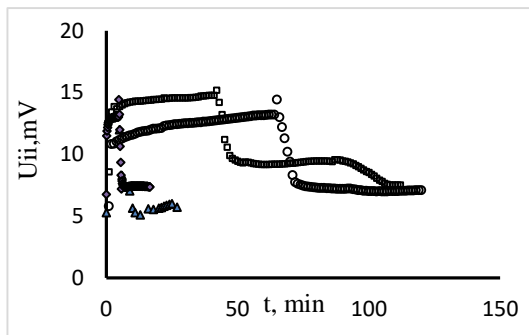
## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ НАНОКРИСТАЛЛИТНЫХ СУЛЬФИДОВ

### МЕДИ $K_{0,03}Cu_{1,94}S$

Назмиев Т.Р., Ихсанова Я.Б., Салихова Л.Р., Ишембетов Р.Х.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В работе исследована температурная зависимость ионной проводимости в нанокристаллитных сплавах халькогенидов меди  $K_{0,03}Cu_{1,94}S$ . На рис. представлена кривые концентрационной поляризации образца  $K_{0,03}Cu_{1,94}S$  при температурах 355, 370, 380 и 390 °С при ионном токе 1 мА. В области насыщения кривой



насыщения кривой поляризации проводимость осуществляется только ионами  $Cu^+$ . Когда устанавливается стационарное состояние, по разности потенциалов между ионными зондами можно измерить ионную проводимость. Спад

концентрационной поляризации описывается соотношением:

$$U_{ii}(t) = U_{ii}(0) \exp(-\pi^2 \tilde{D} t / L^2),$$

где  $\tilde{D}$  - коэффициент сопряженной химической диффузии катионов и дырок.

Результаты измерения температурной зависимости ионной проводимости  $K_{0,03}Cu_{1,94}S$  в области температур 350 - 400 °С показали, что наблюдаются высокие значения ионной проводимости от 0,8 до 2,6 Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>. Графики зависимости логарифма ионной разности потенциалов  $\Delta U_{ii}$  от времени при разных температурах (за начало отсчета времени принят момент выключения тока через ячейку) имеют вид прямых, что говорит о применимости к их описанию выше приведенной формулы. Вычисленные по формуле коэффициенты химической диффузии  $\tilde{D}$  в зависимости от температуры имеют чрезвычайно высокие значения от 0,003 до 0,029 см<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>.

© Назмиев Т.Р., Ихсанова Я.Б.,  
Салихова Л.Р., Ишембетов Р.Х., 2024

УДК 538.9

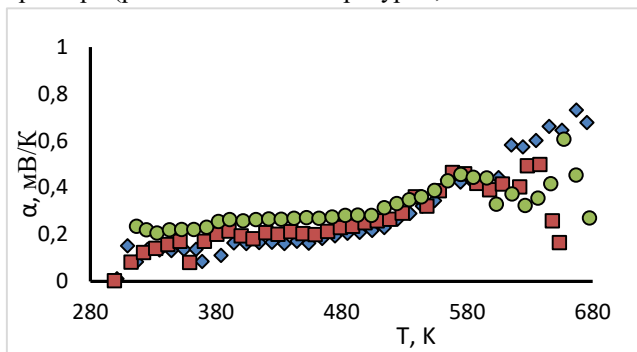
## ЭЛЕКТРОННЫЙ И ИОННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЗЕЕБЕКА НАНОКРИСТАЛЛИТНЫХ СПЛАВАХ ХАЛЬКОГЕНИДОВ

МЕДИ  $K_{0,01}Cu_{1,94}S$ ,  $K_{0,02}Cu_{1,94}S$ ,  $K_{0,03}Cu_{1,94}S$

Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В работе исследован электронный и ионный перенос в нанокристаллитных сплавах халькогенидов меди в неизотермических условиях в зависимости от содержания калия  $K_xCu_{1,94}S$  ( $x=0,01; 0,02; 0,03$ ). На рис. представлена температурная зависимость коэффициента электронной термо-эдс твердых растворов  $K_{0,01}Cu_{1,94}S$ ,  $K_{0,02}Cu_{1,94}S$ ,  $K_{0,03}Cu_{1,94}S$ . В целом наблюдается достаточно высокие значения термо-эдс и рост  $\alpha_e$  с повышением температуры. Зависимость носит вырожденный характер (рост  $\alpha_e$  с температурой, как в металлах).



Коэффициент электронной термо-эдс также практически линейно зависит от температуры и положения уровня Ферми, что характерно для металлов и сильно

вырожденных полупроводников. Знак термо-эдс соответствует р-типу проводимости и не меняет в зависимости от температуры. Коэффициент ионной термо-эдс всех сплавов уменьшается при повышении температуры, при этом  $K_{0,01}Cu_{1,94}S$  обладает самым высоким ионным коэффициентом Зеебека при температурах от 320 до 430<sup>0</sup>С.

© Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., 2024

УДК 539.3

## ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА СИСТЕМЫ Ni-Mn-Ga

Кирилюк К.К.<sup>1</sup>, Мусабилов И.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

В настоящее время одним из актуальных направлений исследования металлов и сплавов является изучение физических свойств сплавов семейства Гейслера. Это интерметаллидные соединения элементного состава  $X_2YZ$ , обладающие множеством таких свойств как ферромагнитный эффект памяти формы, магнитокалорический эффект и др. Эти свойства позволяют рассматривать для потенциального применения в авиа- и космической промышленности, магнитных холодильниках и различных микроактюаторах.

В данной работе представлены результаты исследования микроструктуры и карт элементного состава сплава Гейслера  $Ni_{56.4}Mn_{14.8}Ga_{25.7}Si_{3.1}$ . Анализ результатов показал, что структура в исходном состоянии представлена равноосными зёрнами размером порядка 100  $\mu m$ . Также было обнаружено образование вторичной фазы (рис. 1).

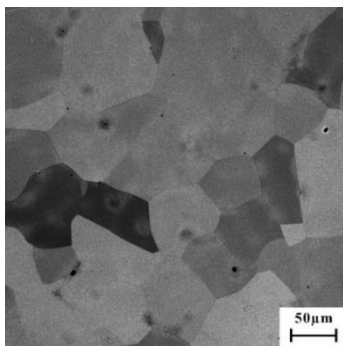


Рис. 1. Микроструктура сплава в литом состоянии

В результате исследования микроструктуры сплава  $Ni_{56.4}Mn_{14.8}Ga_{25.7}Si_{3.1}$  было установлено, что микроструктура сплава в литом и деформированном состояниях является гетерогенной, хотя послековки наблюдается некоторое изменение формы и размеров зерен. В литом состоянии были выявлены вторичные фазы, обогащенные кремнием. В результатековки наблюдается увеличение доли вторичных фаз, что вызвано выделением кремния из матричной фазы.

© Кирилюк К.К., Мусабилов И.И., 2024

**ПРИМЕНИМОСТЬ МЕЖАТОМНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ ГРАФЕН/ТИТАН**Рожнова Е.А.<sup>1</sup>, Сафина Л.Р.<sup>2</sup>, Баимова Ю.А.<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия<sup>2</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

На сегодняшний день отмечается повышенный интерес к изучению композитных материалов на основе графена и наночастиц металлов. Одним из перспективных материалов является композит на основе скомканного графена и наночастиц титана (Ti), обладающий уникальными свойствами [1]. Исследование подобных материалов на основе графена и металла возможно с использованием метода молекулярной динамики. Данный метод опирается на потенциалы межатомного взаимодействия, поэтому правильный выбор межатомного потенциала играет ключевую роль в точности полученных результатов. В данной работе рассматриваются потенциалы межатомного взаимодействия для описания взаимодействия в системе графен/Ti, с целью дальнейшего изучения процессов получения композита графен/Ti и оценки его механических свойств.

Взаимодействие в системе графен/Ti может быть описано потенциалом Терсоффа, который включает сразу все три взаимодействия (Ti-Ti, C-C и Ti-C), а также потенциалами Морзе или Леннарда-Джонса (ЛД) для описания взаимодействия Ti-C и Ti-Ti с параметрами, представленными в работах [2, 3], и потенциал AIREBO для описания взаимодействия C-C. Для анализа влияния потенциалов на деформационное поведение структуры графен/Ti рассматривается предшественник композита, представляющий собой свернутые чешуйки графена, заполненные наночастицами металла, выдержанный при комнатной температуре.

Результаты моделирования показывают, что при использовании потенциалов Терсоффа и ЛД не наблюдается существенных различий в структурах. При моделировании же потенциалом Морзе большинство наночастиц Ti отделяется от поверхности графена, что приводит к их коагуляции друг с другом. Это указывает на более слабую связь между наночастицами Ti и графеном. Данная работа показывает, что потенциалы Терсоффа и ЛД наилучшим образом описывают взаимодействия в системе графен/Ti.

**Литература**

1. Zhang Z.Y., Zhu Y., Liang Y.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, v. 248, p. 012011.

2. Zhu Y., Zhang Y.C., Qi S.H., Xiang Z. // *Applied Mechanics and Materials*, 2014, v. 536, pp. 1431–1434.
3. Ou B., Yan J., Wang Q., Lu L. // *Molecules*, 2022, v. 27(3), p. 905.

© Рожнова Е.А., Сафина Л.Р., Баимова Ю.А., 2024

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ  
В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КОБАЛЬТЕ**

Габдрахманова Л.А., Галиев Д.М., Альмухаметов Р.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Природа процессов, протекающих в нанокристаллических (НК) материалах, несмотря на многочисленные исследования, изучена недостаточно. А эти материалы представляют большой научный и практический интерес из-за их необычных физических свойств.

В работе проведены рентгеновские, электронно-микроскопические исследования, а также исследования твердости НК кобальта. Образцы получены методом интенсивной пластической деформации на наковальнях Бриджмена под давлением 7 ГПа при комнатной температуре поворотом бойка на 5 оборотов. Рентгеновским методом и методом электронной микроскопии исследованы размеры кристаллитов и величина микродеформаций в зависимости от температуры отжига.

Установлено, что отжиг при температурах от комнатной до 350-450 °С приводит к незначительному росту размеров кристаллитов (от 25 нм до 50 нм). Микродеформации в этом интервале уменьшаются значительно от  $3 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-4}$ . Отжиг при температурах выше 450 °С сопровождается скачкообразным ростом размеров кристаллитов и незначительным изменением микродеформаций [1]. На основании рентгеновских, электронно-микроскопических исследований (рис. 1) и исследований твердости сделано заключение о том, что отжиг при температурах до ~450 °С сопровождается возвратом, а выше этой температуры – рекристаллизацией. И также установлено, что пластическая деформация приводит к задержке перехода высокотемпературной ГЦК фазы кобальта в низкотемпературную ГПУ фазу при его охлаждении ниже температуры

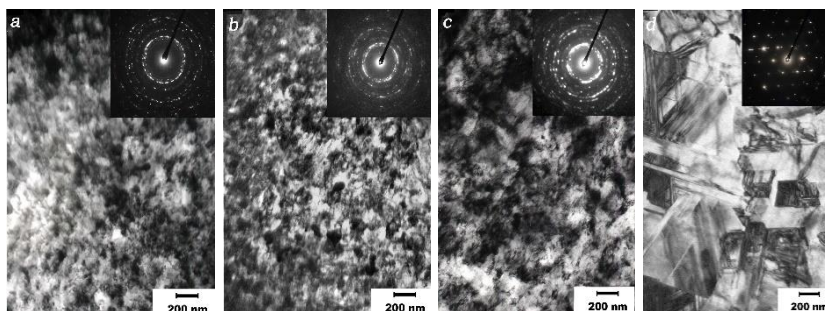


Рис. 1. Микроструктура кобальта после пластической деформации (а) и отжига при 300°С (b), 400°С (c), 500°С (d)

фазового перехода. Показано, что задержка фазового перехода связано с уменьшением размеров кристаллитов при пластической деформации ниже критического размера зародыша новой фазы [2-5].

### Литература

1. Альмухаметов Р.Ф., Габдрахманова Л.А. // ФТТ. 2013. Т. 55. № 1. – С. 7–9.
2. R.F. Almukhametov, L.A. Gabdrakhmanova, I.Z. Sharipov, I.I. Musabirov, R.Kh. Khisamov. New X-ray approach to the study of structural transformation in nanocrystalline cobalt // Вестник Башкирского университета. - 2014. - Т. 19. - № 2. – С. 385–389.
3. Almukhametov R. Structural studies of plastically deformed cobalt / R. Almukhametov, L. Gabdrakhmanova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. Vol. 447 – P.012081.
4. L.A. Gabdrakhmanova, K.M. Mukashev, A.D. Muradov, F.F. Umarov, G.Sh. Yar-Mukhamedova. Intensive Plastic Deformation Influence on Phase Relations of Cobalt Nanocrystals // J. Nano- Electron. Phys. – 2020. Vol. 12, № 1 – P.01010-1 – 01010-6.
5. L.A. Gabdrakhmanova, K.M. Mukashev, F.F. Umarov, A.D. Muradov, G.Sh. Yar-Mukhamedova. Evolution of a nanocrystalline structure of the cobalt metal in annealing // J. Nano- Electron. Phys. – 2020. Vol. 12, № 6 – P.06027-1 – 06027-6.

© Габдрахманова Л.А., Галиев Д.М., Альмухаметов Р.Ф., 2024

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГРАФИНОВ  
МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ**Колесников В.В.<sup>1,2</sup>, Мурзаев Р.Т.<sup>2</sup><sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия<sup>2</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов, г. Уфа, Россия

Двумерные материалы стали объектом активных исследований из-за их уникальных механических и физических свойств [1-2]. Один из таких материалов - графин, представляющий собой монослой атомов углерода, которые обладают смешанной *sp*- и *sp*<sup>2</sup>-гибридизацией и особым образом уложены в решетке. Графин представляет большой интерес для использования в различных областях, например, для новых электронных устройств. В данном исследовании была проведена оценка теплопроводности графина с использованием метода молекулярной динамики.

Рассчитаны коэффициенты теплопроводности для пяти конфигураций графина ( $a$ ,  $b_1$ ,  $b_3$ ,  $g_1$  и  $g_2$ ) и сопоставлены со значениями для графена. Для расчёта коэффициентов теплопроводности выбраны размеры структур:  $L_x \approx 400$  Å,  $L_y = 100$  Å,  $L_z = 100$  Å. Размер ячейки моделирования по нормали к слою графина выбран так, чтобы он во много раз превышал толщину графина. Все расчеты проводятся с использованием программного пакета LAMMPS и межатомного потенциала AIREBO. Расчеты выполнены с использованием NVE-ансамбля. Расчёт коэффициентов теплопроводности проводился методом Ланжевена, который заключается в описании динамики систем, подверженных случайным колебаниям [3].

Результаты расчётов показали, что коэффициент теплопроводности альфа-графина в 5 раз меньше коэффициента теплопроводности графена. Понижение коэффициента теплопроводности связано с тем, что плотность атомов углерода в графине меньше чем в графене. Исследование теплопроводности является важным для дальнейшего применения графинов в электронных устройствах.

*Выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 20-72-10112-П.*

**Литература**

1. M. Xue, H. Qiu, and W. Guo. Exceptionally fast water desalination at complete salt rejection by pristine graphyne monolayers. *Nanotechnology* // 2013. – V. 24 – P. 505.
2. Hirsch, The era of carbon allotropes *Nature Mater* // 2010. – V. 9 – P. 868–871.
3. Liu, C. D. Reddy, J. Jiang, J. A. Baimova, S. V. Dmitriev, A. A. Nazarov, and K. Zhou. Morphology and in-plane thermal conductivity of hybrid graphene sheets // *Applied Physics Letters*. 2012. – V. 21– P. 211–909.

© Колесников В.В., Мурзаев Р.Т., 2024



**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУЛЛЕРЕНА C<sub>60</sub> НА  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МЕДИ МЕТОДОМ  
МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ**

Миронов Р.А.<sup>1,2</sup>, Мурзаев Р.Т.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов, г. Уфа, Россия

Исследование физических и химических свойств фуллерена, как элемента композитов, является актуальным, так как углерод-металлические композиты все больше входят в нашу жизнь [1]. В настоящее время обсуждаются идеи использования фуллеренов в создании фотоприемников и оптоэлектронных устройств, катализаторов роста, сверхпроводящих материалов [2].

Рассчитаны коэффициенты теплопроводности для трех структур: меди, меди с фуллереном C<sub>60</sub>, меди без фуллерена C<sub>60</sub>. Данные сопоставлены со стандартными значениями для меди из литературы [3]. Для расчёта коэффициентов теплопроводности выбраны размеры структур:  $L_x \approx 217 \text{ \AA}$ ,  $L_y = 54 \text{ \AA}$ ,  $L_z = 36 \text{ \AA}$ . Все расчеты проводятся с использованием программного пакета LAMMPS и межатомных потенциалов EAM для взаимодействия Cu-Cu, AIREBO для взаимодействия C-C, Леннарда-Джонса для взаимодействия C-Cu. Расчеты выполнены с использованием NVE-ансамбля.

Расчёт коэффициентов теплопроводности проводился методом Ланжевена, который заключается в описании динамики систем, подверженных случайными колебаниями.

Результаты проведённых расчётов показали, что в температурном интервале от 100 до 800 К наблюдается понижение коэффициента теплопроводности в среднем на 20%. Такое поведение связано с тем, что фуллерен образует поры в структуре меди, что в свою очередь препятствует передаче тепла.

*Выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 20-72-10112-П.*

**Литература**

1. Латыпов З.З. Фуллерены и углеродные нанокластеры / З.З. Латыпов, Л.Н. Гааль // Науч. приборостроение. – 2005. – Т. 15, No 2. – С. 82–87.
2. Безручко, Г.С. Влияние добавки фуллерена C<sub>60</sub> на прочностные свойства нанокристаллической меди и алюминия при ударно-волновом нагружении / Разоренов С.В. Попов М.Ю. // Журнал технической физики, 2014, том 84, вып. 3. – С. 74.

3. Kobelev N. P. Temperature dependence of elastic moduli for solid C60 / N. P. Kobelev, R. K. Nikolaev, N. S. Sidorov, Ya. M. Soifer // *Physics of the Solid State*. – 2001. – V. 43. – P. 2344.

© Миронов Р.А., Мурзаев Р.Т., 2024



## СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

УДК 53

### ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННЕЙ СТЕНКИ КОЛОННЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ДАТЧИКАМИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Хайбуллин А.Д., Космылин Д.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Промысловые геофизические исследования нефтяных и газовых скважин включают комплекс работ, проводимых для изучения геологического разреза, определения местоположения нефтяных и газовых пластов, контроля технического состояния скважин и т.д. Термометрия является одним из информативных методов при решении задач диагностики состояния нефтегазовых пластов и скважин [1]. При всех достоинствах термометрии, метод не лишен недостатков, а именно: неоднозначность или невозможность определения заколонной циркуляции «сверху»; определение заколонных перетоков в скважинах с коротким зумпфом; невозможность определения заколонных циркуляций без выхода в пространство обсадной колонны; определение малых расходов и т.д. В связи с чем развитие метода является актуальной задачей.

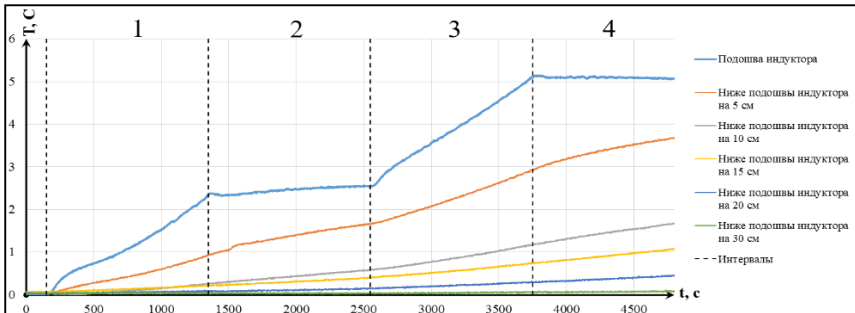


Рис. 1. Зависимость избыточной температуры от времени на прижимных датчиках. Шифр: 1,3 – период работы нагревателя (индуктора); 2,4 – период отключения индуктора

Разработанный метод «Активная термометрия», суть которого заключается в создании тепловой метки дистанционно управляемым нагревателем на металлической стенке скважины, затем в связи с такими явлениями как теплопроводность, конвективный теплообмен эта метка смещается по вертикальным и радиальным направлениям. Наблюдая за формированием, движением и расформированием тепловой метки метод позволяет решить следующие задачи: определение ЗКЦ «сверху», «снизу»,

без поступления в пространство обсадной колонны; определять сектор ЗКЦ; определять ЗКЦ в скважинах с коротким зумпфом; определять расход в малодебитных скважинах и т.д. Одной из первоочередных задач – это оптимизация размещения датчиков температуры относительно индуктора, а также учет влияния тепловой конвекции.

При определении заколонной циркуляции флюида сверху-вниз определены оптимальное расстояния (с отсутствием влияния теплопроводности металла, и конвективного движения) между индуктором и распределенными датчиками, которое составляет от 40 см ниже индуктора.

### **Литература**

1. Яруллин Р.К., Яруллин А.Р., Валиуллин А.С., Валиуллин М.С., Тихонов И.Н. Оптимизация аппаратно-технологического комплекса промыслово-геофизических исследований действующих горизонтальных скважин // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. Т. 126. № 4. – С. 19–28.

© Хайбуллин А.Д., Космылин Д.В., 2024

## ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОЛОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ СНИЗУ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Ковалев А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В условиях высоких температур и давлений затвердевание цементного камня сопровождается образованием в нём разветвлённой сети пронизываемых каналов, благоприятствующих возникновению перетоков. В связи с этим обстоятельством ощущается острая необходимость в разработке и внедрении новых технологий, которые позволили бы с высокой точностью определить наличие заколонных перетоков в участках ствола скважины, окружённых пронизываемым цементным кольцом.

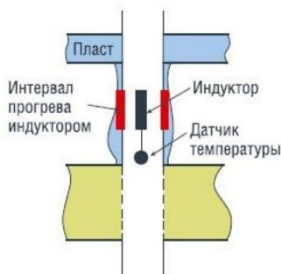


Рис. 1. Упрощённая схема проведения исследований с применением метода индукционного нагрева

Рассматриваемый в настоящей работе метод индукционного нагрева (рис. 1), который основан на исследовании в стволе скважины искусственного температурного поля, созданного локальным нагревом участка металлической обсадной колонны [1], является одним из самых перспективных среди тех, что позволяют с достаточной точностью выделить интервалы заколонной циркуляции. Исследования с применением вышеуказанного метода проводят с помощью распределённых над нагреваемым участком и под ним датчиков температуры (см. рис. 1), позволяющим вести наблюдение за эволюцией создаваемых при индукционном воздействии на обсадную колонну возмущений теплового поля, которое и позволяет определить интервалы движения жидкости за ней [1].

### Литература

1. Активная термометрия. Оценка технического состояния и работающих интервалов в действующих скважинах / Р.А. Валиуллин [и др.] // Neftegaz.RU. – 2022. – № 7. – С. 32–37.

© Ковалев А.А., 2024

**ИЗУЧЕНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА  
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ  
СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН**

Матюшина А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Литоплотностной каротаж является одним из направления гамма-гамма-каротажа. Прибор применяемый в литоплотностном каротаже состоит из зонда гамма-гамма-каротажа селективного и двух зондов гамма-гамма-каротажа плотностного. Совмещение двух методов позволяет дифференцировать разрезы нефтяных скважин по литологии, выделять коллектора и определять их пористость.

В качестве объекта исследования была взята скважина Могутовского месторождения Башкирского яруса, которая находится Бузулукской впадине оренбургской области. Главной особенностью геологического строения Бузулукской впадины является интенсивная расчлененность фундамента и покрывающих его терригенных и карбонатных толщ девона и карбона на множество протяженных структурно-блоковых ступеней и их систем, разделенных разломами.

В карбонатных разрезах, из-за влияния литологии на определение пористости, проводятся измерения литоплотностного гамма-гамма каротажа (ГГК-ЛП), который позволяет регистрировать рассеянные гамма-кванты с низкой энергией менее 100 кэВ (фотоэффект), зависящие от эффективного атомного номера среды  $Z_{эф}$ . Заряд среды может характеризоваться, так называемым, индексом фотоэлектрического поглощения  $P_e$ , который пропорционален сечению фотоэффекта на электрон. За счет полученных данных можно расчетным путем определить литологический состав разреза, а также выявить возможные зоны наличия полезных ископаемых.

Интерпретация по литоплотностному каротажу хорошо согласуется со стандартным комплексом геофизических исследований скважин. В процессе выполнения работы были проведены анализ и обработка данных, полученных при проведении литоплотностного каротажа на скважине Могутовского месторождения Башкирского яруса.

**Литература**

1. Геологические строение и нефтегазоносность оренбургской области: учебное пособие / Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1977 – 272 с.
2. Нестеренко М.Ю. Геолого-промысловая характеристика месторождений Бузулукского бора: электронный журнал /

М.Ю. Нестеренко // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2015. – № 2. – С. 4–6.

3. Требян Г.Ф., Чарытин Н.В. Нефти месторождений советского союза: справочник / Г.Ф. Требян, Н.В. Чарытин – 2-ое изд. – Москва: Недра, 1980 – 583 с.

4. Первушин, В.В. Методические и технические средства повышения эффективности метрологического обеспечения аппаратуры гамма – гамма каротажа для нефтяных и газовых скважин : специальность 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»: Диссертация на соискание кандидата технических наук / Первушин, В.В. – Москва, 2017. – 120 с.

5. Сковородников, И.Г. Геофизические исследования скважин: учебное пособие / И.Г. Сковородников – 3-е изд. – Екатеринбург: Институт испытания, 2009 – 471 с.

© Матюшина А.А., 2024



## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОЛЛЕКТОРОВ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО ГАММА-КАРОТАЖА

Алимова М.Р., Вахитова Г.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Основой геологической интерпретации данных спектрометрического гамма-каротажа (СГК) является корреляция содержания урана (U), тория (Th) и калия (K) в горных породах глубинных отложений с их литологическими и петрофизическими свойствами, а также генезисом этих отложений. Цель данной работы заключается в прогнозе трещиноватости терригенно-карбонатных отложений нескольких участков Чинаревского месторождения по результатам спектрометрического гамма-каротажа.

При спектральном гамма-каротаже определяют суммарную естественную радиоактивность породы и раздельное содержание в ней калия, урана и тория. Для чистых карбонатных пород характерно низкое содержание K, U и Th и соответственно низкая гамма-активность. Обогащение карбонатных пород глинистым материалом отмечается спектральным гамма-каротажем максимумом на кривой ГК и увеличением содержания K, U и Th. В отдельных случаях против карбонатных пород наблюдается повышенная гамма-активность по ГК при низком содержании K и Th, но высокой концентрации U. Эти интервалы совпадают с трещиноватыми и высокопродуктивными зонами карбонатных отложений [1,2,3].

При выполнении данной работы проанализированы скважинные данные с СГК, а также методы пористости и получены следующие результаты:

1. выполнена оценка высокой гамма-активности;
2. выполнен расчёт пористости;
3. выполнена интерпретация данных СГК и оценены интервалы трещиноватых пород по соотношению U/Th;
4. определена связь проницаемых трещин с величиной проницаемости, измеренной на керне;
5. выполнен расчёт КТИ ( $K \cdot Th$ ) в сланцевых отложениях;

Таким образом, была доказана эффективность использования СГК для выделения зон трещиноватости в однородных неглинистых карбонатных участках, что особенно актуально в настоящее время при поисках и освоении сложнопостроенных низкопроницаемых коллекторов.

### Литература

1. W. Fertl, G. Chilingarian, T. Yen. Use of Natural Gamma Ray Spectral Logging in Evaluation of Clay Minerals // Published 1 October 1982. Geology Energy Sources / DOI:10.1080/00908318208946036 Corpus ID: 140538876.

2. Дудаев С.А. Геолого-геофизическое обеспечение технологий выделения, оценки и освоения нетрадиционных глинистых коллекторов Предкавказья // Докт. дисс., 2012. Уфа.

3. Вахитова Г.Р., Галимов Р.А., Гумерова А.И., Шайбекова Г.Ф. Прогноз трещиноватости карбонатных отложений по результатам интерпретации спектрометрического гамма-каротажа // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. № 6 (366). 2022 – стр.11-17. DOI: 10.33285/2413-5011-2022-6(366)-11-16.

© Алимова М.Р., Вахитова Г.Р., 2024

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛАБЫХ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ  
СТРУКТУРЫ БИОПОЛИМЕРОВ**

Каримов А.Р., Петунин Н.М.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
г. Москва, Россия

Переходы между различными конформационными состояниями макромолекулы, разделенными барьерами, превышающими тепловую энергию, происходят, как правило, за счет энергии гидролиза АТФ [1]. Однако, есть и другая возможность, когда допустимые состояния макромолекулы могут формироваться под действием внешних факторов, например, электромагнитных полей, способных менять существующее конформационное состояние, организуя определенным образом энергию внутренних колебаний. В этом случае энергия, необходимая для такого перехода, должна накапливаться в некоторой выделенной моде, что может достигаться за счет диссипативных связей между отдельными мономерами. Роль таких диссипативных связей в биологических макромолекулах могут выполнять полярные молекулы воды в гидратной оболочке белковой молекулы или боковые группы аминокислотных остатков в белковой цепи [2].

В настоящей работе реализация такого механизма обсуждается в рамках простейшей модели взаимодействия нелинейных осцилляторов, связанных диполь-дипольным взаимодействием с учетом внешней гармонической силы, моделирующей электромагнитное излучение. Получена оценка энергии, необходимой для разрушения полимерной цепочки. Построены и проанализированы зависимости амплитуды колебаний мономера от частоты электромагнитных волн и номера частицы для немодулированного сигнала, а также сигнала, модулированного по амплитуде.

**Литература**

1. Перельмутер В.М., Ча В.А., Чуприкова Е.М. Медико-биологические аспекты взаимодействия электромагнитных волн с организмом. – Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2009.
2. Карнаухов А.В., Пономарев В.О. Диссипативный резонанс – новый класс физических явлений. Некоторые подходы к аналитическому описанию // Биомедицинские технологии и электроника. 2001. № 8.

© Каримов А.Р., Петунин Н.М., 2024

УДК 552.54, 550.832

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ПО ЛАБОРАТОРНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ КЕРНА И ДАННЫМ ГИС

Мухутдинов В.К.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящее время особый интерес для недропользователя представляют карбонатные отложения подольского и каширского горизонтов, в которых сосредоточены более 40 % остаточных извлекаемых запасов нефти. Отложения характеризуются сложностью литологического состава и структуры пустотного пространства.

Для сложных коллекторов коэффициент общей пористости  $K_p$  породы, содержащей межзерновые поры, трещины и каверны, определяется уравнением:

$$K_p = (V_{п_мз} + V_t + V_{кав})/V = (k_{п_мз} + k_t + k_{кав}),$$

где  $V_{п_мз}$ ,  $V_t$ ,  $V_{кав}$  – объемы пор (межзерновых), трещин и каверн соответственно;  $k_{п_мз}$ ,  $k_t$ ,  $k_{кав}$  – коэффициенты межзерновой пористости, трещиноватости и кавернозности соответственно.

По исследованиям ГИС распределение пор, каверн и трещин по величине объемной сжимаемости получено путем расчета теоретических кривых по методике В.М. Добрынина для доломитов и известняков, с учетом конкретных термобарических условий залегания пластов каширо-подольских отложений.

Рассчитанная палетка для каширо-подольских отложений позволила проанализировать тип пустотного пространства коллекторов, путем определения соотношения коэффициента сжимаемости каверн или трещин к коэффициенту сжимаемости пустотного пространства.

### Литература

1. Промысловая геофизика: учебник для вузов / Добрынин В.М. [и др.]; под ред. В. М. Добрынина. – М.: Недра, 1986. – 342 с.

© Мухутдинов В.К., 2024

УДК 536, 550.3

## **АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЕ ПРИ ЗАКОЛОННОМ ПЕРЕТОКЕ СНИЗУ**

Хуссамов Р.И., Закиров М.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Метод термометрии широко используется при проведении различного рода промысловых исследований. Физические основы термометрии и термогидродинамические процессы, происходящие в пласте, на сегодняшний день изучены хорошо. Проблема обводненности скважин может быть связана с нарушением целостности цемента с последующим образованием ЗКЦ. Данный параметр тяжело оценивать из-за его расположения.

Моделируемые кривые температуры основываются на математическую модель термогидродинамических процессов в системе «ствол скважины – совместно эксплуатируемые пласты», учитывающей все известные физические эффекты. Температурная модель скважины учитывает конвективный теплоперенос, теплообмен с окружающей средой. Заколонные перетоки моделируются кольцевым течением флюида в затрубном пространстве из пластов – источников обводнения. Негерметичность обсадной колонны моделируется как приток флюида (воды) в скважину из перфорированного пласта небольшой мощности.

В ходе исследований были обработаны скважины как с теоретическими данными, так и с полевыми. По результатам обработки в термосимуляторе были определены такие параметры как проницаемость, доля дебита, доля перетока в общем дебите. Задача определения интервала заколонного перетока и дебита жидкости в канале перетока может быть решена в численном симуляторе PSim.

### **Литература**

1. Валиуллин Р.А., Яруллин Р.К. Геофизические исследования и работы в скважинах. В 7 томах. Том 3. Исследования действующих скважин – Уфа: Информреклама, 2010. – 184 с.
2. Валиуллин Р.А., Рамазанов А.Ш. Термические исследования при компрессорном освоении нефтяных скважин. – Уфа: изд-во Башк. Госуд. Ун-та, 1992. – 168 с.

© Хуссамов Р.И., Закиров М.Ф., 2024

## **АНАЛИЗ ДАННЫХ ГИС СОВРЕМЕННЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ**

Абдуллина М.Р., Ремеев И.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящее время задачи промыслово ПГИ заметно расширились и включают в себя следующее:

- 1) изучение геологического разреза скважин;
- 2) опробование пластов и отбор образцов со стенок скважины;
- 3) изучение технического состояния скважин;
- 4) проведение прострелочных и взрывных работ в скважинах;
- 5) контроль за разработкой месторождений нефти и газа. [1]

За счёт расширения области решаемых задач неумолимо растёт количество данных, получаемых с месторождений. Помимо этого, с каждым годом увеличивается количество эксплуатируемых и разрабатываемых скважин, появляются новые модификации методов. В следствие увеличения числа сведений появляется проблема длительности сроков анализа данных. Решение состоит в том, чтобы сократить время, необходимое для обработки и интерпретации. Для ускорения обработки данных ГИС возможно использовать ИИ.

В данной работе был подготовлен массив данных, на котором проведено обучение полносвязной модели нейронной сети. В результате получены тепловые карты для отдельных пластов; графики процентной точности определения методов ГИС в зависимости от количества эпох обучения модели, на которых в определённых случаях наблюдалось переобучение нейронной сети.

Для сравнения результатов использовался тот же датасет, обработанный другими методами анализа. Было проведено сравнение средних значений и дисперсий и построен кросс-плот с данными по средним значениям кривых и их дисперсий.

### **Литература**

1. Валлиулин Р.А. Геофизические методы и работы в скважинах: в 7 томах, Т. 1. Промысловая геофизика / Р.А. Валлиулин, Л.Е. Кнеллер; под ред. Я.Р. Адиева. - Уфа: Информреклама, 2010. – 172 с.

© Абдуллина М.Р., Ремеев И.С., 2024

УДК 532.546

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ НАРУШЕНИИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КОЛОННЫ И ЦЕМЕНТНОГО КОЛЬЦА В ЗУМПФЕ ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ**

Автушенко О.А., Давлетшин Ф.Ф.

Уфимский университет наук и технологий, г. Уфа, Россия

Проблема обводнения нефтяных скважин в последнее время становится всё более актуальной. Часто это связано с заколонными перетоками и негерметичностью колонны. Методы промысловой геофизики позволяют определить участки заколонной циркуляции жидкости и негерметичности колонны. После получения данной информации, участок негерметичности герметизируется, и обводненность уменьшается. Выявление и оценка степени утечек в колонне являются ключевыми задачам при мониторинге добычи нефти и газа.

Целью работы является исследование температурного поля при нарушении герметичности колонны и цементного кольца в зумпфе добывающей скважины.

Режим температуры в скважине определяется различными воздействующими факторами, такие как геотермальное распределение температуры, свойства пласта, состав флюида, наличие газа, содержание воды, скорость потока жидкости, давление насыщения и режим работы скважины. Этот режим определяется воздействием баротермического эффекта, эффекта Джоуля-Томсона, адиабатических и калориметрических эффектов, конвективного теплообмена, разгазирования и теплопроводности [1].

Для анализа поведения термограммы, были смоделированы распределения температуры в скважине при заколонной циркуляции жидкости (ЗКЦ), негерметичности забоя и негерметичности обсадной колонны (НОК) в симуляторе PSim. Также изучено влияние дебита утечек на термограммы и обработан практический материал.

Таким образом, рассмотрены различные нарушения технического состояния в зумпфе скважины. Показали, как выглядят типовые термограммы и как на промысловых примерах можно эти случаи распознать.

### **Литература**

1. Р.А. Валиуллин, В.Ф. Назаров, А.Ш. Рамазанов, В.Я. Федотов, А.И. Филиппов, Р.К. Яруллин. Методические рекомендации по термическим исследованиям скважин. - Уфа: изд-во Башк. Госуд. Ун-та, 1989.

© Автушенко О.А., Давлетшин Ф.Ф., 2024

## **МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ КОНДЕНСАТА В ПЛАСТАХ**

Буджогра С., Шарафутдинов Р.Ф., Канафин И.В.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Исследование температурных полей в процессе образования конденсата в пластах является одной из ключевых задач теплофизики и геологии [1-10]. Многопараметрический подход в данных исследованиях необходим, поскольку на процесс конденсации влияют такие факторы, как изменение давления, потоки жидкостей и температурные изменения в системе. Эти исследования особенно важны для нефтегазовой промышленности.

Процесс образования конденсата связан со сложными взаимодействиями многофазных систем, включая перенос тепла и массы в пластах. Важным инструментом для анализа процессов при фильтрации газоконденсата являются законы термодинамики, которые описывают фазовые переходы и свойства тепло- и массопереноса в системе скважина-пласт.

Приведенные в работе результаты, многопараметрического исследования температурного поля при образовании конденсата в пластах и полученные зависимости температурного поля от рассмотренных параметров, особенности формирования температурного поля при фильтрации газового конденсата могут быть полезны при интерпретации данных термометрии в скважинах, эксплуатируемых газоконденсатную залежь.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-77-01066, <https://rscf.ru/project/23-77-01066/>).*

### **Литература**

1 Лукашенко А., Тепловые поля в геологических структурах, Российский журнал наук о Земле, 2019.

2. Шарафутдинов Р.Ф., Канафин И.В., Буджогра С. (2023).

Исследование температурного поля в газоконденсатных пластах с учетом термодинамических эффектов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. Том 9. № 4 (36). – С. 18–30. <https://doi.org/10.21684/2411-7978-2023-9-4-18-30>.

© Буджогра С., Шарафутдинов Р.Ф., Канафин И.В., 2024



**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСА  
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ПРИ ОЦЕНКЕ  
КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

Шайхиуров Ш.Н., Вахитова Г.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Оценка фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород со сложным минеральным составом и сложной структурой пустотного пространства по данным геофизических исследований скважин (ГИС) является необходимой для определения геологических и петрофизических свойств пласта, а также для определения литологического состава [1].

Целью работы является изучение особенностей строения и оценка коллекторских свойств сложного карбонатного объекта на основе интерпретации комплекса методов ГИС.

Стандартными методами ГИС были выделены границы коллекторов по разрезу скважины, оценена пористость методами НК, ГГК-п, АК, выполнен прогноз проницаемости, дана оценка характера насыщенности и коэффициента нефтенасыщенности. С целью определения минерального состава глин и построения объемной литологической модели был выполнен анализ данных спектрометрического гамма-каротажа (СГК).

Таким образом, в результате данного исследования решены геологические задачи в карбонатных отложениях башкирского яруса Могутовского месторождения:

- а) определен минеральный состав глин по анализу массовой доли тория и калия в изучаемом интервале глубин, это преимущественно глауконит и иллит;
- б) построена объемная литологическая модель геологического разреза скважины;
- г) рассчитана величина вторичной пористости в известняках башкирского яруса.

С целью детального анализа комплекса ГИС и решения более широкого круга геологических задач стандартных методов ГИС недостаточно, необходимы специальные методы, такие как спектрометрический гамма-картаж.

**Литература**

1. Мусин К.М., Шарифуллина Г.Р., Кандаурова Г.Ф., Нафиков А.З. Интерпретация данных ГИС сложных карбонатных коллекторов старого фонда скважин – нестандартные решения. Георесурсы. № 1(16). 2005. – С. 40–42.

2. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин: Справочник / Под. Ред. В.М. Добрынина. – М.: Недра, 1988.

© Шайхиуров Ш.Н., Вахитова Г.Р., 2024

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИСКВАЖИННОЙ ЗОНЕ НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ МНОГОФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

Гирфанов И.И., Исламов Д.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Исследование термогидродинамических процессов в прискважинной зоне неоднородных пластов представляет собой актуальную и важную область в геологии и нефтегазовой промышленности. С учетом постоянного увеличения сложности и глубины разработки месторождений, понимание процессов, происходящих в неоднородных пластах, становится ключевым фактором для эффективной эксплуатации месторождений.

Важно учитывать различные факторы, такие как многофазность фильтрующейся и неоднородность проницаемости пласта.

В данной работе были рассмотрены термогидродинамические процессы, происходящие в прискважинной зоне неоднородных пластов при многофазной фильтрации. Основной целью исследования было выявление методов выявления радиальной неоднородности, моделирование притока многофазной жидкости из неоднородного пласта и интерпретация полевых данных.

### **Литература**

1. Сулейманова М.Д., Шарафутдинов Р.Ф., Канафин И.В.

Исследование распределения температуры в неоднородном пласте при фильтрации флюида с учетом термодинамических эффектов // Вестник Тюменского государственного университета. Серия: Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2023. – Т. 9, № 1 (33). – 2023.

© Гирфанов И.И., Исламов Д.Ф., 2024

**ИССЛЕДОВАНИЕ БАРОТЕРМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА  
ПРИ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ И НЕФТИ  
В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ**

Фазылова Д.А., Рамазанов А.Ш.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Термометрия является одним из наиболее распространенных методов для исследования различных задач, в промысловой геофизике. Но большинство существующих методик разработаны для однофазного потока. Поэтому возникает большой интерес к теоретическим исследованиям термометрии для случая многофазного потока.

При добыче нефти часто возникает замещение нефти водой или газом, как в естественных условиях разработки месторождения, так и при использовании методов поддержания пластового давления (ППД). При разработке газовых и газоконденсатных месторождений, часто возникает явление многофазной фильтрации, связанное с замещением нефти водой или газом. Переход компонентов между фазами при многофазной фильтрации изменяет состав и свойства фильтрующих сред, что необходимо учитывать при моделировании таких процессов.

Целью научной работы является исследование баротермического эффекта при двухфазной фильтрации воды и нефти в пористой среде. Решаются задачи математического моделирования неизотермической фильтрации воды и нефти с учетом термодинамических эффектов.

В ходе проведения научной работы рассмотрены параметры многофазной фильтрации воды и нефти в пласте, вводится понятие функции Баклея-Левретта и уравнение Раппопорта-Лиса. Проводится математическая постановка задачи и приводится решение, на основе которого разрабатывается программа для моделирования неизотермической двухфазной фильтрации с учетом термодинамических эффектов. Проводится моделирование изменения температуры при двухфазной фильтрации воды и нефти.

Проведенные расчеты показали, что с ростом обводненности уменьшается разогрев. При одном и том же общем дебите с ростом обводненности сигнал из зоны неоднородности наблюдается раньше. Для детального анализа рекомендуется проводить анализ данных в полулогарифмических координатах.

**Литература**

1. Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. – М.: Недра, 1965. – 238 с.

2. Рамазанов А.Ш. Аналитические модели в скважинной термометрии. Учебное пособие. – Уфа: ИНФРА-м, 2023 Г. – 172 с.

3. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Каневская Р.Д., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. – 488 с.

© Фазылова Д.А., Рамазанов А.Ш., 2024

## ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОДУКТИВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ АЧИМОВСКОЙ СВИТЫ

Каримова Д.Ф., Вахитова Г.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Ачимовская свита в границах Вынгапуровского месторождения характеризуется высокой степенью неоднородности и сложным строением. Горные породы-коллекторы представлены преимущественно песчаниками, полевыми шпатами, алевролитами, глинистыми минералами [1]. Для продуктивных коллекторов характерны низкая пористость и проницаемость, они являются гидрофильными, в то же время содержат значительные запасы нефти. В связи с этим, продуктивные отложения отмечаются низкими значениями сопротивления [2]. Оценка петрофизических свойств такого рода коллекторов по результатам геофизических исследований скважин (ГИС) осложнена. Вместе с тем, результаты интерпретации ГИС необходимы как входные параметры при построении геологической модели.

В связи с этим, цель моей работы заключается в интерпретации комплекса скважинных данных и построении геологической модели ачимовских отложений.

Таблица 1. Результаты интерпретации ГИС

Скважина	Кровля, м	Подшва, м	Н, м	Кгл, д.е	Кп_пс, д.е	Кпр, мд	ИК, Омм	Кн, д.е	Насыщение
244	2941	2942,2	1,2	0,097	0,17	1,82	9,69	0,49	Нефтенасыщ.
244	2948,6	2949,6	1	0,08	0,19	4,59	9,27	0,44	Нефтенасыщ.
244	2950,6	2952	1,4	0,073	0,19	6,77	7,5	0,48	Нефтенасыщ.
244	2959,2	2963	3,8	0,052	0,21	24,25	7,34	0,38	Водонасыщ.
244	2963,6	2965,6	2	0,086	0,18	3,25	6,5	0,31	Водонасыщ.
244	2966,4	2968	1,6	0,083	0,18	3,87	5,83	0,33	Водонасыщ.
244	2970,2	2971	0,8	0,085	0,18	3,42	6,02	0,3	Водонасыщ.
244	2972,2	2974,8	2,6	0,081	0,18	4,38	5,39	0,29	Водонасыщ.
244	2977,4	2978,4	1	0,085	0,18	3,5	5,6	0,28	Водонасыщ.
244	2980,2	2982	1,8	0,083	0,18	3,78	5,21	0,33	Водонасыщ.
244	2982,4	2984	1,6	0,083	0,18	3,78	6	0,33	Водонасыщ.
244	2987,4	2989	1,6	0,074	0,19	6,39	5,56	0,36	Водонасыщ.
244	2989,6	2990,4	0,8	0,083	0,18	3,78	6,47	0,34	Водонасыщ.
41	2773,4	2774,8	1,4	0,11	0,16	0,94	9,7	0,42	Нефтенасыщ.
41	2775,2	2776	0,8	0,078	0,19	4,98	15,85	0,6	Нефтенасыщ.
41	2777	2778,1	1,1	0,093	0,17	2,28	11,6	0,51	Нефтенасыщ.
41	2778,6	2779,4	0,8	0,124	0,15	0,48	8,45	0,34	Нефтенасыщ.
41	2780,7	2781,7	1	0,15	0,13	0,13	7,4	0,19	Нефтенасыщ.
41	2787,1	2790,8	3,7	0,1	0,17	1,55	5,18	0,2	Водонасыщ.
41	2792,2	2794,3	2,1	0,093	0,17	2,24	5,71	0,25	Водонасыщ.
41	2794,8	2796,4	1,6	0,127	0,15	0,42	4,92	0,15	Водонасыщ.
41	2797,4	2798,3	0,9	0,127	0,15	0,4	5,24	0,14	Водонасыщ.
41	2798,9	2799,4	0,5	0,122	0,15	0,53	4,86	0,12	Водонасыщ.
41	2799,9	2801,9	2	0,102	0,17	1,43	6,04	0,28	Водонасыщ.
41	2802,5	2803,4	0,9	0,1	0,17	1,58	4,39	0,14	Водонасыщ.
41	2804	2804,8	0,8	0,131	0,15	0,34	4,53	0,05	Водонасыщ.
41	2805,6	2806,5	0,9	0,1	0,17	1,61	4,45	0,14	Водонасыщ.
41	2806,5	2809,9	3,4	0,078	0,19	5,15	3,92	0,17	Водонасыщ.
41	2809,9	2810,9	1	0,148	0,13	0,14	4,33	0,01	Водонасыщ.
41	2813,3	2816,6	3,3	0,075	0,19	5,98	4,87	0,27	Водонасыщ.
41	2817,2	2818	0,8	0,116	0,16	0,71	6,31	0,25	Водонасыщ.
41	2819,2	2820,9	1,7	0,094	0,17	2,2	5,66	0,26	Водонасыщ.

В процессе выполнения работы были проанализированы данные ГИС более, чем в 100 скважинах. Результаты интерпретации приведены в таблице 1. Определенные параметры пластов-коллекторов - эффективная мощность коллектора, величина пористости, проницаемости и коэффициента нефтенасыщенности - подавались на вход при построении геологической модели. При этом, были построены 2D карты этих параметров и 3D кубы, отражающие распределение петрофизических свойств в объеме пласта.

Анализ результатов моделирования позволил сформулировать рекомендации по применению мероприятий с целью повышения коэффициента нефтеизвлечения. Были рекомендованы области для бурения новой скважины и подобраны скважины для выполнения гидроразрыва пласта. На рисунке 1 приведена карта нефтенасыщенности с соответствующими областями.

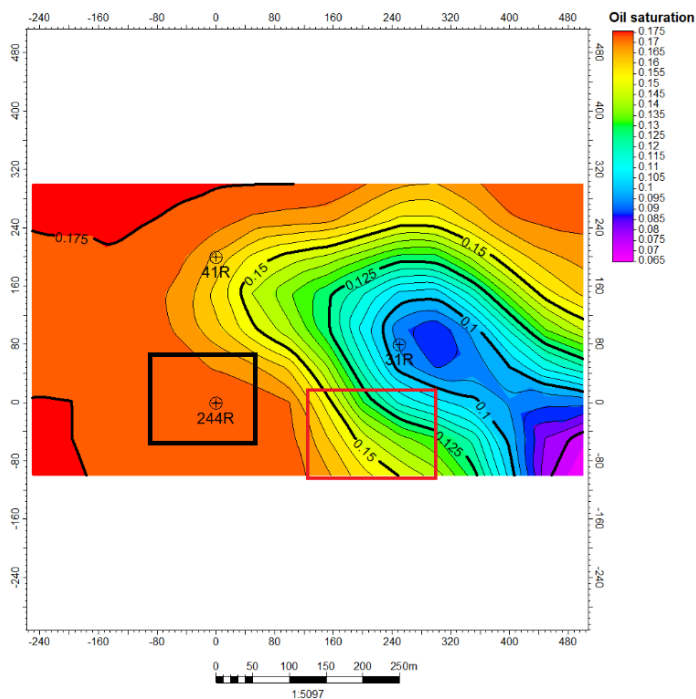


Рис. 1. Карта нефтенасыщенности с областью рекомендуемой к разбуриванию и ГРП

### **Литература**

1. Соин Д.А., Скоробогатов В.А. Катагенетический контроль формирования и размещения залежей углеводородов в ачимовских отложениях // Вести газовой науки. – 2014. – № 3[19]. – С. 62–2.
2. Геология и нефтегазоносность ачимовской толщи Западной Сибири / А.А. Нежданов, В.А. Пономарев, Н.А. Туренков, С.А. Горбунов. – М.: Академия горных наук, 2000. – 246 с.

© Каримова Д.Ф., Вахитова Г.Р., 2024



## **ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАСТА**

Гильманов Р.Я., Мухутдинов В.К.

Уфимский университет наук и технологий, г. Уфа, Россия

Особенности строения современных осадков и древних осадочных пород могут быть объединены в упрощенные модели, характеризующие конкретные осадочные обстановки. Достоверность фациальной модели зависит от количества используемого материала, положенного в ее основу, например, модели русел меандрирующих рек. В то же время модели могут быть составлены на ограниченном количестве материала и их можно постоянно дополнять новыми данными. Моделирование широко используется при поисково-разведочных работах на нефть и газ и в меньшей степени при поиске других полезных ископаемых во вмещающих осадочных породах

В результате выполнения работы собрана база с данными кривых ПС и ГК, определены границы фации, построена корреляционная схема, определены пористость, водородосодержание и глинистость.

Была составлена сводная таблица со средневзвешенными параметрами по пласту и фациям, анализ различий показал, что разница в определении по фациям и пласту может достигать 6% в абсолютном значении, данная информация позволит повысить эффективность проведенных геолого-технологических мероприятий при контроле за разработкой месторождения

### **Литература**

1. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел – литология ловушек нефти и газа. – М.: Недра, 1984. – 260 с.

© Гильманов Р.Я., Мухутдинов В.К., 2024

УДК 550.832.44

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ПРИТОКА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН ПО ДАННЫМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ШУМОМЕТРИИ**

Басимова А.Х., Мухутдинов В.К.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В последнее время наблюдается повышенный интерес к использованию спектральной шумометрии. Это может быть важным инструментом для выявления особенностей притока в горизонтальных скважинах.

Спектральная шумометрия высокотехнологична и эффективна при проведении контроля за разработкой месторождений. Её особенностью является отсутствие эффекта экранирования в условиях восходящего потока и инерционности замеров, устойчивость к механическому загрязнению датчика. [1]

В сравнении с традиционными методами промыслово-геофизических исследований (ПГИ), такими как расходометрия, термометрия, влагометрия и другие, спектральная шумометрия обладает большим преимуществом.

Метод спектральной шумометрии помогает более однозначно и достоверно решать такие задачи, как выделение работающих интервалов, оценка движения жидкости по заколонному пространству, техническое состояние скважины, нецелевая закачка в пласт. Также спектральную шумометрию можно использовать в качестве дополнительного метода для оценки движения жидкости по трещинам ГРП.

В результате выполнения работы было продемонстрировано что метод спектральной шумометрии является перспективным, позволяет более точно решать промысловые задачи в горизонтальных стволах нефтяных или газовых скважин.

В работе приведены результаты обработки замеров ПГИ в стволе горизонтальной скважины методами термометрии и расходометрии, а также спектральной шумометрии в трёх скважинах.

### **Литература**

1. Хайрова А.А. Геофизические методы контроля за разработкой месторождений // Нефть. Газ. Новации. – 2023. – № 2 (267). – С. 53–55.

© Басимова А.Х., Мухутдинов В.К., 2024

## СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

УДК 532.5

### ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЭМУЛЬСИИ ПРИ ВЧ И СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ОБЛУЧЕНИИ

Камалтдинов Р.М., Ковалева Л.А., Зиннатуллин Р.Р.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Прочно установившаяся роль углеводородного сырья в современном мире вызывает необходимость разрушения промежуточных слоев в вертикальных стальных резервуарах (РВС) при подготовке и транспортировке нефти, так как ловушечная нефть является перспективным сырьем для получения широкого ассортимента нефтепродуктов. На сегодняшний день промежуточный слой в отстойной аппаратуре сбрасывается в амбары-шламонакопители, что пагубно влияет на экологическую обстановку нефтегазодобывающих регионов [1].

Важнейшими техническими проблемами при разрушении промежуточных слоев являются повышенная устойчивость. Стойкость эмульсии обусловлена наличием в нефти большого количества природных стабилизаторов (смола, асфальтены, парафины), деэмульгатора и механических примесей (в РВС нефтеперекачивающей станции (НПС) это преимущественно продукты коррозии, в РВС установки подготовки нефти (УПН) — песок, ил, продукты коррозии).

В данной работе предложен способ разрушения высокоустойчивых промежуточных слоев с помощью химического реагента (35% уксусной кислотой) для удаления механических примесей, усиливающих устойчивость эмульсии, а также с помощью дальнейшего воздействия ЭМП полем для отслоения воды из эмульсии. Анализ полученных результатов показал, что после воздействия химическим реагентом твердые частицы выпали в осадок и отслоилась вода. После обработки ВЧ и СВЧ электромагнитными полями в статическом режиме отслоившей нефтяной фазы визуально объемного отслоения воды не наблюдалось. Однако, изучение микроструктуры обработанных ЭМ полем проб эмульсии показало, что ЭМ воздействие меняет количество/размеры/объем капель воды.

#### Литература

1. Баширова Э.Р., Хуснуллин И.М., Беленкова Н.Г. // Нефтегазовое дело, 2022, т. 20, № 6. – С. 88–97.

© Камалтдинов Р.М., Ковалева Л.А., Зиннатуллин Р.Р., 2024

УДК 532.5 519.6

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ УПАКОВКИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТОЛБИКОВ**

Галиева К.А., Гарифуллин И.Ш.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Новейшие разработки в сфере электронных устройств, недавний прогресс в их миниатюризации и сложность дизайна приводят к значительному повышению температуры микропроцессоров и возникновению локальных точек перегрева, что может привести к преждевременной поломке устройства [1]. Решением этой проблемы являются микроканальные теплообменники, которые за счет крайне высокого отношения площади поверхности к объёму, способны рассеивать тепловые потоки до  $10\text{МВт/м}^2$  [2]. Главными преимуществами таких устройств являются их эффективность, компактность, долговечность и возможность экспериментов с дизайном.

Основная задача заключается в подборе такой геометрии микроканалов, которая обеспечивает наименьший расход хладагента, эффективный теплообмен, а также оптимальные, реализуемые на практике, гидродинамические характеристики. Настоящая работа посвящена исследованию изменения пространственного расположения элементов внутренней структуры в плоском микроканале и его влиянию на пропускную способность элемента микрофлюидного устройства. Были проведены лабораторные исследования на нескольких конфигурациях ПДМС чипов с фиксированной долей общей пустотности. В ходе эксперимента изучено влияние структуры микроканалов на распределение потока между областями с различными гидравлическими диаметрами, была установлена зависимость между входным давлением и расходами хладагента.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00697, <https://rscf.ru/project/24-19-00697/>.*

### **Литература**

1. Bar-Cohen A., Wang P. Thermal management of oh-chip hot spot // Journal of Heat Transfer 134(5) 2009.
2. Naqiuddin N. H. et al. Overview of micro-channel design for high heat flux application // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Т. 82. – С. 901–914.

© Галиева К.А., Гарифуллин И.Ш., 2024

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В  
МИКРОКАНАЛАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

Курбанова С.С., Биккинина Н.Б.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Микрофлюидные устройства, такие как микромасштабные системы охлаждения, используемые в интегральных схемах, требуют учета как свойств жидкости, так и геометрических параметров. Понимание процессов, протекающих в таких устройствах, является важным фактором для оптимизации данных систем. Микротеплообменники — это устройства, предназначенные для теплопередачи на микроуровне, то есть на масштабах порядка микрометров. Они отличаются от традиционных теплообменников своими малыми размерами и высокой плотностью теплопередачи. Микротеплообменники используются в ситуациях, где требуется высокая эффективность теплопередачи в ограниченном пространстве

В данной работе рассматривается медленное течение вязкой несжимаемой жидкости при заданном перепаде давления. Геометрия расчётной области представлена в следующем виде – плоский микроканал, внутри которого распределены столбики круглого поперечного сечения с двумя масштабами упаковки [1]. Предполагается, что инерционными силами можно пренебречь в связи с медленным течением жидкости, характерным для процессов на микромасштабе. Таким образом, установившееся течение жидкости можно описать уравнением Стокса и уравнением неразрывности. На удельной поверхности канала задается условие прилипания, а на входе и выходе микроканала задается условие периодичности.

Для решения задачи использовался программный модуль, основанный на методе граничных элементов (МГЭ). МГЭ демонстрирует эффективность при решении трехмерных задач в областях со сложной геометрией [2]. Главным достоинством МГЭ является отсутствие необходимости дискретизации всей трехмерной области, поскольку все расчеты физических параметров связаны только с границами рассматриваемых областей.

Проведены расчеты в микроканалах с различным взаимным расположением и числом структурных элементов с поперечным сечением в виде круга. Показано, что величина удельной поверхности среды играет важную роль в определении её пропускной способности, и влияние может быть разнообразным в зависимости от конкретного типа среды и условий ее функционирования.

Полученные результаты могут быть использованы для решения прикладных задач, например, при конструировании микрофлюидных устройств. Исследования и разработки в области дизайна микротеплообменников продолжаются с целью улучшения их конструкции, оптимизации процессов теплообмена, разработки новых материалов и технологий. Это позволяет создавать все более эффективные и экономичные решения для тепловых процессов в различных областях применения.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00697 <https://rscf.ru/project/24-19-00697/>*

### **Литература**

1. Солнышкина О.А., Батыршин Э.С., Питюк Ю.А. Исследование гидродинамических потоков в микромоделях сред с двойной пористостью // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2021. № 4. – С. 9–18.
2. Солнышкина О.А., Фаткуллина Н.Б., Булатова А.З. Трехмерное моделирование однофазных и многофазных течений в микроканалах с неровностями // Сибирский журнал индустриальной математики. 2023. Т. 26. № 2. – С. 130–141.

© Курбанова С.С., Биккинина Н.Б., 2024

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНЕ**

Байкова Р.А., Давлетбаев А.Я.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

При моделировании распределения давления в системе «трещина-пласт», как правило, емкостные свойства трещины (пористость и общая сжимаемость системы) принимаются равными свойствам продуктивного пласта [1]. При этом лабораторные исследования на пропантной пачке и данные производителей пропанта показывают, что эти параметры могут отличаться от свойств породы в несколько раз. В данной работе выполнено численное исследование влияния параметров трещины гидроразрыва пласта (ГРП), которые кратно отличаются от параметров продуктивного пласта, на кривые изменения давления в процессе эксплуатации добывающей скважины с постоянной величиной притока [2].

В процессе сравнения результатов численного моделирования работы добывающей скважины с трещиной ГРП в программном комплексе «РН-ВЕГА» установлено, что в случае, когда емкостные свойства трещины принимаются равными свойствам продуктивного пласта, выход на линейный режим происходит раньше, чем в случае, когда сжимаемость пласта больше сжимаемости трещины. Поэтому для достоверной оценки фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) продуктивного пласта и трещины важно учитывать подобное различие.

### **Литература**

1. Давлетбаев А.Я., Фильтрация жидкости в пористой среде со скважинами с вертикальной трещиной гидроразрыва пласта // Инженерно-Физический Журнал 2012. ТОМ 85 №5 (108). – С. 919–924.
2. Гидродинамические исследования скважин в низкопроницаемых коллекторах / А.Я. Давлетбаев, Г.Ф. Асалхузина, Р.Р. Уразов, В.В. Сарапулова. – Новосибирск: ООО «ДОМ МИРА», 2023. – 176 с. ISBN 978-5-6049467-7-0
3. <https://rn.digital/rnvega/>

© Байкова Р.А., Давлетбаев А.Я., 2024

**МЕЖПЛАСТОВЫЕ ПЕРЕТОКИ В ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ**

Деяткин А.А., Филиппов А.И., Зеленова М.А.

Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
г. Стерлитамак, Россия

В многопластовой залежи при наличие высоконапорных пластов возникают перетоки воды или нефти через ствол скважины, которые не исчезают даже при работе насосного оборудования. Причиной перетоков является различие пластовых давлений, возникающие при разработке месторождений нефти и газа сложного строения.

В работе [1] создана математическая модель межпластовых перетоков учётом отбора жидкости из скважины. На рис. 1 представлена геометрия задачи, которая сформулирована в цилиндрической системе координат, ось  $z$  которой совпадает с осью скважины радиуса  $r_0$ . Анизотропный перфорированный объект разработки представлен двумя пластами  $0 < z < h$  (толщиной  $h$ ) и  $H < z < H + h_1$  (толщиной  $h_1$ ). Для учёта слоистой неоднородности пластов полагается, что компоненты тензора проницаемости  $k$  и  $k_1$  и пористость  $m$  и  $m_1$  зависят от вертикальной координаты  $z$ .

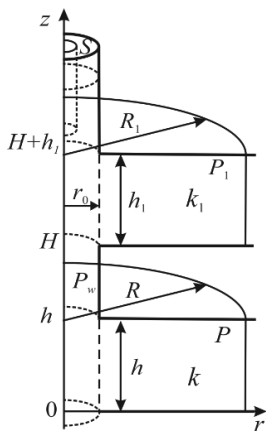


Рис. 1. Геометрия задачи

Постановка задачи содержит уравнения пьезопроводности для пластов, уравнение для поля давления в скважине с учётом отбора жидкости, начальные условия и условия сопряжения. решение задачи найдено в пространстве изображений Лапласа–Карсона. Нахождение оригиналов изображения аналитическими методами затруднено.

Создана программа для расчётов пространственно-временных распределения давления в пластах и скважине, а также дебита перетока при различии напора в пластах. В основу программы положен алгоритм Штефеста численного обращения. Выполнены расчёты пространственно-временных зависимостей полей давления после пуска скважины с двумя

перфорированными пластами, один из которых представляется высоконапорным. Построены графики зависимости потока жидкости между пластами от времени при различных перепадах пластовых давлений.



### **Литература**

1. Филиппов А.И., Зеленова М.А., Ахметова О.В., Левина Т.М., Губайдуллин Р.Г. Межпластовые перетоки в скважине // Нефтегазовое дело. – 2023. – Т. 21. – № 3. – С. 37–48.

© Девяткин А.А., Филиппов А.И., Зеленова М.А., 2024

## ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ФАЗОВЫЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПРИ ВЫТЕСНЕНИИ НЕФТИ ВОДОЙ

Мальцев Р.С., Филиппов А.И., Зеленова М.А.

Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
г. Стерлитамак, Россия

Основным методом увеличения нефтеотдачи пластов является закачка воды через нагнетательные скважины. При этом реализуется двухфазное течение нефти и воды в коллекторе [1, 2]. Используемые для расчётов полной давления и скорости модели содержат эмпирические функции относительных фазовых проницаемостей, для которых предложены многочисленные аналитические зависимости. При создании симуляторов возникает необходимость использования программ для расчёта зависимостей проницаемости от насыщенности и выбора наиболее приемлемой в конкретной ситуации.

Создана библиотека программ такого рода. В качестве примера приведём зависимости фазовых проницаемостей для воды  $f_w(s)$  и нефти  $f_o(s)$  от водонасыщенности  $s$

$$f_w = \begin{cases} 0, & s \leq s_{w,r}, \\ \left( \frac{s - s_{w,r}}{1 - s_{w,r} - s_{o,r}} \right)^{3,5}, & s_{w,r} < s < 1 - s_{o,r}, \\ 1, & s \geq 1 - s_{o,r}. \end{cases}$$

$$f_o = \begin{cases} 1, & s \leq s_{w,r}, \\ \left( \frac{1 - s - s_{o,r}}{1 - s_{w,r} - s_{o,r}} \right)^{1,5}, & s_{w,r} < s < 1 - s_{o,r}, \\ 0, & s \geq 1 - s_{o,r}. \end{cases}$$

Здесь  $s_{o,r}$ ,  $s_{w,r}$  – величина остаточной нефте- и водонасыщенности.

Созданная программа позволяет осуществлять графическую визуализацию фазовых проницаемостей и их сопоставление, которое позволяет осуществлять оптимальный выбор для расчётов вытеснения нефти водой в конкретных условиях.

### Литература

1. Филиппов А.И., Зеленова М.А., Кабиров И.Ф., Левина Т.М. Пространственно-временные распределения насыщенности при закачке воды в нефтяной пласт // Инженерная физика. – 2022. – № 8. – С. 3-11.

2. Филиппов А.И., Зеленова М. А., Кабиров И.Ф., Левина Т.М.  
Динамика насыщенности пласта в зоне проникновения бурового раствора  
// Инженерно-физический журнал. – 2024. – Т. 97. – № 1. – С. 53-63.

© Мальцев Р.С., Филиппов А.И., Зеленова М.А., 2024

УДК 532.5, 519.6

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫДЕРЖИВАНИЯ В НЕФТИ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПОВ**

Батыршин К.Э.<sup>1</sup>, Батыршин Э.С.<sup>2</sup>, Солнышкина.О.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>ООО “РН-БашНИПИнефть”, г. Уфа, Россия

Капиллярные эффекты в пористых средах оказывают определяющее влияние на распределение флюидов в породе коллекторе. От этого зависит эффективность вытеснения нефти при заводнении [1].

Смачиваемость пород-коллекторов формируется в течение долгого времени в условиях контакта с углеводородами. Изначально породы гидрофильны, но в результате адсорбции компонентов нефти и газа поверхность пористой среды становится гидрофобной [2].

Микрофлюидные технологии с использованием стеклянных чипов позволяют визуализировать процессы и исследовать изменение смачиваемости в отдельных микроканалах поровых структур.

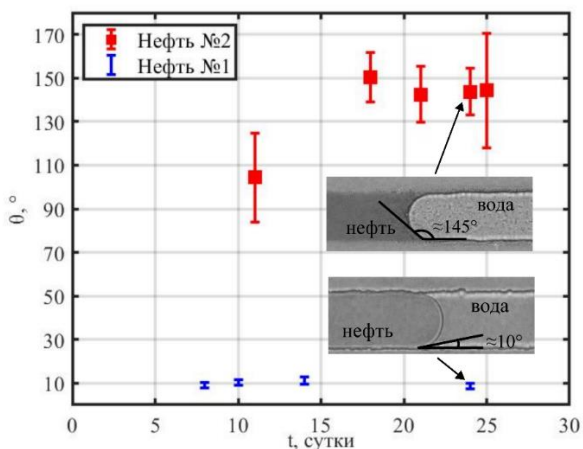
Настоящей целью работы является изучение изменения смачиваемости минеральных поверхностей при контакте с нефтью. Экспериментальная установка была собрана на базе оптического микроскопа и состояла из камеры, компьютера, держателя для микрофлюидных чипов, компрессора, контролера давления, шприцами с исследуемыми жидкостями и фитингов.

Эксперимент был направлен на изучение изменения смачиваемости поверхности микроканалов при контакте с нефтью в течение заданного промежутка времени. Для этой задачи использовались чипы с прямыми микроканалами. Чипы пропитывались нефтью и выдерживались в нефти 7 дней. После этого в чип закачивалась дистиллированная вода и измерялся установившийся контактный угол смачивания. Для каждого времени выдержки производилась измерение контактных углов на различных менисках общим количеством до 10. После определения установившегося угла смачивания в чип прокачивалась дополнительная порция воды, что приводило к перемещению мениска в новую область микроканала. Измерение на большом количестве менисков обеспечивает лучшую статистику и достоверность результатов. Контактные углы смачивания определялись из анализа формы менисков с использованием программы ImageJ и плагина Drop Shape Analysis. В работе исследовалось изменение смачиваемости микроканалов чипа двумя разными нефтями.

Изменение смачиваемости поверхности микроканалов изучалось нефтью № 1 ( $\rho = 842 \text{ кг/м}^3$ ,  $\mu = 7.28 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ ) и нефтью № 2 ( $\rho = 855 \text{ кг/м}^3$ ,  $\mu = 19.55 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ ). Вязкость нефтей определялась на ротационном

вискозиметре AMETEK BROOKFIELD DV-II Pro. Плотность нефтей определялась пикнометрическим методом. Для вытеснения нефти использовалась деионизированная вода.

Получена зависимость значения контактного угла смачивания поверхности микроканалов нефти № 1 и нефти № 2 в зависимости от времени выдержки. При использовании нефти № 1 гидрофобизации поверхности микроканалов не произошло в течение 24 дней. При использовании нефти № 2 гидрофобизация поверхности произошла на 11 день.



### Литература

1. Abdallah, W., Buckley, J.S., Carnegie, A., Edwards, J., Herold, B., Fordham, E., Graue, A., Habashy, T., Seleznev, N., Signer, C., Hussain, H., Montaron, B., & Ziauddin, M. (2007). Fundamentals of wettability. In *Oilfield Review* (Vol. 19, Issue 2).
2. Yao, Y., Wei, M., & Kang, W. (2021). A review of wettability alteration using surfactants in carbonate reservoirs. *Advances in Colloid and Interface Science*, 294(June), 102477. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102477>

© Батыршин К.Э., Батыршин Э.С., Солнышкина О.А., 2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ

Усманов Б.А., Галеев Р.Р., Мусин А.А., Зиннатуллин Р.Р.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Одним из перспективных методов увеличения нефтеотдачи является электромагнитный (ЭМ) нагрев призабойной зоны пласта. Его эффективное применение осложняется в частности трудностью моделирования распространения поля в пласт. Зачастую ЭМ воздействие в таком случае определяется по формуле распределённых источников тепла [1]:

$$q = 2\alpha P_0 e^{-2\alpha r} \quad (1)$$

где  $q$  – плотность распределённых источников тепла в насыщенной пористой среде;  $\alpha$  – коэффициент поглощения электромагнитной волны;  $P_0$  – плотность потока энергии, излучаемой магнетроном;  $r$  – расстояние, пройденное волной в среде.

Имея данные ЭМ нагрева среды с известными диэлектрическими параметрами, можно определить  $q$  в местах измерения температуры, а затем интерполяцией получить распределение  $q$  во всей остальной области.

В рамках данной работы были проведены эксперименты по нагреву жидкости сверхвысокочастотным ЭМ полем на специально разработанной установке. Жидкость помещалась в электрически нейтральную секционную ёмкость для учёта неоднородности поля. Распределение температуры поверхности жидкости после электромагнитного воздействия измерялось тепловизором. Распределения ЭМ поля и, соответственно, искомой плотности распределённых источников тепла были разными в зависимости от конфигурации экспериментальной установки и от расположения объекта воздействия относительно излучателя. По полученным данным было построено объёмное распределение поля в волноводе.

*Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 22-11-20042).*

### Литература

1. Зиннатуллин Р.Р., Мусин А.А., Гайсин И.В., Усманов Б.А. Исследование динамики температуры в керогеносодержащей породе при СВЧ нагреве // Вестник Башкирского университета, Т. 27, № 4, 2022. 829-833.

© Усманов Б.А., Галеев Р.Р., Мусин А.А., Зиннатуллин Р.Р., 2024

УДК 532.5

## **ФИЛЬТРАЦИЯ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ СИЛ**

Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р., Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А.  
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Изучение течения флюидов, особенно нефти, через капиллярные структуры представляет собой ключевую задачу для нефтегазовой промышленности. Понимание физико-химических свойств нефти, таких как вязкость и давление, необходимо для точной оценки её поведения в различных условиях. Более того, знание механизмов, определяющих движение нефти через поровые структуры горных пород, имеет решающее значение для разработки эффективных моделей добычи углеводородов [1].

В настоящей работе было проведено исследование течения нефти через капилляр с диаметром  $d=560, 100$  мкм. Эксперименты выполнялись на специально сконструированной установке. Для контроля температуры был использован термостат LOIP LT-117b, давление создавалось с помощью компрессорного насоса и управлялось регулятором давления, для построения зависимостей массы от времени использовались высокоточные весы AND GR-300. Данные по массе выводились на компьютер с помощью программы RS Weight. В качестве объекта исследования была выбрана реальная углеводородная жидкость.

Для оценки физических свойств углеводородной жидкости была определена вязкость при различных температурах, в ходе чего было установлено, что с повышением температуры вязкость снижается. Эксперименты проводились при температуре  $t=20\pm 60^\circ\text{C}$  с шагом  $10^\circ\text{C}$ . В ходе экспериментов были получены данные по проницаемости и расходу жидкости, что позволило проанализировать полученные данные и оценить их в контексте нефтегазовой добычи.

Данная работа вносит вклад в понимание течения нефти в капиллярах, что может способствовать оптимизации процессов добычи и переработки углеводородов, а также расширению базы знаний о флюидной динамике в геологических формациях.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-20042*

### **Литература**

1. Абдрафикова Ф.Ф., Муравьева Е.А., Шарипов М.И. Моделирование процесса добычи нефти // *Материалы конференции «Актуальные проблемы науки и техники», 2021. – С. 377-381.*

© Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р.,  
Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А., 2024

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ВЯЗКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Юлмухаметова Р.Р., Мусин А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Теоретические и экспериментальные исследования доказывают эффективность использования электромагнитных полей при добыче и транспортировке тяжелых углеводородов и их переработке [1]. Метод нагрева залежи углеводородов с использованием энергии электромагнитного поля представляется в этой связи наиболее эффективным и перспективным.

В данной работе проведено численное моделирование фильтрации жидкости под действием электромагнитного поля. Математическая модель сформулирована с учетом диэлектрофоретической силы, действующей на полярные компоненты нефти. Принято, что под действием неоднородного электрического поля возникает диэлектрофоретическая скорость, пропорциональная градиенту квадрата напряженности электрического поля. Полярные компоненты, двигаясь под действием поля увлекают за собой жидкость. Результирующая скорость будет являться комбинацией скорости фильтрации по закону Дарси и скорости, возникающей под действием диэлектрофоретической силы.

В результате численного моделирования распределения давления с учетом действия диэлектрофоретических сил было получено, что с увеличением интенсивности воздействия электромагнитного поля, при котором вектор напряженности электрического поля направлен поперек направлению фильтрации, наблюдается уменьшение массового расхода. При этом изменение расхода тем выше, чем больше полярных компонентов содержится в нефти.

*Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-11-20042).*

### **Литература**

1. Хисматуллина, Ф.С., Ковалева, Л.А., Насыров, Н.М., Хатмуллин, А.И. Об особенностях воздействия высокочастотным электромагнитным полем на залежи высоковязких нефтей, содержащих твердую углеводородную фазу // Нефть. Газ. Новации, 2018, №. 4. С. 30-35.

© Юлмухаметова Р.Р., Мусин А.А., 2024



## СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ, ФИЗИКИ»

УДК 372.853

### ИГРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ

Юнусова Р.Р., Агафонова В.С., Орлов А.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Стерлитамак, Россия

Игровая технология представляет собой комплексное образование, которое охватывает определенные аспекты учебного процесса и объединяется общими темами и сюжетом. В нее постепенно включаются игры и упражнения, развивающие навыки выделения основных, характерных признаков объектов, а также их сравнения и сопоставления [1].

В современной преподавательской практике игровые технологии обрели значительную популярность. Игра способствует быстрому усвоению учащимися знаний, умений и навыков, необходимых для понимания законов физики. Дидактические игры, которые включают не только обучение, но и воспитание, могут выполнять несколько функций:

1. Обучающая – направлена на развитие общеучебных умений и навыков, таких как память, внимание и восприятие информации;
2. Развлекательная – создает атмосферу на занятиях, позволяющую учащимся проявлять интерес к уроку, как к увлекательному приключению;
3. Коммуникативная – объединяет учащихся в коллектив, устанавливая эмоциональную связь между ними;
4. Развивающая – активизирует потенциал личности, переориентируя сознание учащихся на общечеловеческие ценности;
5. Воспитательная – способствует развитию и формированию творческой индивидуальности личности.

Термин «игровые педагогические технологии» охватывает широкую категорию методов и приемов, применяемых для организации образовательного процесса через различные виды педагогических игр. Использование игровых технологий позволяет ученикам осознать, что физика – это простые эксперименты и демонстрации, которые доступны и понятны каждому.

### Литература

1. Игровые технологии в обучении математике, информатике, физике. Учебное пособие, Бусланова Н.С., Алексеевнина А.К., 2021 (дата обращения: 22.09.2024).

© Юнусова Р.Р., Агафонова В.С., Орлов А.В., 2024

## **О ФОРМИРОВАНИИ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ В ПРЕПОДАВАНИИ КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

Абдуллин А.У., Акманова Г.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В своем докладе мы продолжаем анализ овладения необходимыми компетенциями [1-2]. В перечне компетенций для направления «Физика» есть УК-1 «Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации». Во многих учебных стратегиях развития критического мышления образовательный процесс строят на основе трех фаз: фаза вызова, фаза реализации смысла (осмысление), фаза рефлексии.

Мы предлагаем следующий подход к введению тензора момента инерции в курсе механики, основанный на использовании технологии развития критического мышления. На первом этапе (вызова) происходит актуализация имеющихся знаний, пробуждение заинтересованности в получении новой информации. Студенты повторяют операции матричной алгебры, убеждаются на простом примере, что вектор момента импульса относительно точки не выражается линейно через вектор угловой скорости (в отличие от скалярного момента импульса относительно оси) и формулируют с помощью преподавателя основную проблему: каким образом можно выразить момент импульса через угловую скорость в общем случае. На втором этапе (осмысления) на лекции приводится вывод тензора инерции, дома студенты работают с литературой с задачей найти альтернативные выводы и дополнительно проработать использование математических формул (двойное векторное произведение) и на повторном разборе на лекции обсуждают результаты работы с литературой. Третий этап заключается в анализе проведенной работы, на котором студенты отвечают на вопросы: какое новое знание получено, что послужило отправным пунктом для получения нового знания, каким образом получено новое знание и какое место занимает новое знание в исходной системе знаний.

### **Литература**

1. Абдуллин А.У., Акманова Г.Р. Об одной компетенции в преподавании курса общей физики // Тезисы докладов XIV Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании», Уфа, 2023. С.183.

2. Абдуллин А.У., Акманова Г.Р. От компетенций студентов – к компетенциям преподавателя // Сборник материалов VII Всероссийской научно-методической конференции «Проблемы современного физического образования». Уфа, 2023. С. 295.

© Абдуллин А.У., Акманова Г.Р., 2024

УДК 373.5.016:07

## **ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ УМЕНИЙ НА УРОКЕ ФИЗИКИ**

Косарев Н.Ф., Фазлыева Э.А.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В настоящее время под метапредметными результатами понимается совокупность навыков и умений учащихся, которые необходимы при усвоении и получении знаний в процессе образования. Метапредметные результаты показывают уровень сформированности межпредметных понятий, умений выстраивать коммуникацию с окружающими, а также уровень освоения навыков по сбору и использованию информации [1]. Согласно ФГОС ООО метапредметные результаты включают следующие УУД – базовые логические и исследовательские действия, работа с информацией; общение, сотрудничество; самоорганизация, самоконтроль, эмоциональный интеллект, принятие себя и других [1]. Как же можно достичь усвоения этих универсальных действий на уроке? Одним из методов может послужить демонстрационный эксперимент, а также эвристическая беседа. Обучающимся можно предложить просмотреть опыт, после которого им нужно объяснить причину возникшего явления, то есть выдвинуть гипотезу. Или, обсуждая какое-либо явление, предложить обучающимся выдвинуть гипотезу о том, что произойдет, если сделать или изменить что-либо. В дальнейшем проверить выдвинутую обучающимися гипотезу на опыте. В процессе выдвижения гипотезы и ее проверки необходимо организовать эвристическую беседу. Опираясь только на эти два метода можно добиться следующих метапредметных результатов: формирование гипотезы об истинности собственных суждений и суждений других, аргументация своей позиции; прогнозирование дальнейшего возможного развития процессов, событий и их последствий в аналогичных ситуациях, выдвижение предположений об их развитии в новых условиях [1].

### **Литература**

1. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 31.05.2021 № 287 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования» [Электронный ресурс]: [Зарегистрирован 05.07.2021 № 64101]: офиц. текст: электронный - URL: <https://fgosreestr.ru/uploads/files/238eb2e61e443460b65a83a2242abd57.pdf>

© Косарев Н.Ф., Фазлыева Э.А., 2024

УДК 372.853

## **ПОЛУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ СТУДЕНТАМИ КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕХВАТКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ**

Акманова Г.Р.<sup>1</sup>, Биккулова Н.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,  
г. Стерлитамак, Россия

В последние годы общеобразовательные учреждения испытывают нехватку учителей физики. Проблема имеет несколько причин: демографическую, экономическую, сложность дисциплины, сокращение вузов, осуществляющих подготовку учителей. Как решение данной проблемы является реализация программы профессиональной переподготовки студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Физика», «Прикладные математика и физика», «Радиофизика» с присвоением квалификации «Преподаватель физики и астрономии». Студенты, обучающиеся по этой программе получают дополнительные знания по физическим дисциплинам, изучают методику преподавания дисциплины, получают психолого-педагогическую подготовку, проходят педагогическую практику.

Программа имеет целью формирование у студентов профессиональных компетенций, необходимых для выполнения педагогической деятельности по проектированию и реализации образовательного процесса по физике в общеобразовательных учреждениях, а также для приобретения новой квалификации-преподавателя физики и астрономии.

В результате освоения программы студент должен приобрести следующие основные знания и умения, необходимые для качественного освоения компетенций: основные и актуальные для современной системы образования теории обучения, воспитания и развития; федеральные государственные образовательные стандарты и содержание примерных основных образовательных программ;- дидактические основы, используемые в учебно-воспитательном процессе образовательных технологий; современные педагогические технологии реализации компетентного подхода с учетом возрастных и индивидуальных особенностей обучающихся; методы и технологии поликультурного, дифференцированного и развивающего обучения; применять современные образовательные технологии, включая информационные, а также цифровые образовательные ресурсы и др.

© Акманова Г.Р., Биккулова Н.Н., 2024

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ**

Агафонова В.С., Юнусова Р.Р., Ягафарова З.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Стерлитамак, Россия

В настоящее время с внедрением информационных и коммуникационных технологий в образовательном процессе использование мультимедийных средств обучения стало актуальным не только на лекционных занятиях, но также и на практических, в виде виртуальных лабораторных работ.

Перечислим методическую целесообразность применения виртуальных лабораторных работ в образовательном процессе. Виртуальные лабораторные работы:

- содействуют созданию интуитивно понятного и увлекательного учебного пространства и делают процесс обучения более интересным и познавательным;
- дают возможность демонстрации сложных физических явлений, трудно выполнимых без специального оборудования и использование виртуальных моделей облегчает понимание, усвоение материала;
- индивидуализируют процесс обучения, предоставляя учащимся возможность работать в своем темпе, повторять материал и получать обратную связь о своих успехах и ошибках.

В рамках данной работы нами представлены несколько виртуальных лабораторных работ по разделу «Электричество» для обучающихся основной школы. С помощью виртуальных лабораторий учитель вместе с учениками могут проводить различные опыты, анализировать физические законы и явления. Виртуальные лаборатории по данному разделу физики способствуют лучшему усвоению материала, самостоятельности учеников, при необходимости имеется возможность повторного проведения опытов. Таким образом, применение виртуальных лабораторных работ способствует повышению интереса и мотивации обучающихся, облегчению визуализации в сложных концепциях. Данный подход способствует более эффективному усвоению материала и развитию навыков.

### **Литература**

1. URL: <https://infourok.ru/statya-na-temu-dostoinstva-i-nedostatki-ispolzovaniya-virtualnoy-laboratorii-v-sisteme-obrazovaniya-372669.html> (дата обращения: 21.09.2024).

© Агафонова В.С., Юнусова Р.Р., Ягафарова З.А., 2024

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ**

Агафонова В.С., Юнусова Р.Р., Орлов А.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Стерлитамак, Россия

В современном мире информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) прочно вошли во все сферы жизни, в том числе в образование. Физика, как фундаментальная наука, не является исключением: использование ИКТ открывает новые возможности для повышения эффективности, интерактивности и доступности учебного процесса.

Преимущества использования ИКТ при обучении физике:

- **Визуализация и моделирование:** ИКТ позволяют демонстрировать сложные физические процессы, которые трудно или невозможно представить в реальности.

- **Интерактивность:** С помощью ИКТ можно создавать интерактивные уроки, которые вовлекают учащихся в процесс обучения и позволяют им самостоятельно проводить эксперименты, исследовать явления и получать новые знания.

- **Доступность информации:** ИКТ предоставляют доступ к огромному количеству образовательных ресурсов, включая видеоуроки, интерактивные модели, симуляции, виртуальные лаборатории, учебные материалы и т.д.

- **Индивидуализация обучения:** ИКТ позволяют создавать индивидуальные учебные траектории для каждого ученика, учитывая его уровень знаний и темп усвоения материала.

К информационно-коммуникационным технологиям в физике можно отнести следующие аспекты: виртуальные лаборатории, онлайн-платформы для обучения, симуляторы физических процессов.

ИКТ предоставляют беспрецедентные возможности для учителей и учащихся, делая обучение физике более эффективным, интерактивным и доступным. Правильное использование ИКТ в сочетании с проверенными методами обучения способствует повышению интереса к физике, глубокому пониманию ее законов, а также развитию ключевых компетенций учащихся в современном мире.

### **Литература**

1. URL: <https://nsportal.ru/shkola/raznoe/library/2017/10/24/ispolzovanie-ikt-na-urokah-fiziki> (дата обращения: 22.09.2024)

© Агафонова В.С., Юнусова Р.Р., Орлов А.В., 2024

**ЗРЕНИЕ КАК ДИФРАКЦИЯ НА ЗРАЧКЕ**

Абдуллин А.У.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В своем докладе мы продолжаем обзор трудных мест курса общей физики [1-2]. Тема дифракции в курсе оптики является одной из самых сложных для восприятия. В том числе и из-за меньшей наглядности. С геометрической оптикой школьники сталкиваются очень рано на примере небесной радуги (преломление света на каплях). Интерференцию можно «пощупать», разглядывая красивые узоры на бензиновой пленке в весенних лужах (интерференция в тонких пленках). А вот обнаружить проявления дифракции в обыденной жизни студенты даже не пытаются. Пропыхтев над скалярной теорией дифракции, студент делает вывод, что такая сложная вещь – это удел исключительно параграфов учебника и опытов в лаборатории. Поэтому объяснение механизма зрения как дифракции на зрачке воспринимается как откровение.

Как известно, при дифракции Фраунгофера на круглом отверстии дифракционная картина представляет собой систему колец с центральным светлым пятном. Поэтому разрешение любого оптического прибора с круглой диафрагмой ограничивается наложением дифракционных картин от близких к друг другу источников. Конкретно разрешение наступает, когда расстояние между центрами кружков Эйри равно радиусу кружка. Тогда в соответствии с критерием Рэлея центр дифракционной картины от одной светящейся точки будет накладываться на первый дифракционный минимум дифракционной картины от второй светящейся точки. Из этих соображений нетрудно оценить разрешаемое угловое расстояние оптического инструмента. Глаз при рассмотрении удаленных предметов действует принципиально так же, как и объектив телескопа. Решение модельной задачи о фарах автомобиля (на каком расстоянии можно различить свет двух фар) с оценками из повседневного опыта (8 км при диаметре зрачка 3мм и оценке для желтого света) вызывает серьезное уважение у студентов в возможностях оптики.

**Литература**

1. Абдуллин А.У. О преподавании математики в курсе общей физики. // Тезисы докладов XIV Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании», Уфа, 2023. С.182.

2. Абдуллин А.У. О геометрической оптике // Сборник материалов VII Всероссийской научно-методической конференции «Проблемы современного физического образования». Уфа, 2023. С. 25-26.

© Абдуллин А.У., 2024

**ЭТНОПЕДАГОГИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ ПРИ ОБУЧЕНИИ  
ПРЕДМЕТАМ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ЦИКЛА**

Ягафорова З.А., Тагирова А.В., Саитгалина А.М.

Уфимский университет науки и технологий, г. Стерлитамак, Россия

В современных условиях все более осознается необходимость построения национально-ориентированных воспитательных систем, опирающихся на духовную и материальную культуру народа. В современных условиях при решении образовательных становится актуальной использование принципов этнопедагогике. Основатель этнопедагогической науки Волков Г.Н. отмечал, что для народной педагогики, строящейся на природной естественности народного воспитания, ведущим является принцип природосообразности [1]. Поэтому этнопедагогика играет первоочередную роль в формировании экологического мышления и рационального взаимодействия человека с окружающей средой. Естественнонаучное образование осуществляется в течение всех лет обучения в общеобразовательной школе и на всех этапах важна опора на принцип природосообразности, благодаря которому обеспечивается комплексное гармоничное формирование личности. Применение этнопедагогического компонента при обучении предметам естественнонаучного цикла значительно обогащает образовательный процесс. Отметим некоторые способы интеграции этнопедагогического подхода в преподавание этих предметов. Например, в химии или физике можно создавать проекты, основанные на традиционных ремеслах и технологиях, используемых в культурах различных этносов, что позволит учащимся наглядно увидеть применение естественнонаучных знаний в повседневной жизни.

Применение этнопедагогического компонента в обучении естественным наукам способствует не только углубленному пониманию предмета, но и формированию уважения к многообразию культур и традиций. Этнокультурный компонент как структурный элемент учебно-познавательной деятельности, повышает мотивацию, способствует осознанному восприятию материала, что ведет к развитию познавательной активности учащихся.

**Литература**

1. Волков Г.Н. Этнопедагогика. – М.: Издательский центр «Академия», 1999. – 168 с.

© Ягафорова З.А., Тагирова А.В., Саитгалина А.М., 2024



УДК 372.851

## **ЗНАЧЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО УРОКА ИНФОРМАТИКИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ В ШКОЛЕ**

Ахметвалеева А.Р., Кутлугильдина Р.Ф., Баринаева Н.А.  
Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Интерактивность играет ключевую роль в эффективной обучающей системе, поскольку она позволяет учащимся активно взаимодействовать с учебным материалом, что способствует глубокому усвоению знаний и развитию навыков. Во-первых, это привлечение и удержание внимания; во-вторых, повышение мотивации; в-третьих, интерактивность облегчает запоминание и понимание: благодаря интерактивным средствам, таким как видео, анимации, симуляции и другие формы мультимедийного контента, учащиеся могут лучше понять и запомнить учебный материал; в-четвёртых, индивидуализация обучения, потому что интерактивность позволяет создавать персонализированные учебные планы и задания, адаптированные к индивидуальным потребностям и уровню знаний каждого учащегося [1].

На сегодняшний день есть различные интерактивные обучающие системы, которые помогают учителю организовать урок.

В качестве примера рассмотрим интерактивный урок по информатике на тему «Количество информации. Единицы измерений информации» для 7 класса. На основных этапах урока используются интерактивные задания, которые позволяют вовлекать учащихся в обучение. Так же используются диалоговые тренажеры для оттачивания умений и навыков по данной теме.

На первом этапе происходит приветствие учащегося и его психологический настрой (рис. 1).

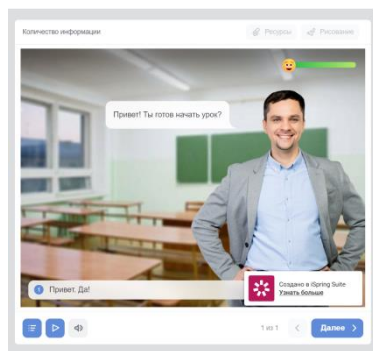


Рис. 1. Этап приветствия учащихся на уроке

На этапе активного целеполагания учащийся должен выбрать цели. Слева ему представлены 3 блока, в каждом из которых находятся по 3 цели. Учащемуся предлагается выбрать по 1 цели с каждого блока. Справа находится блок «Наши цели урока», куда будут направлены выбранные учеником цели (рис. 2).



Рис. 2. Этап целеполагания

При изучении нового материала используется приём «Работа над понятиями», где учащийся самостоятельно выполняет задания. Ему необходимо найти определения понятия «алфавит» в информатике из различных источников (справочники, учебники, сайты), выписать и проанализировать их, сделать вывод. Также ученику предлагается на основе анализа составить своё определение понятия «алфавит» или выбрать из имеющихся. Далее ему даётся ситуация, которую необходимо проанализировать, решить её и сделать вывод.

На этапе закрепления материала учащемуся необходимо пройти тест, в который входит 10 вопросов.

На этапе рефлексии используется приём «Трактат», где ученику необходимо представить что у него есть возможность написать трактат будущим школьникам. Ему необходимо описать его основные достижения и результаты по данной теме, дать наставления, попытаться определить способы и виды деятельности, которые были на уроке, благодаря которым ученику удалось решить проблемы и достигнуть своих результатов.

Данный интерактивный урок помогает учителю более эффективно провести урок, легче выяснить, насколько хорошо или плохо ученик понял тему, способствует активному участию учащихся, вызывая интерес к информатике и повышая эффективность обучения.

### Литература

1. Ахаян А.А. Виртуальная педагогика. Теория становления / А.А. Ахаян. – СПб.: Корифей, 2011 г. – 170 с.

© Ахметвалеева А.Р., Кутлугильдина Р.Ф., Баринаева Н.А., 2024

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ФИЗИКЕ В СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЕ**

Саитгалина А.М., Тагирова А.В., Орлов А.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Стерлитамак, Россия

Внеурочная деятельность является неотъемлемой частью образовательного процесса и одной из форм организации свободного времени обучающихся. В рамках реализации ФГОС внеурочная деятельность – это образовательная деятельность, осуществляемая в формах, отличных от урочной системы обучения, и направленная на достижение планируемых результатов освоения образовательных программ. Внеурочная деятельность нацелена на повышение мотивации обучающихся к учению, развитие самостоятельности и создание условий для успешной самореализации. Чередование учебной и внеурочной деятельности в рамках основной образовательной программы определяется школой. Внеурочная деятельность – это дополнительные занятия, которые учителя проводят отдельно от основных уроков. При этом могут быть организованы различные виды деятельности: экскурсии, кружки, секции, круглые столы, конференции, КВНы, школьные научные общества, олимпиады, соревнования, поисковые и научные исследования, в том числе внеурочная деятельность может включать индивидуальные занятия учителя с учениками, нуждающимися психолого-педагогической и коррекционной поддержки.

Основной целью проведения внеурочной работы по физике является развитие интереса учащихся к предмету, привлечение учащихся к различным мероприятиям предмету, к занятиям в факультативах [1]. Внеурочная деятельность по физике может быть реализована разными формами: индивидуальными, групповыми и массовыми. Индивидуальные формы предполагают, решение задач по физике различного уровня сложности, проведение физических экспериментов. Групповые формы включают в себя: экскурсии, кружки, факультативы. К массовым формам – олимпиаду по физике, конференции, квест-игры, выпуск стенгазет и др. Кроме того, проведение внеурочной работы является прекрасным средством повышения квалификации самого учителя. Так как одной из целей является расширение изучаемого материала курса физики, иногда такое расширение может выйти за рамки обязательной программы. Рассмотрение на дополнительных занятиях таких вопросов неизбежно приводит учителя к необходимости основательного знакомства с этим материалом и с методикой. Также внеурочная работа помогает выявить учащихся, имеющих интерес и склонности к занятиям физикой, что весьма важно для ведения профориентационной работы.

Таким образом, в процессе внеурочной деятельности по физике вырабатывается интерес к изучению естественнонаучных дисциплин, углубляются и расширяются физические знания, умения и навыки обучающихся, а также выявляются одаренные дети, развиваются их способности.

### **Литература**

1. Григорьев Д.В. Внеурочная деятельность школьников. Методический конструктор. – М.: «Просвещение», 2010, 183 с.

© Сайтгалина А.М., Тагирова А.В., Орлов А.В., 2024

## **ОРГАНИЗАЦИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ШКОЛЕ**

Галимова К.Р.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В необходимости проведения астрономических наблюдений школьниками показано, что только теоретическое осмысление материала совместно с практическими наблюдениями могут обеспечить углубление знаний учащихся по физике. Для построения физической теории какого-либо физического явления обычно используется небольшое количество физических величин и параметров, численное значение которых и определяют свойства данного объекта. Большинство таких величин для астрономических объектов не могут быть непосредственно измеримы, поэтому их значения получают в результате анализа и обработки, доступных измерению величин, получаемых в результате наблюдений или эксперимента. Достоверность любой модели определяется наблюдательными фактами [1].

Наблюдения – это основной источник знаний в астрономии. При их проведении обязательно нужно учитывать их особенности, преимущества и недостатки.

Являясь основным методом исследования в астрономии, наблюдения имеют некоторые особенности. Во-первых, они пассивны по отношению к изучаемым объектам и явлениям. Ведь невозможно влиять на космические объекты. Во-вторых, вид неба для наблюдателя зависит не только от места наблюдения, но и от времени суток. Третьей особенностью является то, что при проведении наблюдений необходимо еще и выполнять угловые измерения, по которым выясняют размеры тел и расстояния до них.

Перейдём к преимуществам и недостаткам наблюдений. Преимущества заключаются в том, что наблюдения легки в применении, не требуют дополнительных затрат, богаты собираемыми сведениями, происходят в реальном времени. А недостатком наблюдений, во-первых, является то, что они субъективны, т.е. результаты во многом зависят от опыта, научных взглядов, грамотности, внимательности, интересов и работоспособности наблюдателя. Во-вторых, большие затраты времени, т.к. длительность наблюдаемого процесса не зависит от наблюдателя [2].

### **Литература**

1. Моисеев, И. И. Астрономические наблюдения как углубление курса физики технического лица: специальность 13.00.02 «Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования)»:

автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата педагогических наук / Моисеев Иван Иванович. – Санкт-Петербург, 2013. – 17 с.

2. Инновации в науке и образовании: материалы конференции. – Шадринск: ШГПУ, 2021. — 235 с. — ISBN 978-5-87818-622-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/224606>

© Галимова К.Р., 2024

УДК 74.262.23

## **РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УМЕНИЙ УЧАЩИХСЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

Галимова К.Р.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Один из ключевых аспектов проектной деятельности - это формирование у учащихся навыков постановки и формулирования проблем, а также поиска путей для их решения. Школьники учатся анализировать информацию, выделять главное, ставить цели и задачи и выбирать оптимальные стратегии действий. Этот процесс позволяет развивать исследовательские умения, такие как наблюдение, анализ, сравнение, систематизация и обобщение данных.

Основы проектной деятельности подразумевают также работу с различными источниками информации, включая электронные ресурсы, библиотечные фонды, экспертов и интернет-ресурсы. Учащимся предоставляется возможность самостоятельно проводить исследования, сравнивать результаты, формулировать выводы и представлять их в виде презентации, доклада или исследовательской работы.

Организация проектной деятельности по физике в основной школе способствует развитию исследовательских умений учащихся. Проектная деятельность предполагает участие учеников в создании собственных исследовательских проектов, обычно с определенной тематикой или задачей. На уроках физики такие проекты могут включать создание экспериментов, проведение наблюдений или теоретические исследования.

Одним из ключевых аспектов успешной организации проектной деятельности на уроках физики является оценка результатов этой деятельности с точки зрения развития исследовательских способностей учащихся основной школы. Оценка результатов позволяет не только оценить уровень усвоения знаний по физике, но и выявить индивидуальные особенности учеников в сфере исследовательской работы.

Важно учитывать, что развитие исследовательских умений не всегда оценивается итоговыми результатами проектной деятельности. Для полноценной оценки следует использовать разнообразные методы, которые могут включать в себя как качественные оценки (например, анализ креативности исследовательских работ), так и количественные показатели (например, объем исследовательских материалов, количество проведенных экспериментов).

Такой вид деятельности по физике включает несколько этапов. Сначала учащиеся выбирают тему своего проекта и формулируют цель и задачи исследования. Затем они планируют последовательность действий, определяют необходимые ресурсы и время. Далее ученики совместно работают над проектом, проводят эксперименты или анализируют уже существующую информацию. В конце проекта учащиеся представляют результаты своих исследований в форме презентации или отчета.

Такой подход к обучению физике способствует не только усвоению теоретических знаний, но и развитию практических навыков и самостоятельности учащихся. Они учатся формулировать гипотезы, проводить эксперименты, анализировать данные и делать выводы. Это позволяет им лучше понимать науку и развивать критическое мышление.

Таким образом, организация проектной деятельности по физике является эффективным способом развития исследовательских умений учащихся основной школы и может способствовать им интерес к науке и технологиям.

### **Литература**

1. Васильева Т.Н. Формирование исследовательских умений учащихся на уроках физики // Физика в школе. – 2013. – № 1. – С. 22-28.
2. Пономарева Е.В., Пичушкин А.Д. Опыт формирования исследовательских умений учащихся на уроках физики // Физика в школе. – 2017. – № 6. – С. 31-36.
3. Петрова И.А. Развитие исследовательских умений учащихся основной школы через организацию проектной деятельности на уроках физики // Инновации в образовании. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 113-118.

© Галимова К.Р., 2024



## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ

Галимова К.Р.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

При изучении физики информационные технологии становятся эффективным вспомогательным средством, которое помогает повышать качество знаний обучающихся и качество самих уроков. Информационные технологии на уроке физики – это:

- реализация межпредметных связей физики с другими учебными предметами;
- проведение виртуальных практикумов и лабораторных работ;
- проведение предметных тестирований и диагностик;
- поиск и обработка информации в рамках изучаемого материала с использованием сети Интернет;
- использование электронных таблиц для решения задач;
- использование мультимедиа-технологий при изучении учебного материала [1].

Эксперимент является источником знаний и критерием их истинности в науке. Учебный эксперимент по физике, проводимый на традиционном оборудовании не может в полной мере обеспечить решение всех образовательных задач в современной школе.

Цифровая лаборатория расширяет методику и содержание экспериментальной деятельности и помогает решить вышеперечисленные проблемы. Широкий спектр цифровых датчиков позволяет учащимся знакомиться с параметрами физического эксперимента не только на качественном, но и на количественном уровне [2].

В процессе формирования экспериментальных умений по физике учащийся учится представлять информацию об исследовании в четырёх видах:

- в вербальном: описывать эксперимент, создавать словесную модель эксперимента, фиксировать внимание на измеряемых физических величинах, терминологии;
- в табличном: заполнять таблицы данных, лежащих в основе построения графиков (при этом у учащихся возникает первичное представление о масштабах величин);
- в графическом: строить графики по табличным данным, что позволяет перейти к выдвиганию гипотез о характере зависимости между физическими величинами (при этом учитель показывает преимущество в визуализации зависимостей между величинами, наглядность и многомерность);

- в аналитическом (в виде математических уравнений): приводить математическое описание взаимосвязи физических величин, математическое обобщение полученных результатов.

Цифровое учебное оборудование позволяет учащимся ознакомиться с современными методами исследования, применяемыми в науке, а учителю — применять на практике современные педагогические технологии [3].

### **Литература**

1. Методические рекомендации по созданию и функционированию детских технопарков

«Кванториум» на базе общеобразовательных организаций (утв. распоряжением Министерства Просвещения Российской Федерации от 12.01.2021 № П-4). — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_374695](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_374695)

2. Паспорт национального проекта «Образование» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16). — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_319308/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319308/)

3. Методические рекомендации по созданию и функционированию в общеобразовательных организациях, расположенных в сельской местности и малых городах, центров образования естественно-научной и технологической направленностей («Точка роста») — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_374694/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_374694/)

© Галимова К.Р., 2024

**СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
В ПОПУЛЯЦИОННОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ГЕНЕТИКЕ»**

УДК 575.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРАПИИ  
ХРОНИЧЕСКОГО МИЕЛОЛЕЙКОЗА**

Белова А.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Математическое моделирование лейкоза, и ХМЛ в частности, началось в середине 70-х с работ Лебовица и Рубинова [1-2]. В работах Свон и Винсент [10] было предложена модель роста клеток  $L(t)$  по закону Гомперца, где эффект влияния терапии  $f(v)$  описывается законом Михаэлиса-Ментена:

$$\frac{dL(t)}{dt} = -\alpha L(t) \lg\left(\frac{L(t)}{Q}\right) - f(v)L(t), \quad \frac{dv(t)}{dt} = -\gamma v(t).$$

Здесь предполагается, что введенная доза лекарства  $v(t)$  в момент времени  $t$  остается в течении данного времени постоянной  $\gamma$ .

В работе рассматривается введенная выше модель, проводится сравнение различных оптимизационных подходов модели и сравнение результатов.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код научной темы FZWU-2023-0002).*

**Литература**

1. Rubinow S.I., Lebowitz J.L.: A mathematical model of neutrophil production and control in normal man// J. of Mathematical Biology. 1975. P. 187-225.
2. Rubinow S.I., Lebowitz J.L.: A mathematical model of the acute myeloblastic leukemic state in man// Biophys. J. 1976. 16. P. 897-910.
3. Swan G.W., Vincent T.L.: Optimal control analysis in the chemotherapy of IgG multiple myeloma// Bull. Math. Biol. 1977. 39. P. 317-337.

© Белова А.С., 2024

УДК 575.174:599.9

## АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs12913832 ГЕНА *HERC2* В ПОПУЛЯЦИИ БАЛКАРЦЕВ

Джаубермезов М.А.<sup>1,2</sup>, Екомасова Н.В.<sup>1,2</sup>, Чагаров О.С.<sup>3</sup>,  
Габидуллина Л.Р.<sup>1</sup>, Хуснутдинова Э.К.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт и Музей антропологии  
им. Д.Н. Анучина МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Наиболее значимыми представителями семейства убиквитинлигазы *HERC E3* являются *HERC1* и *HERC2* - необычайно сложные белки, которые могут оказывать влияние на широкий спектр биологических процессов, таких как репарация ДНК и клеточная пролиферация (Ali et al., 2022). На сегодняшний день миссенс-мутации гена *HERC2* связывают с аутомно-рецессивным нарушением развития нервной системы, с синдромом Ангельмана, а гомозиготная делеция, охватывающая *HERC2* и *OCA2*, способна вызвать ещё более тяжелый фенотип развития (Elpidorou et al., 2021).

Однако, полиморфный вариант rs12913832 гена *HERC2* также связан с определением цвета радужки и её гетерохромией и содержит высоко консервативный регуляторный элемент, который играет решающую роль в определении голубого цвета радужки глаз. Этот SNP действует как энхансер транскрипции гена *OCA2*, участвующего в регуляции синтеза меланина (Lona-Durazo et al., 2019).

Материалом для исследования служили образцы ДНК (N=135) субэтнических групп балкарцев выделенные из цельной крови неродственных индивидов. Забор крови осуществлялся после подписания информированного согласия на участие в научном исследовании достигнувших 18-летнего возраста и заполнивших анкеты с указанием предков до третьего поколения.

Выделение ДНК из периферической крови проводилось стандартным методом фенол-хлороформной экстракции. Генотипирование проводили методом ПЦР в режиме реального времени с использованием наборов фирмы «Вектор-Бест».

Выявлено, что частота генотипа AA rs12913832 гена *HERC2* в популяции балкарцев составляет 42,2%, генотипа GG – 17,8%. Частота генотипа GA составила 40%. В соответствии с данными, полученными в исследовании, можно сделать выводы об отсутствии статистически значимых различий по данным распределения частот аллелей и генотипов полиморфного варианта rs12913832 гена *HERC2* между популяцией балкарцев и популяциями Южной Европы (итальянцами из Тосканы и

испанцами). В тоже время выявлены статистически значимые отличия с популяциями Северной Европы (финнами и британцами), Восточной и Южной Азии, Африки, Южной и Северной Америки.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-03-2024-123/1.*

### **Литература**

1. Ali et al. // J Clin Med. 2022, v 11(2), p. 324.
2. Elpidorou M. et al. // J Med Genet., 2021, v 58(5), pp. 334-341.
3. Lona-Durazo F. et al. // BMC Genet., 2019, v 20(1), p. 59.

© Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В.,  
Чагаров О.С., Габидуллина Л.Р., Хуснутдинова Э.К., 2024

УДК 575.174:599.9

## **АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs2740574 ГЕНА *CYP3A4* В ФИННО-ВОЛЖСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ МОРДВЫ**

Кураев Б.Р.<sup>1</sup>, Киль Е.Е.<sup>1</sup>, Джаубермезов М.А.<sup>1,2</sup>, Екомасова Н.В.<sup>1,2</sup>,  
Хуснутдинова Э.К.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Ген *CYP3A4* кодирует фермент, входящий в суперсемейство ферментов цитохрома P450. Белки цитохрома P450 представляют собой монооксигеназы, которые катализируют многие реакции, связанные с метаболизмом лекарственных средств и синтезом холестерина, стероидов и других липидов. Этот белок локализуется в эндоплазматическом ретикулуме, и его экспрессия индуцируется глюкокортикоидами и некоторыми фармакологическими средствами. Этот фермент участвует в метаболизме примерно половины лекарств, продаваемых сегодня в США, включая ацетаминофен, кодеин, циклоспорин А, диазепам, эритромицин и хлорохин. Данный фермент также метаболизирует некоторые стероиды и канцерогены. Гена *CYP3A4* и, в частности, rs2740574 являются частью кластера генов цитохрома P450 и локализуются в хромосоме 7 (7q21.1). Ранее было изучено распространение некоторых SNP семейства ферментов цитохрома P450 в финно-пермских популяциях Российской Федерации (Dzhaubermезov et al., 2022), однако распределение аллелей rs2740574 гена *CYP3A4* в обозначенных популяциях не был рассмотрен.

Материалом для исследования служили образцы ДНК (N=94), выделенные из цельной крови неродственных представителей популяции мордвы. Забор крови осуществлялся после подписания информированного согласия на участие в научном исследовании достигнувших 18-летнего возраста и заполнивших анкеты с указанием предков до третьего поколения.

Выделение ДНК из периферической крови проводилось стандартным методом фенол-хлороформной экстракции. Генотипирование проводили методом ПЦР в режиме реального времени с использованием наборов фирмы «Синтол».

Выявлено, что частота генотипа AA rs2740574 гена *CYP3A4* в популяции мордвы составляет 85,1%, генотипа AG – 14,9%. Генотип GG в популяции мордвы обнаружен не был. Таким образом, частота минорного аллеля G в популяции мордвы составила 7,5%, что соответствует таковому лишь в некоторых популяциях Южной Азии (The 1000 Genomes Project Consortium, 2012).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-03-2024-123/1.*

### **Литература**

1. Dzhaubermезov et al. // Genes (Basel). 2022, v 13(12), p. 2353.
2. The 1000 Genomes Project Consortium // Nature. 2012, v 491(7422), p. 56-65.

© Куряев Б.Р., Киль Е.Е., Джаубермезов М.А.,  
Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К., 2024

УДК 575.174:599.9

## **АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs743572 ГЕНА *CYP17A1* В ФИННО-УГОРСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ КОМИ И МАРИЙЦЕВ**

Киль Е.Е.<sup>1</sup>, Куряев Б.Р.<sup>1</sup>, Джаубермезов М.А.<sup>1,2</sup>, Екомасова Н.В.<sup>1,2</sup>,  
Хуснутдинова Э.К.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Ген *CYP17A1* локализован на длинном плече 10 хромосомы (10q24.32), имеет 8 экзонов и 7 интронов, экспрессируется в надпочечниках и гонадах, в небольших количествах в мозге, плаценте и сердце. Данный ген кодирует член суперсемейства ферментов цитохрома P450. Белки цитохрома P450 являются монооксигеназами, которые катализируют множество реакций, вовлечены в метаболизм лекарств и синтез холестерина, стероидов и других липидов. Он обладает как 17 $\alpha$ -гидроксилазной, так и 17,20-лиазной активностью и является ключевым ферментом в стероидогенном пути, который производит прогестины, минералокортикоиды, глюкокортикоиды, андрогены и эстрогены. Активность 17 $\alpha$ -гидроксилазы *CYP17A1* необходима для выработки глюкокортикоида кортизола, тогда как активность 17,20-лиазы приводит к образованию андрогенов (и, в свою очередь, эстрогенов). Полиморфизм rs743572 гена *CYP17A1* часто связывают с развитием гиперплазий, раком предстательной и молочных желез, синдромом поликистозных яичников, эндометриозом, бесплодием, половым инфантилизмом (Pogubek, 2013).

Материалом для исследования служили образцы ДНК, выделенные из цельной крови неродственных представителей популяции коми (N=61) и марийцев (N=55). Забор крови осуществлялся после подписания информированного согласия на участие в научном исследовании достигнувших 18-летнего возраста и заполнивших анкеты с указанием предков до третьего поколения.

Выделение ДНК из периферической крови проводилось стандартным методом фенол-хлороформной экстракции. Генотипирование проводили методом ПЦР в режиме реального времени с использованием наборов фирмы «Синтол».

Выявлено, что частота генотипа AA rs743572 гена *CYP17A1* в популяции коми составила 39,3%, а в популяции марийцев 38,2%, генотипа GG в популяции коми – 11,5%, в популяции марийцев – 20%. Частота встречаемости генотипа GA в популяциях коми и марийцев составила 49,2% и 41,8% соответственно. Таким образом минорный аллель G в популяции коми выявлен с частотой 36,1%, в популяции марийцев - 40,9%. Данное распределение соответствует частотам, наблюдаемым в



популяциях Северной Европы и Южной Азии (The 1000 Genomes Project Consortium, 2012).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-03-2024-123/1.*

#### **Литература**

1. Porubek D. // Curr Top Med Chem. 2013, v 13(12), p. 1364-84.
2. The 1000 Genomes Project Consortium // Nature. 2012, v 491(7422), p. 56-65.

© Киль Е.Е., Куряев Б.Р., Джаубермезов М.А.,  
Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К., 2024

УДК 575.174:599.9

## **АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs4646421 ГЕНА *CYP1A1* В ПОПУЛЯЦИЯХ УДМУРТОВ И БЕСЕРМЯН**

Багданова Л.М.<sup>1</sup>, Екомасова Н.В.<sup>1,2</sup>, Суфьянова З.Р.<sup>1</sup>,

Джаубермезов М.А.<sup>1,2</sup>, Хуснутдинова Э.К.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Ген, *CYP1A1*, кодирует члена суперсемейства ферментов цитохрома P450. Белки цитохрома P450 представляют собой монооксигеназы, которые катализируют многие реакции, участвующие в метаболизме лекарственных средств и синтезе холестерина, стероидов и других липидов. Данный белок локализуется в эндоплазматическом ретикулуме, и его экспрессия индуцируется некоторыми полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), некоторые из которых содержатся в сигаретном дыме. Ген *CYP1A1* был связан с риском развития рака легких. Полиморфизм rs4646421 связывают с особенностью иммунного профиля у детей. Носители генотипа С/Т отличаются наиболее выраженными изменениями иммунного профиля.

Было проведено генотипирование 187 образцов из популяций удмуртов (94) и бесермян (93), населяющих Средний Урал. В результате исследования было выявлено, что генотип С/С полиморфного варианта rs4646421 гена *CYP1A1* в популяции удмуртов встречается с частотой 56,40%, а в популяции бесермян – 68,80%. Частота генотипа С/Т в популяции удмуртов составляет 36,20%, в то время как частота генотипа С/Т у бесермян–23,70%. Частота генотипа Т/Т у удмуртов равна 7,40%, у бесермян частота данного генотипа равна 7,50%. В популяции удмуртов частота аллеля С равна 74,50%, в популяции бесермян–80,60%. Частота аллеля Т в популяции удмуртов составляет 25,50%, в популяции бесермян частота данного аллеля равна 19,40%.

*Исследование поддержано грантом Министерства образования и науки Республики Башкортостан Соглашение № 1 от 14 августа 2023 г. Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-03-2021-193/5.*

© Багданова Л.М., Екомасова Н.В., Суфьянова З.Р.,  
Джаубермезов М.А., Хуснутдинова Э.К., 2024

## РОЛЬ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ВАРИАНТА RS1801133 ГЕНА MTHFR В РАЗВИТИИ РАКА ЖЕЛУДКА

Носков В.В., Гарипова В.Р., Нургалиева А.Х.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Рак желудка, представлен новообразованием, которое носит злокачественный характер. Данный тип рака развивается, за счет клеток слизистого эпителия и имеет способность к быстрому росту и распространению на другие ткани и органы.

Рак желудка является распространенным заболеванием во всем мире. В 2022 году рак желудка занимал 7-е место по распространенности и 6-е по смертности от рака в мире. В республике Башкортостан рак желудка, по статистике 2022 года, находится на 7-м месте – это 700 случаев или 5,7%

Ген *MTHFR* кодирует белок, который катализирует преобразование 5,10-метилентетрагидрофолата в 5-метилтетрагидрофолат. Со-субстратом является гомоцистеин и метионин, которые нужны для реметилирования. Один из вариантов — это полиморфизм С677Т.

В качестве материала исследования использованы образцы ДНК 429 пациентов с РЖ и образцы ДНК 431 индивидов контрольной группы в возрасте 18-80 лет и популяций: русские, татары, башкиры, проживающих в РБ. Генотипирование было выполнено с помощью метода ПЦР в режиме реального времени.

Статистически значимых различий в распределении частот аллелей и генотипов полиморфного локуса rs1801133 гена *MTHFR* между больными раком желудка и здоровыми донорами в зависимости от этнической принадлежности, пола и клинических особенностей заболевания не установлено ( $P>0,05$ ). Поэтому, был проведен мета-анализ по результатам собственных и литературных данных. Сравнивались европейские и азиатские популяции с нашей выборкой. Благодаря этому были обнаружены статистически значимые различия в распределении частот аллелей данного полиморфного локуса rs1801133 гена *MTHFR*: азиатские популяции  $P=0,68$ ; европейские популяции  $P=0,91$ .

### Литература

1. Teng Z., Wang L., Cai S., Yu P., Wang J, Gong J, Liu Y. The 677C>T (rs1801133) polymorphism in the *MTHFR* gene contributes to colorectal cancer risk: a meta-analysis based on 71 research studies. PLoS One. 2013. – Vol. 8 № 2. – 55-332 p.

УДК 616-006:575.1

**АНАЛИЗ АССОЦИАЦИИ ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА RS1801133  
ГЕНА *MTHFR* С РИСКОМ РАЗВИТИЯ ЯЗВЕННОЙ БОЛЕЗНИ  
ЖЕЛУДКА И ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНОЙ КИШКИ**

Носков В.В., Гарипова В.Р., Нургалиева А.Х.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Язвенной болезнью называют хроническое рецидивирующее заболевание, которое характеризуется прекращением активности слизистой, что приводит к местным нарушениям слизистой оболочки желудка или двенадцатиперстной кишки (реже пищевода и тонкой кишки) при контакте с желудочной кислотой или пепсином. Опираясь на статистику 2022 года, можно сделать заключение о том, что в России язву желудка можно встретить примерно у 10% населения.

Ген *MTHFR* у человека кодируется на хромосоме 1 расположение р36.22. Этот ген кодирует белок метилентетрагидрофолатредуктаза – внутриклеточный фермент, который в свою очередь участвует в превращении гомоцистеина в метионин при наличии кофакторов – таких как пиридоксина (витамина В6), цианокобаламина (витамина В12) – и субстрата – фолиевой кислоты.

В качестве материала исследования были использованы образцы ДНК 312 пациентов с ЯБ и образцы ДНК 431 индивидов контрольной группы в возрасте 18-80 лет, популяции: русские, татары, башкиры. Проживающих в РБ. Генотипирование выполнено методом ПЦР real-time

Было установлено, что для башкир аллель Т (P=0,039609) и генотип ТТ (P=0,031172) полиморфного локуса rs1801133 гена *MTHFR* является маркером повышенного риска развития язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, а аллель С (P=0,039609) и генотип СС (P=0,219194) – маркерами пониженного риска развития язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки.

### **Литература**

1. Гайворонский, И.В. Анатомия и физиология человека / И.В. Гайворонский, Г.И. Ничипорук, А.И. Гайворонский. – 2013.
2. Журавская, И.М. Язвенная болезнь / И.М. Журавская, В.Н. Петров, В.А. Лапотников // Медицинская сестра. – 2010. – № 4. – С. 10-13.

© Носков В.В., Гарипова В.Р., Нургалиева А.Х., 2024

УДК 575.174.015.3

## ВКЛАД ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА RS11549465 ГЕНА HIF1A В ПАТОГЕНЕЗ РАКА ЯИЧНИКОВ

Насим Могаддамхейдари<sup>1</sup>, Мингажева Э.Т.<sup>1</sup>, Андреева Е.А.<sup>1</sup>,  
Нургалиева А.Х.<sup>1</sup>, Федорова Ю.Ю.<sup>1</sup>, Фаисханова Р.Р.<sup>2</sup>, Загитов И.Р.<sup>2</sup>,  
Сакаева Д.Д.<sup>3</sup>, Хуснутдинова Э.К.<sup>4</sup>, Прокофьева Д.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Клинический онкологический диспансер, г. Уфа, Россия

<sup>3</sup>Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Россия

<sup>4</sup>Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра  
Российской академии наук, г. Уфа, Россия

Наиболее частыми генетическими нарушениями, ассоциированными с повышенным риском развития РЯ, являются мутации в генах *BRCA1* и *BRCA2* [1], но они объясняют лишь часть случаев и поиск новых молекулярно-генетических маркеров остается востребованным. Нами проведено ассоциативное исследование полиморфного локуса rs11549465 гена *HIF1A* среди женщин из Республики Башкортостан. Материалом для исследования послужили образцы ДНК пациенток с диагнозом РЯ (n=205) и женщин без онкопатологии на момент забора крови (n=259). Генотипирование проводилось методом real-time ПЦР на приборе CFX96 Real-Time System, C1000Touch Thermal Cycler, BIORAD. Установлено, что редкий аллель *T* полиморфного локуса rs11549465 гена *HIF1A* достоверно чаще встречается среди пациенток с низкодифференцированными опухолями, обладающими высокой степенью злокачественности, OR=4.76, 95% CI=1.31 – 17.34, p=0.01.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (№ 075-03-2024-123/1).*

### Литература

1. Luisa Sánchez-Lorenzo, Diego Salas-Benito, Julia Villamayor, Ana Patiño-García and Antonio González-Martín. The BRCA Gene in Epithelial Ovarian Cancer, *Cancers* 2022, 14, 1235.

© Насим Могаддамхейдари, Мингажева Э.Т., Андреева Е.А.,  
Нургалиева А.Х., Федорова Ю.Ю., Фаисханова Р.Р., Загитов И.Р.,  
Сакаева Д.Д., Хуснутдинова Э.К., Прокофьева Д.С., 2024

УДК 575.174:599.9

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОСТОЧНО-ЕВРАЗИЙСКИХ ГАПЛОГРУПП МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК В СУБПОПУЛЯЦИИ СТЕРЛИБАШЕВСКИХ БАШКИР НА ОСНОВЕ ПОЛНЫХ МИТОГЕНОМОВ**

Екомасова Н.В.<sup>1,2</sup>, Джаубермезов М.А.<sup>1,2</sup>, Суфьянова З.Р.<sup>1</sup>,  
Габидуллина Л.Р.<sup>1</sup>, Хидиятова И.М.<sup>1,2</sup>, Ахметшин А.А.<sup>2</sup>, Карунас А.С.<sup>1,2</sup>,  
Северинов К.В.<sup>3</sup>, Хуснутдинова Э.К.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

<sup>3</sup>ООО «Биотек кампус», г. Москва, Россия

Стерлибашевский район, находится на юго-западе РБ, по переписи населения 2020 года, численность башкир в этом районе составляет 6081 чел. (35%). с. Стерлибашево, несмотря на свою многонациональность, непосредственно было связано с башкирским народом, являлось важным научным и образовательным центром и славилось своими медресе, где на протяжении долгого времени обучались юноши не только из Туксурана, территории плотного проживания башкирского населения Оренбуржья и из деревень, расположенных на всем протяжении реки Дема, но и из казахских степей, Нижнего Новгорода, Средней Азии, Западной Сибири.

Изучение варибельности митохондриальной ДНК (мтДНК) является одним из наиболее эффективных подходов генетического исследования, который позволяет сделать значительный шаг вперед в отношении изучения генетической структуры и истории популяций. Маркеры мтДНК позволяют проследить генетическую историю народов по женской линии от этапов становления до настоящего времени. В нашей работе мы рассматриваем мтДНК с максимально возможным разрешением и с использованием метода полногеномного секвенирования мтДНК. Нами было полностью просеквенировано 45 образцов ДНК из субпопуляции стерлибашевских башкир. К восточно-евразийским гаплогруппам мтДНК относится 14 образцов, что составляет 31,1% от всего разнообразия генофонда изученной субпопуляции. Нами были выявлены такие линии как: G3a3, F1a1, B4b1a3a, Y1b, A17, D4b1a2a1, C4b6, N9a2a2, U2e2a1, C4b, D4b1a2a1, B4b1a3a, Z1a1a.

*Исследование поддержано грантом Министерства образования и науки Республики Башкортостан Соглашение № 1 от 14 августа 2023 г. Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-03-2021-193/5.*

© Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Суфьянова З.Р.,  
Габидуллина Л.Р., Хидиятова И.М., Ахметшин А.А.,  
Карунас А.С., Северинов К.В., Хуснутдинова Э.К., 2024

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ И БИОИНФОРМАТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ СКРИНИНГА ПАТОГЕННЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЖЕЛУДКА**

Нурғалиева А.Х.<sup>1</sup>, Петрова С.Г.<sup>1</sup>, Сафина М.М.<sup>1</sup>, Фазрахманова Г.З.<sup>1</sup>, Федорова Ю.Ю.<sup>1</sup>, Екомасова Н.В.<sup>1</sup>, Джаубермезов М.А.<sup>1</sup>, Прокофьева Д.С.<sup>1</sup>, Рахимов Р.Р.<sup>2</sup>, Сакаева Д.Д.<sup>3</sup>, Абдеев Р.Р.<sup>2</sup>, Хуснутдинова Э.К.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Республиканский клинический онкологический диспансер МЗ РБ, г. Уфа, Россия

<sup>3</sup>Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Россия

Рак желудка (РЖ) является одним из тяжелейших заболеваний, занимающее лидирующие позиции среди причин смерти от ЗНО в мире. Материалом для исследования послужили образцы ДНК больных РЖ (N=400) и здоровых доноров (N=400), проживающих в РБ. Полное экзомное секвенирование по технологии NGS 18 образцов ДНК опухолевой ткани и прилежащей к ней гистологически нормальной ткани, полученных от пациентов с РЖ, выявило 3 патогенных варианта: с.1320+1G>A гена CDH1 и с.27\_28insCCCAGCCCCAGCTACCA (p.Ala9fs) гена VEGFA обнаружены только в опухолевой ткани, с.G1874C (p.Cys625Ser) гена FANCA – в опухолевой и нормальной тканях. Все изменения выявлены у пациентов с диффузным типом РЖ. Проведен скрининг мутаций методом ПЦР в режиме реального времени в генах: BRCA1 (с.68\_69delAG, с.4035delA, с.5266dupC, с.3700\_3704delGTAAA, с.3756\_3759delGTCT, с.181T>G, с.1961delA); BRCA2 (с.5946delT); NBS1 (с.657\_661delGTTTT); CHEK2 (с.1100delC, с.115+1G>A). Всего выявлены 7 носителей мутаций в гетерозиготном состоянии: 2 пациента башкирской и татарской этнической принадлежности имеют герминальную мутацию-с.5266dupC в гене BRCA1, 1 женщина татарка имеет с.3756\_3759delGTCT в гене BRCA1, двое мужчин русской этнической принадлежности - носители с.657\_661delGTTTT в гене NBS1, и 2 пациента татарской и русской этнической принадлежности – носители с.115+1G>A гена CHEK2.

*Работа выполнена при поддержке: Государственное задание Минобрнауки России № 075-03-2024-123/1).*

**Литература**

1. Maccaroni, E., Giampieri, R., Lenci, E., et al. BRCA mutations and gastrointestinal cancers: When to expect the unexpected?. // World journal of clinical oncology, 2021, v. 12(7), p. 565.

© Нурғалиева А.Х., Петрова С.Г., Сафина М.М., Фазрахманова Г.З., Федорова Ю.Ю., Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Прокофьева Д.С., Рахимов Р.Р., Сакаева Д.Д., Абдеев Р.Р., Хуснутдинова Э.К., 2024

УДК 616.3

## **ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНА *MTHFR* В РАЗВИТИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГАСТРИТА**

Галеева А.Р., Федорова Ю.Ю., Ихсанова Г.Х., Мамиков Б.,  
Нургалиева А.Х., Прокофьева Д.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Хронический гастрит (ХГ) является одной из наиболее распространенных патологий желудочно-кишечного тракта. ХГ характеризуется длительным и повторяющимся воспалением слизистой желудка, может прогрессировать до развития язвы и даже рака желудка. ХГ является многофакторным заболеванием, поэтому к факторам риска относят факторы окружающей среды и генетическую предрасположенность. Целью работы явилось исследование ассоциации полиморфных вариантов гена метилентетрагидрофолатредуктазы *MTHFR* (rs1801133 (C677T), rs1801131 (A1298C)) в развитии ХГ. В качестве материала исследования использованы образцы ДНК 160 пациентов с ХГ и образцы ДНК 110 индивидов контрольной группы в возрасте 18-50 лет, проживающих в Республике Башкортостан. Генотипирование выполнено с помощью метода ПЦР в режиме реального времени. При исследовании полиморфного варианта rs1801133 гена *MTHFR* выявлено, что наиболее часто встречающимися во всех исследованных выборках являются аллель rs1801133\*А и генотип rs1801133\*АА. При изучении полиморфного варианта rs1801131 гена *MTHFR* обнаружено, что наиболее часто встречающимися во всех исследованных выборках являются аллель rs1801131\*А и генотип rs1801131\*АА. Анализ распределения частот аллелей и генотипов полиморфных вариантов rs1801133 и rs1801131 гена *MTHFR* не выявил статистически значимых различий между больными ХГ и здоровыми индивидами ( $p > 0,05$ ).

*Работа выполнена при финансовой поддержке «Государственное задание Министерства науки и высшего образования № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024».*

© Галеева А.Р., Федорова Ю.Ю., Ихсанова Г.Х.,  
Мамиков Б., Нургалиева А.Х., Прокофьева Д.С., 2024



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Азнагулова Г.М., Екомасов Е.Г., Шарафуллин И.Ф. ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА ХАРРАСОВА МУХАМЕТА ХАДИСОВИЧА .....</b>	<b>3</b>
--	----------

### **СЕКЦИЯ «КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕОРИЯ ФУНКЦИЙ»**

<b>Поглазов К.Ю., Таюпов М.М., Пухальский А.А. РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА СВЯЗИ VERB-A СО СКВОЗНЫМ СПОСОБОМ ШИФРОВАНИЯ.....</b>	<b>6</b>
<b>Рахимова А.И. ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ОПЕРАТОРОВ .....</b>	<b>7</b>

### **СЕКЦИЯ «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОПЕРАТОРОВ»**

<b>Галимов Т.И. МЕТОД ОБРАТНОЙ ИТЕРАЦИИ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ СТАРШИХ СОБСТВЕННЫХ ПАР <math>p</math>- ЛАПЛАСИАНА.....</b>	<b>8</b>
<b>Саханевич С.С. ЗАДАЧА ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ В КРИТИЧЕСКИХ СЛУЧАЯХ.....</b>	<b>9</b>
<b>Грачев Н.А. ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ МАТЬЕ.....</b>	<b>10</b>
<b>Минибаев Э.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ В ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ТЕЛ.....</b>	<b>11</b>
<b>Буравков Н.Г. О ЛЯПУНОВСКИХ ВЕЛИЧИНАХ ОДНОМЕРНЫХ ДИСКРЕТНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ.....</b>	<b>12</b>
<b>Ахметов Р.Г. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ О МАССООБМЕНЕ В ОКРЕСТНОСТИ КАПЛИ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ОБТЕКАНИЯ И ОБЪЁМНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА.....</b>	<b>13</b>

## СЕКЦИЯ «МЕХАНИКА»

<b>Фатхелисламов А.Ф., Утяшев И.М.</b> ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ПРОДОЛЬНОГО НАДРЕЗА СТЕРЖНЯ.....	14
<b>Юлмухаметов А.А., Утяшев И.М.</b> СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПОСТЕЛИ.....	15
<b>Мухарямова Г.И., Киреев В.Н., Ковалева Л.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕФТЬ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕФТЕПРОВОДОВ ДЛЯ ИХ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ.....	16

## СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

<b>Шарипов Р.А.</b> РАСПАД СУПЕРБРАДИОНА.....	18
<b>Наумов Е.К., Дмитриев С.В.</b> ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ.....	19
<b>Абдуллин А.У.</b> БИФУРКАЦИИ ОДНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	20
<b>Губайдуллин Р.Г., Антонова А.А., Филиппов А.И., Зеленова М.А.</b> НОВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЛН.....	21
<b>Мацковский А.А., Заворохин Г.Л.</b> ОБ УПРУГИХ ВОЛНАХ В ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ.....	22

## СЕКЦИЯ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТАТИСТИКА»

<b>Сергиенко Д.Ф., Паровик Р.И.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ РОЗЕНБРОКА ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА ТОЧНОСТИ.....	23
<b>Еремчук М.П.</b> РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА МЕТОДОМ ИТЕРАЦИОННЫХ РАСШИРЕНИЙ.....	25

<b>Усманова Ф.К., Мамедова Э.Р.</b> ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ НЕФТИ В ТРУБОПРОВОДЕ .....	26
<b>Юманова Э.Р.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ ЗОДИАКА.....	27
<b>Каримов А.Р., Соломатин М.А.</b> ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФЕКЦИИ НА ЭНДИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ В РАСШИРЕННОЙ SEIR МОДЕЛИ.....	28
<b>Митичкина П.Г., Усманова Ф.К.</b> ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	30

#### **СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА»**

<b>Синицын Вл.Е., Овчинников А.С., Бострем И.Г.</b> ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ СПИНОВОГО СТЕКЛА: МОДЕЛЬ ШЕРРИНГТОНА-КИРКПАТРИКА И МОДЕЛЬ ПАРИЗИ.....	32
<b>Малютин М.С., Овчинников А.С.</b> НЕЛИНЕЙНЫЕ УЕДИНЕННЫЕ ВОЛНЫ В КОНИЧЕСКОЙ ФАЗЕ... ХИРАЛЬНОГО ГЕЛИМАГНЕТИКА $\text{CrNb}_3\text{S}_6$	33
<b>Пересторонина А.В., Кудрейко А.А.</b> МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ-АЗОКРАСИТЕЛЬ.....	34
<b>Кадырина К.Д., Шапошников Л.А., Батурин С.С.</b> ЭФФЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С НАРУШЕНИЕМ АКСИАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ В ПЛАЗМЕННОМ УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ... ..	35
<b>Кабанов Д.К., Хасанов А.Д., Екомасов Е.Г.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ВОЛН УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА БРИЗЕРНОГО ТИПА С УЧЕТОМ ИЗЛУЧЕНИЯ.....	36
<b>Загребина М.А., Кузьмин Д.А., Бычков И.В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ В НАНОРЕЗОНАТОРАХ.....	37
<b>Фасхутдинов Р.А., Кудашев В.С., Екомасов Е.Г.</b> СВЯЗАННАЯ ДИНАМИКА МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ РАЗНОЙ ПОЛЯРНОСТИ В СТНО СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА.....	38

<b>Аргамонов И.В., Загребин М.А.</b> ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА $Mn_3Al$ : ИССЛЕДОВАНИЯ <i>AB INITIO</i> .....	39
<b>Ененко А.А.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА «AICON2» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПИНОВЫХ ПОДСИСТЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВ.....	40
<b>Харипова Д.И., Каримов Р.Х.</b> ГРАВИТАЦИОННОЕ МИКРОЛИНЗИРОВАНИЕ ЧЕРНЫМИ ДЫРАМИ В Т-ДУАЛЬНОСТИ.....	42
<b>Ахтарьянова Г.Ф., Измаилов Р.Н., Каримов Р.Р.</b> STABILITY OF THE THIN-SHELL SCHWARZSCHILD - KIM-LEE WORMHOLE.....	43
<b>Юсупова Р.М., Измаилов Р.Н., Каримов Р.Х.</b> BONDI ACCRETION ONTO QUANTUM DEFORMED BLACK HOLE.....	44
<b>Хидиров У.К., Ахтарьянова Г.Ф., Каримов Р.Х., Измаилов Р.Н.</b> УГОЛ ОТКЛОНЕНИЯ КРОВОЙ НОРОЙ КАЗИМИРА В СЛАБОМ ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ.....	45
<b>Петров С.Н., Филиппов А.И., Зеленова М.А.</b> НЕЛИНЕЙНАЯ РАДИАЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ СО СЛАБОСЖИМАЕМЫМ СКЕЛЕТОМ.....	46
<b>Филиппов М.А., Вахитов Р.М., Ахметова А.А., Солонецкий Р.В.</b> СВОЙСТВА И СТАБИЛЬНОСТЬ СКИРМИОННЫХ СОСТОЯНИЙ В МОДУЛИРОВАННЫХ УЛЬТРАТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ.....	47
<b>Бострем И.Г., Сеницын В.Е., Павлов С.И.</b> ДИСКРЕТНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ БРИЗЕРЫ В МОНООКСИАЛЬНОМ КИРАЛЬНОМ ГЕЛИМАГНЕТИКЕ.....	49
<b>Кубатиева М.Р., Закирьянов Ф.К.</b> О КЛАССИФИКАЦИИ УГЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДНК.....	50
<b>Галимова А.Д., Закирьянов Ф.К.</b> О КЛАССИФИКАЦИИ ПОПЕРЕЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДНК.....	51
<b>Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., Солонецкий Р.В.</b> СТРУКТУРА И СВОЙСТВА $k\pi$ -СКИРМИОНОВ В НЕОДНОРОДНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ.....	52
<b>Загребин М.А., Матюнина М.В.</b> СПЛАВЫ С ГИГАНТСКОЙ МАГНИТОСТРИКЦИЕЙ НА ОСНОВЕ FE. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ.....	53

## СЕКЦИЯ «ДИЗАЙН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

<b>Сафаргалиев Д.И., Биккулова Н.Н., Курбангулов А.Р., Акманова Г.Р.</b> КОМПЬЮТЕРНЫЙ ДИЗАЙН СИСТЕМЫ Ag-Te .....	55
<b>Долгий Д.А., Сафаргалиев Д.И., Биккулова Н.Н., Курбангулов А.Р., Акманова Г.Р., Салимов Р.Р.</b> РАСЧЕТ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ТЕЛЛУРИДА СЕРЕБРА.....	56
<b>Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф.</b> ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СПИНОВЫЕ СОСТОЯНИЯ В ГЕЛИОМАГНЕТИКАХ...	57
<b>Абдрахманов Д.И., Шарафуллин И.Ф.</b> ЛОКАЛИЗАЦИЯ СКРМИОНОВ В ОБЛАСТИ ОБМЕННО-РЕДУЦИРОВАННОГО ДЕФЕКТА.....	59
<b>Нугуманов А.Г.</b> ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ СКРМИОНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ.....	61
<b>Нугуманов Р.Р., Магадеев Е.Б., Шарафуллин И.Ф.</b> ВИХРЕПОДОБНЫЕ МАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ В ПЕРФОРИРОВАННЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛЕНКАХ.....	63
<b>Юлдашева А.Р., Шарафуллин И.Ф.</b> ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ И СКРМИОНЫ В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФРУСТРИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ.....	65

## СЕКЦИЯ «РАДИОФИЗИКА»

<b>Миназов И.И., Шарипов Т.И., Шайхитдинов Р.З.</b> МЕТОД ЗОНДА КЕЛЬВИНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВИХРЕВОЙ ТРУБКИ РАНКЕ-ХИЛША.....	67
<b>Амиров Д.М., Шарипов Т.И.</b> ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ 5G В ЖИЛОМ КОМПЛЕКСЕ..	69
<b>Мухамедьянов М.М., Рыжиков О.Л.</b> УСИЛИТЕЛЬ ЗВУКА НА ТРАНЗИСТОРАХ.....	70
<b>Доломатова М.М., Ермаков Д.Ю., Салихова Р.Д.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭЛЕКТРОННЫХ И СИГНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ СЛОЖНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ.....	71
<b>Шарипов Т.И.</b> ГОМООЛИГОНУКЛЕОТИДЫ КАК НАНОПРОВОДА.....	73

<b>Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З., Шарипов Т.И.</b> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНЕГО ШУМА И ФЛИККЕР-ШУМА.....	74
<b>Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З.</b> ОБЗОР ПРОЦЕССОВ ВОЗНИКАЮЩИХ В ВОДЯНОМ МОСТИКЕ...75	
<b>Мочалов А.Н., Шарипов Т.И.</b> ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	76

### **СЕКЦИЯ «НАНОЭЛЕКТРОНИКА И НАНОМАТЕРИАЛЫ»**

<b>Булышева Е.О., Ишмакаева Г.И., Зильберг Р.А.</b> МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТОВ ИЗ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ХИТОЗАНА И N- СУКЦИНИЛХИТОЗАНА С УГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НАПРОКСЕНА.....	77
<b>Терес Ю.Б., Волкова А.А., Зильберг Р.А.</b> КОМПОЗИТНЫЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА Ni(II) С ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ЛИГАНДАМИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ АТЕНОЛОЛА.....	79
<b>Гильманов Д.Р., Салихов Р.Б.</b> ОРГАНИЧЕСКИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФОТОТРАНЗИСТОРОВ .....	81
<b>Сафаргалиев Д.И., Биккулова Н.Н., Ермилов Н.В., Гаймалов А.И.<sup>2</sup>, Акманова Г.Р.</b> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНИДОВ СВИНЦА.....	83
<b>Айдагулов А.А., Салихов Р.Б.</b> ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА.....	84
<b>Айдагулов А.А., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.</b> ОТСЛЕЖИВАНИЕ ЖИВОТНЫХ НА ФЕРМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN.....	85
<b>Баджассилона Г.Б., Салихов Р.Б.</b> ФОТОРЕЗИСТОР НА ОСНОВЕ ПЛЕНКИ ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАНИЛИНА.....	86
<b>Абдрахманов В.Х., Давлетбердин И.И.</b> СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN.....	87

<b>Давлетшин Т.Ю., Абдрахманов В.Х.</b> СИСТЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ.....	89
<b>Ильясов Д.Р., Салихов Т.Р.</b> ОРГАНИЧЕСКИЕ ФОТОРЕЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	90
<b>Салихов Р.Б., Иванов В.И.</b> ФОТОРЕЗИСТОРЫ И ФОТОТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ НОВОГО ПОЛИИНДОЛА – ПОЛИ(2ЭТИЛ-3-МЕТИЛИНДОЛА).....	92
<b>Кушбоков Н.А., Абдрахманов В.Х, Салихов Р.Б.</b> ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN.....	93
<b>Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У.</b> РАЗРАБОТКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	95
<b>Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У.</b> ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ СУКЦИНАМИДА ХИТОЗАНА.....	96
<b>Сафаргаллин И.Н., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., Остальцова А.Д.</b> БЕЗПРОВОДНОЕ ОДНОПЛАТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГАЗОВ NH <sub>3</sub> .....	97
<b>Сагидуллина А.Р, Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.</b> СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В ПОМЕЩЕНИЕ НА БАЗЕ IOT И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RFID.....	98
<b>Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Янтураев Д.В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» ДЛЯ РАЗВИТИЯ УМНОГО ГОРОДА.....	99
<b>Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б.</b> УПРАВЛЕНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТЬЮ ПОЛИ-2-(1- МЕТИЛБУТ-2-ЕН-1-ИЛ)АНИЛИНА ПОСРЕДСТВОМ ЛЕГИРОВАНИЯ И КОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЙ ОКИСЛЕНИЯ.....	100
<b>Мухаметдинов Ч.Р., Зильберг Р.А., Терес Ю.Б.</b> АНАЛИЗ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ С ПЕРЕКРЕСТНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ.....	102
<b>Бассареев А.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ ЁМКОСТИ ВОДОРОДА ЧЕШУЙКИ СКОМКАННОГО ГРАФЕНА С ЧАСТИЦАМИ ЛИТИЯ..	103

<b>Сычева М.А., Зильберг Р.А.</b> ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР СВРЕ/NI(II)-CL-(S) ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ НАПРОКСЕНА.....	106
<b>Блохина А.Н., Крылова К.А.</b> ВОДОРОНАЯ СОРБЦИЯ НА ГРАФЕНОВЫХ ЧЕШУЙКАХ С АТОМАМИ Li .....	107
<b>Муллагалиев И.Н.</b> ФОТОТРАНЗИСТОРЫ С АКТИВНЫМ СЛОЕМ НА ОСНОВЕ ФУЛЛЕРЕНА И ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	108
<b>Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х.</b> БАЗЫ ДАННЫХ, КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ (IOT).....	109
<b>Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х., Сафаргалин И.Н.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	111
<b>Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х.</b> РОЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	113
<b>Акылбекова А.Д., Байзакова А.Т., Мухатаева А.Ж.</b> ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ ZnS В НАНОПОРАХ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ.....	115
<b>Акылбекова А.Д., Есмахан А.Б., Садуова Н.М.</b> ТЕМПЛЕЙТНЫЙ СИНТЕЗ И СТРУКТУРА НАНОКРИСТАЛЛОВ ТЕЛЛУРИДА ЦИНКА.....	117

### СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА НАНОСИСТЕМ»

<b>Таюпов М.М., Давлятгареев Х.И., Маркова А.В., Асфандиаров Н.Л.</b> ВЕРОЯТНЫЙ МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА С ПАРАМИ СПИРТОВ.	120
<b>Галиев А.Ф., Карамов Д.Д.</b> ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ТОКОПРОВОДЯЩЕМ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНОМ ОРГАНИЧЕСКОМ ПОКРЫТИИ В СТРУКТУРЕ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА.....	121
<b>Ишмухаметов М.С.</b> ГИБКИЙ СЕНСОР ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИАРИЛЕНФТАЛИДОВ.....	122



<b>Буланкин Н.С.</b> ИМПЕДИМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОАКТИВНОГО ПОЛИМЕРА ДЛЯ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЫ.....	123
<b>Арутюнов К.Ю., Завьялов В.В., Лачинов А.Н., Карамов Д.Д., Юсупов А.Р.</b> ЭЛЕКТРОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОСТРУКТУР СВЕРХПРОВОДНИК – ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИД – СВЕРХПРОВОДНИК.....	124
<b>Маркова А.В., Асфандиаров Н.Л.</b> ОБРАЗОВАНИЕ НЕКОВАЛЕНТНЫХ СТРУКТУР В ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНАХ 5- БРОМОФТАЛИДА.....	126
<b>Амиров Э.Ш., Васенко А.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТУННЕЛЬНЫХ КОНТАКТАХ МЕТАЛЛ - СВЕРХПРОВОДНИК.....	127
<b>Пашковская В.Д., Васенко А.С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТОНКИХ ПЛЕНОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТАЦИОНАРНЫХ УРАВНЕНИЙ ГИНЗБУРГА-ЛАНДАУ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕМЕННЫХ СВЯЗКИ....	130
<b>Сеидов С.С.</b> ТОК ВИГНЕРА В МНОГОМЕРНЫХ КВАНТОВЫХ БИЛЬЯРДАХ...	133
<b>Ихсанов Р.Ш., Усков А.В., Сметанин И.В., Проценко И.Е.</b> ВЛИЯНИЕ ТАММОВСКИХ УРОВНЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕМНОГО ФОТОЭФЕКТА В СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК.....	134
<b>Панова Н.А., Тухбатуллин А.А., Шарипов Г.Л.</b> ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ СУЛЬФАТОВ ЛАНТАНИДОВ(III).....	135
<b>Гурский А.С., Позднякова Е.Ф., Арутюнов К.Ю., Шаповалов Д.Л., Иевлева В.А., Седов Е. А., Маркина М.А., Тарасов М.А., Чекушкин А.М.</b> КОГЕРЕНТНАЯ КВАЗИЧАСТИЧНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТОКА В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРАХ ААРОНОВА-БОМА....	136
<b>Милютин Д.П., Безымянных Д.Г., Пугач Н.Г.</b> ПОВЕДЕНИЕ ФУНКЦИЙ ГРИНА В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ СВЕРХПРОВОДНИК-ФЕРРОМАГNETИК ПРИ НАЛИЧИИ СПИНОВОГО РАССЕЯНИЯ.....	138
<b>Ильясов В.Х., Ваенский А.П., Карамов Д.Д., Лачинов А.Н., Пономарев А.Ф.</b> ТОКИ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ В ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК ПДФ/ПММА.....	140

<b>Байбулова Г.Ш., Карамов Д.Д., Галиев А.Ф.</b> ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ СО-ПАЭК .....	141
<b>Туркин Я.В., Пугач Н.Г.</b> ВОЗБУЖДЕНИЕ СПИНОВЫХ ВОЛН, ВЫЗВАННОЕ ДИНАМИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ БЛИЗОСТИ В ГИБРИДНЫХ СТРУКТУРАХ СВЕРХПРОВОДНИК/ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ИЗОЛЯТОР.....	142
<b>Боярнцева А.В., Корнилов В.М.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В УЛЬТРАТОНКИХ СЛОЯХ ДВУОКСИ КРЕМНИЯ.....	144
<b>Газизов Ш.Н., Корнилов В.М.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ.....	145
<b>Смольников Н.В., Корнилов В.М.</b> ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕХОДОВ В ЭЛЕКТРОДЕ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ МЕТАЛЛ- ПОЛИМЕР-МЕТАЛЛ.....	146
<b>Каримов В.Р.</b> МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МЯГКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ.....	147
<b>Давлятгареев Х.И., Карамов Д.Д., Байбулова Г.Ш., Галиев А.Ф.</b> КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЫ ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ QUANTUM ESPRESSO.....	148
<b>Мукминова Р.Р., Юсупов А.Р.</b> ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАРИЛЕНФТАЛИДОВ ДОПИРОВАННЫХ ГРАФЕНОМ RG-S1.....	150
<b>Яхин А.Р., Юсупов А.Р., Галиев А.Ф., Карамов Д.Д.</b> ГИБКИЕ НАГРЕВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА.....	152

#### СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

<b>Сафина Л.Р., Крылова К.А., Баимова Ю.А.</b> МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВОЙ СЕТКИ И МЕТАЛЛА: МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИНАМИКА .....	153
<b>Наумова Д.М., Дмитриев С.В.</b> ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.....	154

<b>Горяев М.Р., Сафаргалиев Д.И., Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р.</b> ЗОННАЯ СТРУКТУРА СЕЛЕНИДА МЕДИ В СУЕРИОННОМ СОСТОЯНИИ.....	155
<b>Аллабердин И.З., Кутов А.Х., Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р.</b> ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В СЕЛЕНИДЕ МЕДИ.....	156
<b>Казакбаев А.Р., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СОЕДИНЕНИЯ $Cu_{1.7}Na_{0.3}S$ .....	157
<b>Козин К.Д., Юмагузин Ю.М.</b> МЕТОД РЕЗОНАНСНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА.....	158
<b>Кубенова М.М., Алина Р.А., Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х.</b> ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ СУЛЬФИДОВ $Na_{0.3}Cu_{1.6}S$ И $Na_{0.35}Cu_{1.6}S$ .....	159
<b>Назмиев Т.Р., Ихсанова Я.Б., Салихова Л.Р., Ишембетов Р.Х.</b> ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ НАНОКРИСТАЛЛИТНЫХ СУЛЬФИДОВ МЕДИ $K_{0.03}Cu_{1.94}S$ .....	160
<b>Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х.</b> ЭЛЕКТРОННЫЙ И ИОННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЗЕЕБЕКА НАНОКРИСТАЛЛИТНЫХ СПЛАВАХ ХАЛЬКОГЕНИДОВ МЕДИ $K_{0.01}Cu_{1.94}S$ , $K_{0.02}Cu_{1.94}S$ , $K_{0.03}Cu_{1.94}S$ .....	161
<b>Кирилюк К.К., Мусабиров И.И.</b> ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА СИСТЕМЫ Ni-Mn-Ga.....	162
<b>Рожнова Е.А., Сафина Л.Р., Баимова Ю.А.</b> ПРИМЕНИМОСТЬ МЕЖАТОМНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ ГРАФЕН/ТИТАН.....	163
<b>Габдрахманова Л.А., Галиев Д.М., Альмухаметов Р.Ф.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КОБАЛЬТЕ.....	165
<b>Колесников В.В., Мурзаев Р.Т.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГРАФИНОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ.....	167
<b>Миронов Р.А., Мурзаев Р.Т.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУЛЛЕРЕНА $C_{60}$ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МЕДИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ.....	168
<b>Давлетшина А.Д., Латыпова А.Р.</b> ЗОННАЯ СТРУКТУРА СОЕДИНЕНИЙ $Na_xCu_{2-x}S$ .....	170

## СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

<b>Хайбуллин А.Д., Космылин Д.В.</b> ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННЕЙ СТЕНКИ КОЛОННЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ДАТЧИКАМИ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	171
<b>Ковалев А.А.</b> ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОЛОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ СНИЗУ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА.....	173
<b>Матюшина А.А.</b> ИЗУЧЕНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН.....	174
<b>Алимова М.Р., Вахитова Г.Р.</b> КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОЛЛЕКТОРОВ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО ГАММА-КАРОТАЖА.....	176
<b>Каримов А.Р., Петунин Н.М.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БИОПОЛИМЕРОВ.....	178
<b>Мухутдинов В.К.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ПО ЛАБОРАТОНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ КЕРНА И ДАННЫМ ГИС .....	179
<b>Хуссамов Р.И., Закиров М.Ф.</b> АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЕ ПРИ ЗАКОЛОННОМ ПЕРЕТОКЕ СНИЗУ .....	180
<b>Абдуллина М.Р., Ремеев И.С.</b> АНАЛИЗ ДАННЫХ ГИС СОВРЕМЕННЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ.....	181
<b>Автушенко О.А., Давлетшин Ф.Ф.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ НАРУШЕНИИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КОЛОННЫ И ЦЕМЕНТНОГО КОЛЬЦА В ЗУМПФЕ ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ.....	182
<b>Буджогра С., Шарафутдинов Р.Ф., Канафин И.В.</b> МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ КОНДЕНСАТА В ПЛАСТАХ.....	183
<b>Шайхинуров Ш.Н., Вахитова Г.Р.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ПРИ ОЦЕНКЕ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ.....	184

<b>Гирфанов И.И., Исламов Д.Ф.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИСКВАЖИННОЙ ЗОНЕ НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ МНОГОФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ.....	186
<b>Фазылова Д.А., Рамазанов А.Ш.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ БАРОТЕРМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ И НЕФТИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ .....	187
<b>Каримова Д.Ф., Вахитова Г.Р.</b> ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОДУКТИВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ АЧИМОВСКОЙ СВИТЫ.....	189
<b>Гильманов Р.Я., Мухутдинов В.К.</b> ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАСТА.....	192
<b>Басимова А.Х., Мухутдинов В.К.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ПРИТОКА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН ПО ДАННЫМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ШУМОМЕТРИИ.....	193

#### СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

<b>Камалтдинов Р.М., Ковалева Л.А., Зиннатуллин Р.Р.</b> ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЭМУЛЬСИИ ПРИ ВЧ И СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ОБЛУЧЕНИИ.....	194
<b>Галиева К.А., Гарифуллин И.Ш.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ УПАКОВКИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТОЛБИКОВ.....	195
<b>Курбанова С.С., Биккинина Н.Б.</b> ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МИКРОКАНАЛАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ.....	196
<b>Байкова Р.А., Давлетбаев А.Я.</b> ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНЕ.....	198
<b>Девяткин А.А., Филиппов А.И., Зеленова М.А.</b> МЕЖПЛАСТОВЫЕ ПЕРЕТОКИ В ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ.....	199

<b>Мальцев Р.С., Филиппов А.И., Зеленова М.А.</b> ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ФАЗОВЫЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПРИ ВЫТЕСНЕНИИ НЕФТИ ВОДОЙ.....	201
<b>Батыршин К.Э., Батыршин Э.С., Солнышкина.О.А.</b> ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫДЕРЖИВАНИЯ В НЕФТИ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПОВ.....	203
<b>Усманов Б.А., Галеев Р.Р., Мусин А.А., Зиннатуллин Р.Р.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ.....	205
<b>Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р., Валиуллина В.И., Галев Р.Р., Мусин А.А.</b> ФИЛЬТРАЦИЯ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ СИЛ.....	206
<b>Юлмухаметова Р.Р., Мусин А.А.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ВЯЗКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	207

#### **СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ, ФИЗИКИ»**

<b>Юнусова Р.Р., Агафонова В.С., Орлов А.В.</b> ИГРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ.....	208
<b>Абдуллин А.У., Акманова Г.Р.</b> О ФОРМИРОВАНИИ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ В ПРЕПОДАВАНИИ КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ.....	209
<b>Косарев Н.Ф., Фазлыева Э.А.</b> ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ УМЕНИЙ НА УРОКЕ ФИЗИКИ.....	210
<b>Акманова Г.Р., Биккулова Н.Н.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ СТУДЕНТАМИ КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕХВАТКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ.....	211
<b>Агафонова В.С., Юнусова Р.Р., Ягафарова З.А.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ.....	212

<b>Агафонова В.С., Юнусова Р.Р., Орлов А.В.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ .....	213
<b>Абдуллин А.У.</b> ЗРЕНИЕ КАК ДИФРАКЦИЯ НА ЗРАЧКЕ.....	214
<b>Ягафарова З.А., Тагирова А.В., Саитгалина А.М.</b> ЭТНОПЕДАГОГИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ ПРИ ОБУЧЕНИИ ПРЕДМЕТАМ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ЦИКЛА.....	215
<b>Ахметвалеева А.Р., Кутлугильдина Р.Ф., Баринаева Н.А.</b> ЗНАЧЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО УРОКА ИНФОРМАТИКИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ В ШКОЛЕ.....	216
<b>Саитгалина А.М., Тагирова А.В., Орлов А.В.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ФИЗИКЕ В СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЕ.....	218
<b>Галимова К.Р.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ШКОЛЕ.....	220
<b>Галимова К.Р.</b> РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УМЕНИЙ УЧАЩИХСЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ.....	222
<b>Галимова К.Р.</b> ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ.....	224

#### **СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПОПУЛЯЦИОННОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ГЕНЕТИКЕ»**

<b>Белова А.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРАПИИ ХРОНИЧЕСКОГО МИЛОЛЕЙКОЗА .....	226
<b>Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В., Чагаров О.С., Габидуллина Л.Р., Хуснутдинова Э.К.</b> АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs12913832 ГЕНА <i>HERC2</i> В ПОПУЛЯЦИИ БАЛКАРЦЕВ.....	227
<b>Куряев Б.Р., Киль Е.Е., Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К.</b> АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs2740574 ГЕНА <i>СУР3А4</i> В ФИННО-ВОЛЖСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ МОРДВЫ.....	229

<b>Киль Е.Е., Куряев Б.Р., Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К.</b> АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs743572 ГЕНА <i>CYP17A1</i> В ФИННО-УГОРСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ КОМИ И МАРИЙЦЕВ.....	231
<b>Багданова Л.М., Екомасова Н.В., Суфьянова З.Р., Джаубермезов М.А., Хуснутдинова Э.К.</b> АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs4646421 ГЕНА <i>CYP11A1</i> В ПОПУЛЯЦИЯХ УДМУРТОВ И БЕСЕРМЯН.....	233
<b>Носков В.В., Гарипова В.Р., Нургалиева А.Х.</b> РОЛЬ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ВАРИАНТА RS1801133 ГЕНА <i>MTHFR</i> В РАЗВИТИИ РАКА ЖЕЛУДКА.....	234
<b>Носков В.В., Гарипова В.Р., Нургалиева А.Х.</b> АНАЛИЗ АССОЦИИ ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА RS1801133 ГЕНА <i>MTHFR</i> С РИСКОМ РАЗВИТИЯ ЯЗВЕННОЙ БОЛЕЗНИ ЖЕЛУДКА И ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНОЙ КИШКИ.....	235
<b>Насим Могадамхейдари, Мингажева Э.Т., Андреева Е.А., Нургалиева А.Х., Федорова Ю.Ю., Фаисханова Р.Р., Загитов И.Р., Сакаева Д.Д., Хуснутдинова Э.К., Прокофьева Д.С.</b> ВКЛАД ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА RS11549465 ГЕНА <i>HIF1A</i> В ПАТОГЕНЕЗ РАКА ЯИЧНИКОВ.....	236
<b>Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Суфьянова З.Р., Габидуллина Л.Р., Хидиятова И.М., Ахметшин А.А., Карунас А.С., Северинов К.В., Хуснутдинова Э.К.</b> ИЗУЧЕНИЕ ВОСТОЧНО-ЕВРАЗИЙСКИХ ГАПЛОГРУПП МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК В СУБПОПУЛЯЦИИ СТЕРЛИБАШЕВСКИХ БАШКИР НА ОСНОВЕ ПОЛНЫХ МИТОГЕНОМОВ.....	237
<b>Нургалиева А.Х., Петрова С.Г., Сафина М.М., Фазрахманова Г.З., Федорова Ю.Ю., Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Прокофьева Д.С., Рахимов Р.Р., Сакаева Д.Д., Абдеев Р.Р., Хуснутдинова Э.К.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ И БИОИНФОРМАТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ СКРИНИНГА ПАТОГЕННЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЖЕЛУДКА.....	238
<b>Галеева А.Р., Федорова Ю.Ю., Ихсанова Г.Х., Мамиков Б., Нургалиева А.Х., Прокофьева Д.С.</b> ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНА <i>MTHFR</i> В РАЗВИТИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГАСТРИТА.....	239



При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

*Научное издание*

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА  
И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ:  
спутник Международной научной конференции  
«Уфимская осенняя математическая школа-2024»**

*Тезисы докладов*

*XV Международной школы-конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых,  
посвящённой 300-летию Российской академии наук  
(г. Уфа, 6 – 9 октября 2024 г.)*

*Электронное издание сетевого доступа*

*За достоверность информации, изложенной в статьях,  
ответственность несут авторы.*

*Статьи публикуются в авторской редакции*

Подписано к использованию 04.12.2024 г.  
Гарнитура «Times New Roman». Объем 12,44 Мб.  
Заказ 224.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»  
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.*

Тел.: +7-908-35-05-007  
e-mail: ric-bdu@yandex.ru