УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

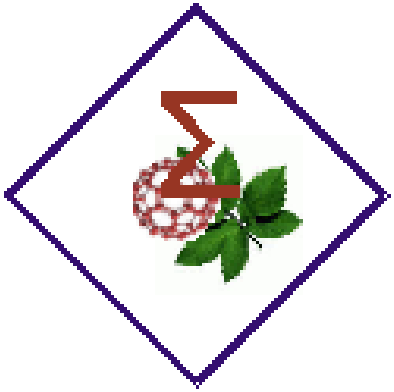
приоритет2030^
лидерами становятся

Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании:

спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2026»

Сборник материалов

XVII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых



Уфа, 30 сентября – 2 октября 2026 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-2026»

Материалы
XVII Международной школы-конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
(г. Уфа, 30 сентября – 3 октября 2026 г.)

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2026

УДК 51+53
ББК 22.1+22.3
Ф94

Сборник составлен в рамках Программы развития Научно-образовательного математического центра Приволжского федерального округа, соглашение № 075-02-2026-1332

Публикуется по решению кафедры теоретической физики Физико-технического института УУНиТ.

Протокол № 2 от 05.10.2026 г.

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 **Ф. К. Закирьянов** (*отв. редактор*);
канд. физ.-мат. наук, доцент **Л. А. Габдрахманова**;
канд. физ.-мат. наук, доцент **А. Т. Харисов**

Ф94 **Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя Математическая школа-2026»**: материалы XVII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 30 сентября–3 октября 2026 г.) / отв. ред. Ф. К. Закирьянов [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2026. – 188 с. – URL: https://uust.ru/ media/documents/digital-publications/2025/328.pdf – Загл. с титула экрана.
ISBN 978-5-7477-6549-8

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, математических методов в популяционной и медицинской генетике, также проблемы современной методики преподавания.

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

Материалы воспроизводятся с представленных авторами оригиналов.

УДК 51+53
ББК 22.1+22.3

ISBN 978-5-7477-6549-8 © Уфимский университет, 2026

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 53

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ. ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА СОВМЕСТНЫХ МОЛОДЕЖНЫХ НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ ФИЗИКОВ И МАТЕМАТИКОВ

Екомасов Е.Г.[1], Хабибуллин Б.Н.[2], Габдрахманова Л.А.[1], Закирьянов Ф.К.[1]
[1]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия
[2]Институт математики с вычислительным центром УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Как известно, целью работы современной научной молодежной конференции является привлечение талантливой молодежи к работе над перспективными научными исследованиями, налаживание научных контактов молодежи между собой и с ведущими отечественными и зарубежными учеными, повышение мобильности молодых ученых. Исторически так сложилось, что к середине тяжелых для российской науки девяностых годов прошлого века в Уфе не осталось молодежных научных конференций у физиков и математиков. Стала остро ощущаться их потребность для подготовки кадров высшей квалификации. По инициативе декана и замдекана физического факультета БашГУ Харрасова М.Х. и Екомасова Е.Г., при поддержке декана математического факультета БашГУ Султанаева Я.Т. в апреле 1997 года была организована и проведена «Республиканская научная конференция студентов и аспирантов по физике и математике». В ее программе было четыре секции физического и две математического профиля. На следующий год физики в мае попробовали провести специализированную физическую конференцию «Башкирская Республиканская научная конференция студентов и аспирантов по физике «Нелинейные и резонансные явления в конденсированных средах». Однако ее организаторы поняли, что формат совместной конференции физиков с математиками является более интересным и продуктивным, поэтому в мае 1999 года вновь была организована и успешно проведена вторая «Республиканская научная конференция студентов и аспирантов по физике и математике». Отметим, что эти первые конференции, несомненно, послужили еще одним толчком для выбора научного пути их участниками. Например, еще студентом в первой конференции с докладом выступал И.Р. Кызыргулов, ныне доктор наук и проректор УУНиТ. Так же организаторы конференции всегда старались рассказывать на лекциях о творческом пути уфимских ученых, внесших

свой заметный вклад в развитие науки и образования. Так конференция этого года посвящена памяти профессора Р.А. Якшибаева.

К началу 21 века сформировался коллектив единомышленников, который от математиков возглавил Б.Н. Хабибуллин, а от физиков Е.Г. Екомасов. Им удалось далее организовывать и проводить в течение уже четверти века молодежные конференции. Они были разного формата. Так, с 2001 года по 2007 год успешно проводилась ежегодная «Региональная школа-конференция для студентов, аспирантов и молодых ученых по математике и физике». Она в 2001-2004 годах получала финансовую поддержку госпрограммы «Интеграция». Эта конференция становилась все более популярной и востребованной у молодых исследователей. И с 2008 года ее статус был повышен до «Всероссийской школой-конференцией для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании». А с 2009 года она получила уже статус Международной молодежной школы-конференции «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании». Они проводились на базе физического и математического факультетов БашГУ при поддержке профильных институтов УНЦ РАН. Проведение этих молодежных школ-конференций неоднократно было поддержано грантами РФФИ. Поддержка РФФИ позволяла приглашать зарубежных и российских лекторов, оказывать финансовую помощь приезжим молодым участникам. Уникальная по своей идеологии и широте интеграции ученых из разных научных областей, конференция собирала на своих многочисленных секциях до нескольких сотен молодых ученых математиков и физиков. Работа школы-конференции всегда состояла из двух частей: вначале лекции ведущих ученых по актуальным вопросам современной математики и ее приложений в физике; научные и стендовые доклады молодых ученых. Наряду со сборниками тезисами, готовились к печати полнотекстовые труды молодых участников школы-конференции. Лучшие работы были рекомендованы к опубликованию в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК. Так же традиционно по итогам работы конференции издавались монографии и учебники, написанные по мотивам прочитанных лекций.

С начала двадцатых годов начался новый этап развития молодежной конференции. Ее взял под свое крыло Научно-образовательный математический центр ПФО. Она стала спутником ежегодной Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа». Несколько лет назад в ее рамках появилась секция генетиков. В этом 2026 году будет уже XVII Международная школа-конференция для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании». Она

организована в тесном сотрудничестве с Институтом математики с вычислительным центром УФИЦ РАН, Институтом механики УФИЦ РАН. Конференция будет работать в рамках 11 секциях. Информацию о предыдущих и нынешней конференциях можно найти на сайте: https://matem.anrb.ru/bsuconf/2011/.



На открытии конференции. Слева направо: Р.А. Якшибаев, Б.Н. Хабибуллин, Е.Г. Екомасов, З.Ю. Фазуллин, Цветков В.О., 2016 г.



Во время проведения конференции. На переднем плане фото справа налево сидят: Ф.К. Закирьянов., Л.А. Габдрахманова, 2016 г.



После окончания пленарной части конференции.
Слева направо: Р.А. Якшибаев, Е.Г. Екомасов, Б.Н. Хабибуллин, 2005 г.

© Екомасов Е.Г., Хабибуллин Б.Н., Габдрахманова Л.А., Закирьянов Ф.К., 2026

УДК 517.9, 519.633

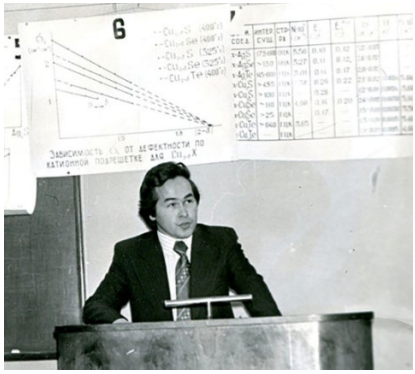
НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА Р.А. ЯКШИБАЕВА

Балапанов М.Х., Латыпова А.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Роберт Якшибаев родился 17 мая 1952 года в деревне Утягулово Зианчуринского района Республики Башкортостан [1]. В 1967 г. он поступил в Башкирский государственный университет на физико-математический факультет, откуда в 1972 г. был направлен для дальнейшей учебы в Уральский государственный университет. После окончания УрГУ в 1974 г., он там же поступил в аспирантуру и в 1977 году завершил ее с представлением диссертации к защите. Трудовую деятельность Роберт Асгатович начал в ноябре 1977 г. старшим инженером кафедры физики твердого тела УрГУ. В 1978 году он успешно защитил диссертацию кандидата физико-математических наук на тему «Исследование явлений переноса ионов и электронов в халькогенидах меди и серебра в процессе реакционной диффузии». Научными руководителями диссертанта были известные представители уральской школы физиков – доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой физики твердого тела УрГУ Виталий Николаевич Конев и ведущий научный сотрудник Уральского научного центра РАН, доктор химических наук, профессор Василий Николаевич Чеботин, автор ряда известных в Советском Союзе и за рубежом монографий по физике и химии твердых электролитов.



Аспирант Р.А. Якшибаев в лаборатории кафедры ФТТ УрГУ. 1976 г.



Р.А. Якшибаев на защите кандидатской диссертации. 1978 г.

В сентябре 1978 года Роберт Асгатович, защитив кандидатскую диссертацию, возвращается в Башкирский государственный университет, где начинает работу ассистентом на кафедре экспериментальной физики.

С первого года работы он закладывает основы своей будущей научной школы, набирая талантливых студентов для выполнения курсовых и дипломных работ с прицелом на дальнейшую учебу в аспирантуре. Он заключает хозяйственный договор на 50 тысяч рублей в год с ОКБ «Молния» по научно-техническому сопровождению производства свечей зажигания и вместе с договором в лаборатории появляются научные сотрудники А.Ф. Надеждина, В.Н. Заболоцкий, Н.Н. Мухамадеева. К ним вскоре присоединяется закончивший аспирантуру в МГУ Р.Ф. Альмухаметов. Успешное начало работы научной группы Р.А. Якшибаева отметила выездная сессия секции твердых электролитов Научного совета АН СССР по физической химии ионных расплавов и твердых электролитов, состоявшаяся в БашГУ в 1979 г., знаковое событие для университета того времени. Ею руководил академик С.В. Карпачев из Института электрохимии УНЦ АН СССР (Свердловск).

Кроме научной деятельности Роберт Асгатович читал лекции по кристаллографии, рентгеноструктурному анализу, физике металлов и сплавов, курс физики на математическом факультете, вел педагогическую практику студентов в школе, руководил производственной и дипломной практикой студентов. Занимался он активно и общественной работой: руководил комсомольской организацией преподавателей факультета, читал лекций в обществе «Знание» и «Школе молодого лектора», выезжал летом в качестве командира студенческого строительного отряда. Был несколько лет секретарем приемной комиссии университета в середине 1980-х годов.

Осенью 1984 г. Якшибаеву Р.А. удается получить целевые направления в аспирантуру УрГУ для своих сотрудников – Балапанова М.Х. в очную аспирантуру, и Мухамадеевой (ныне Биккуловой) Н.Н. в заочную аспирантуру. Научным руководителем аспирантов стал профессор Конев В.Н., но непосредственным руководителем исследований, проводившихся в стенах БашГУ, был, конечно же, Роберт Асгатович. Через год в заочную аспирантуру таким же образом поступил В.Н. Заболоцкий. В 1987 г. Роберт Асгатович был избран доцентом, а весной 1988 г. состоялась первая защита диссертации, выполненной под его руководством.

В сентябре 1988 г. он поступает в докторантуру УрГУ под руководством профессора В.Н. Конева и в этом же году выходит его первая статья за рубежом - в престижном журнале "Solid State Ionics» (соавторы В.Н. Заболоцкий, Р.Ф. Альмухаметов). Статья посвящена структурным особенностям и ионному транспорту в двумерных электронно-ионных проводниках – диселенидах хрома и ниобия, интеркалированных медью и серебром. Эта тема была тогда на передовых рубежах физической химии и электрохимии твердых электролитов.

Обратимое интеркалирование литием слоистых (двумерных) дихалькогенидов переходных металлов привело затем к созданию первых литиевых аккумуляторов. После первой статьи последовали следующие публикации в зарубежной печати: в журнале «Physica Status Solidi (A)», 1988 (Yakshibaev R.A., Mukhamadeeva N.N., Almukhametov R.F.), в журнале «Solid State Ionics», 1989 (Yakshibayev R.A., Almukhametov R.F., Balapanov M.K.), в журнале «Physica Status Solidi (A)», 1989 (Yakshibaev R.A., Zabolotskii V.N., Almukhametov R.F.), в журнале Physica Status Solidi (A), 1989. (Yakshibaev R.A., Balapanov M.Kh., Mukhamadeeva N.N., Akmanova G.R.) и др. Результатом стало международное признание. Роберта Асгатовича приняли в Международное Общество Ионики Твердого Тела и т.д. Тем временем, аспиранты Роберта Асгатовича защищались один за другим: Мухамадеева Н.Н. (1989), Заболоцкий В.Н. (1989), Акманова Г.Р. (1991), Кадргулов Р.Ф. (1993).



Сотрудники научной лаборатории Р.А. Якшибаева (стоят слева направо: Гафуров И.Г., Балапанов М.Х., Якшибаев Р.А., Альмухаметов Р.Ф., Габитов Э.В., Хасанов М.А., сидят: Надеждина А.Ф., Кучербаева В., Акманова Г.Р.). 1997 г.

В 1992 году Якшибаев Р.А. и сам защитил докторскую диссертацию по научной специальности «Физическая химия» на тему «Специфические свойства структуры и ионный перенос в суперионных проводниках со смешанной ионно-электронной проводимостью» в Институте химии твёрдого тела Уральского отделения РАН. В ней он обобщил результаты синтеза и изучения структурных особенностей и физических свойств сложных халькогенидных соединений, в том числе двумерных и квазиодномерных систем, систематически изучил связь физических и диффузионных свойств со степенью нестехиометричности, установил пределы растворимости в квазибинарных сплавах халькогенидов меди и

серебра, доказал связь величины ионной проводимости со степенью разупорядоченности кристаллической решетки, сформулировал критерии сверхвысокой ионной проводимости.

После защиты докторской диссертации в 1992 г. его избирают профессором кафедры общей физики, назначают деканом физического факультета. В 1994 году он получает ученое звание профессора по кафедре общей физики. В аспирантуру к нему приходит следующее поколение учеников: Гафуров И.Г., Габитов Э.В., Кутушева Р.М., которые впоследствии все защитят кандидатские диссертации. На кафедре общей физики возникает научная школа по ионике твердого тела, признанная в Советском Союзе и за рубежом. Научная школа Р.А. Якшибаева дала ростки и в дружественном Казахстане. Одним из плодов совместной работы стал Евразийский патент на новый эффективный суперионный термоэлектрический материал $Li_{0.15}Cu_{1.85}S$. В итоге сотрудничества в Евразийском национальном университетете им Л.Н. Гумилева была создана лаборатория суперионных термоэлектрических и электродных материалов, в которой защитили диссертации докторов философии (PhD) в области физики К. Бекмурзы, М.М. Кубенова, С. М. Сахабаева, Р.А. Алина, Р.К. Шамиева. Их зарубежным научным консультантом был ученик Роберта Асгатовича профессор М.Х. Балапанов.

Организаторские способности молодого декана факультета были замечены руководством, и в середине 1990-х Роберта Асгатовича ввели в состав Правительства РБ, назначив председателем вновь создаваемого Государственного комитета Республики Башкортостан по науке, высшему и среднему профессиональному образованию, организация которого была обусловлена необходимостью сохранения сложившегося в советское время образовательного и научного потенциала и дальнейшего его развития в соответствии с новыми требованиями времени. В 1994—1999 годах под руководством Якшибаева Р.А. Госкомитетом проводилась большая работа по координации деятельности, лицензированию и государственной аккредитации учреждений науки РБ, высшего, среднего профессионального и послевузовского образования; были определены направления развития академической, вузовской и отраслевой науки; выполнялись разработка и исследование проблем образования, создание учебных планов и программ, подготовка учебно-методической литературы, в том числе для национальных школ Республики. В 1999 г. Роберт Асгатович вернулся в БашГУ проректором по научной работе, а с 2000 г. по 2010 гг. он работал одновременно деканом физического факультета и заведующим кафедрой общей физики.

По его инициативе в 2010 г. была осуществлена трансформация физического факультета в физико-технический институт (ФТИ).

Директором ФТИ профессор Якшибаев Р.А. проработал 12 лет. За это время в физико-техническом институте появились новые кафедры, были открыты новые технические специальности, улучшилась материальная база для занятий научными исследованиями как преподавателей, так и студентов, студенты ФТИ показывали отличные результаты в занятиях спортом, художественной самодеятельностью, в предметных олимпиадах и научных конференциях. Всем кафедрам были созданы одинаково благоприятные условия для устойчивого и планомерного развития. После реорганизации БашГУ в Уфимский университет науки и технологий (УУНиТ) в 2022 году Роберт Асгатович продолжил работу научным руководителем института, и по совместительству профессором кафедры общей физики.

Р.А. Якшибаев - автор 9 изобретений и свыше 250 научных трудов. Всего под личным руководством Роберта Асгатовича защитили диссертации в разные годы 11 аспирантов, 3 доктора наук по физике конденсированного состояния (Альмухаметов Р.Ф., Балапанов М.Х., Биккулова Н.Н.). За значительные заслуги в подготовке высококвалифицированных кадров ему были присвоены Почётные звания «Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан» (1999 г.); «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» (2002 г.). В 2019 г. Роберт Асгатович был награжден Почётной грамотой Президента Российской Федерации В.В. Путина.

Роберт Асгатович был не только ученым, профессором, руководителем. Он был жизнерадостным, общительным, очень интеллигентным человеком, верным другом, надежным коллегой, замечательным мужем, отцом и дедушкой. Обладал тонким юмором, владел мастерством рассказчика, был душой компании, умел радоваться своим и чужим успехам. 26 марта 2026 года Роберта Асгатовича не стало, но память о нем навсегда останется в сердцах его благодарных учеников и в истории родного института и университета.

Литература

1. Педагог, ученый, государственный деятель Якшибаев Роберт Асгатович. // Вестник Башкирского университета. 2026. Т. 31. №2. С. 135-142. http://journal.uust.ru/index.php/vestnik_bsu/article/view/4564/3749

© Балапанов М.Х., Латыпова А.Р., 2026

УДК 621.78, 621.787

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ

Дмитриев С.В.[1,2], Сугоняко И.С.[2], Таров Д.В.[2]
[1]Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа
[2]Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Электроимпульсная обработка (ЭИО) представляет собой метод модификации структуры и свойств металлов и сплавов за счёт воздействия импульсов электрического тока высокой плотности. В отличие от традиционных термических и механических способов обработки, ЭИО позволяет локально и дозированно изменять микроструктуру, снимать остаточные напряжения, стимулировать залечивание дефектов и повышать ресурс изделий без существенного изменения их геометрии.

При пропускании через металлический образец коротких импульсов тока с плотностью до 10^3–10^5 А/мм² и длительностью от микросекунд до миллисекунд реализуется сложный комплекс физических эффектов:

Джоулев нагрев. Быстрое выделение тепла в объёме материала приводит к локальному повышению температуры, ускорению диффузионных процессов и активации релаксационных механизмов.

Электромиграция и перераспределение дефектов. Направленное движение электронов создаёт «электронный ветер», который способствует перемещению точечных дефектов, дислокаций и примесей, изменяя локальную плотность дефектной структуры.

Электропластический эффект. Под действием импульсного тока снижается эффективное напряжение течения, облегчается движение дислокаций, повышается пластичность материала даже при сравнительно низких макроскопических температурах.

Импульсные электромагнитные силы. Быстро меняющееся магнитное поле порождает объёмные силы, способствующие перестройке микроструктуры, фрагментации зёрен и изменению текстуры.

Сочетание этих эффектов создаёт уникальные условия для целенаправленной модификации микроструктуры и свойств материала в зоне обработки.

ЭИО позволяет управлять микроструктурой металлов и сплавов на нескольких уровнях:

Измельчение зерна. За счёт импульсного нагрева и последующего быстрого охлаждения, а также под действием электромагнитных сил, происходит дробление крупных зёрен и формирование более мелкодисперсной структуры, что повышает прочность и вязкость.

Растворение и перераспределение вторичных фаз. Локальный нагрев и усиленная диффузия способствуют растворению нежелательных выделений, гомогенизации состава и формированию более равномерной микроструктуры.

Снятие остаточных напряжений. Электропластический эффект и ускоренная релаксация дефектов снижают уровень остаточных напряжений, накопленных в результате предшествующей механической или термической обработки.

В результате ЭИО можно добиться сочетания повышенной прочности, пластичности и усталостной долговечности без дополнительного легирования или сложной термической обработки.

Одним из наиболее перспективных приложений ЭИО является залечивание микротрещин и дефектов в металлических изделиях и конструкциях:

Активация диффузии и смыкание берегов трещины. Импульсный нагрев и электромиграция способствуют сближению берегов трещины, заполнению её объёма материалом за счёт пластического течения и диффузионных процессов.

Снижение концентрации напряжений. Модификация микроструктуры в зоне трещины (измельчение зерна, снятие напряжений) уменьшает локальную концентрацию напряжений и тормозит дальнейшее развитие трещины.

Восстановление ресурса. Обработка позволяет частично восстановить механические характеристики повреждённых элементов, продлить их срок службы и отсрочить необходимость замены, что особенно важно для ответственных конструкций в авиации, энергетике и транспорте.

Таким образом, ЭИО может рассматриваться как технология «самозалечивания» металлов под внешним управляющим воздействием, открывающая новые возможности для повышения надёжности и долговечности инженерных конструкций.

Электроимпульсная обработка обладает значительным потенциалом для широкого внедрения в промышленность:

Локальность и селективность. Возможность обрабатывать только критические зоны (сварные швы, концентраторы напряжений, зоны усталостных повреждений) без воздействия на всё изделие.

Энергоэффективность и экологичность. Короткие импульсы и локальный нагрев снижают общие энергозатраты и минимизируют термические деформации и окисление поверхности по сравнению с традиционной термообработкой.

Совместимость с существующими технологиями. ЭИО может быть интегрирована в технологические цепочки производства и ремонта как

дополнительная операция, не требуя кардинальной перестройки оборудования.

Расширение класса обрабатываемых материалов. Метод применим к сталям, алюминиевым, титановым и другим сплавам, в том числе к труднодеформируемым и жаропрочным материалам.

Развитие математических моделей и экспериментальных методов ЭИО, оптимизация режимов импульсного воздействия и создание специализированного оборудования открывают путь к новому поколению технологий упрочнения, восстановления и продления ресурса металлических изделий и конструкций.

Благодарности: работа поддержана программой ПРИОРИТЕТ 2030 Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Литература

1. Stolyarov, V., Misochenko, A. A. Pulsed current application to the deformation processing of materials. Materials 2023, 16, 6270. https://doi.org/10.3390/ma16186270

2. Sheng, Y., Hua, Y., Wang, X., Zhao, X., Chen, L., Zhou, H., Wang, J., Berndt, C.C., Li, W. Application of high-density electropulsing to improve the performance of metallic materials: Mechanisms, microstructure and properties. Materials 2018, 11, 185. https://doi.org/10.3390/ma11020185

3. Dash, A., Liu, Y., Yoshida, H., et al. Electroplasticity of metals and ceramics: Current status. Annual Review of Materials Research, 2025, v. 55 pp. 151-174. https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-081720-111526

© Дмитриев С.В., Сугоняко И.С., Таров Д.В., 2026 г.

УДК 537+53.01+53.03

МОЛНИЯ КАК АСИММЕТРИЧНАЯ ФРАКТАЛЬНАЯ СЕТЬ

Иудин Д.И.[1,2]

[1]Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН,
г. Нижний Новгород, Россия

[2]Приволжский исследовательский медицинский университет,
г. Нижний Новгород, Россия

Молния как нелинейная геофизическая система является ярким примером саморазвивающейся фрактальной сети с макромасштабными проявлениями асимметрии полярности. Несмотря на то, что физические механизмы развития молнии представляют огромный интерес с точки зрения фундаментальной науки, основной целью их исследования остается развитие методов молниезащиты [1]. Молниевые разряды

нередко приводят к травмам и гибели людей, пожарам, аварийным отключениям электричества, а иногда и к крупным техногенным катастрофам. Экономический ущерб молниевых разрядов продолжает расти из-за широкого распространения слаботочной микроэлектроники и в связи с тенденцией к цифровизации человеческой деятельности. Несмотря на большое количество нормативных документов, методик и правил по расчету средств молниезащиты и заземления, проблема снижения риска возникновения несчастных случаев и аварийных ситуаций из-за воздействия молнии на технологическое и инженерное оборудование производственных объектов, линий электропередач и инфраструктурных коммуникаций остается актуальной не только для энергетики, но и для навигации, железнодорожного транспорта, связи, военной и многих других сфер. Прогнозируется, что к концу 21-го века количество молний возрастет приблизительно на 50% из-за глобального потепления и аэрозольного загрязнения атмосферы, что еще больше увеличивает потенциальный экономический ущерб от молниевых разрядов. При этом, несмотря на значительный прогресс в изучении молнии, современные методы молниезащиты далеки от совершенства, а их развитие по-прежнему ограничено недостаточным пониманием физики молнии.

Условия размножения электронов, подвижность которых более чем на два порядка превосходит подвижность ионов [1,2], на противоположных полюсах поляризованного проводника существенно отличаются, обусловливая приблизительно двукратное различие пороговых полей необходимых для поддержки распространения положительных и отрицательных стримеров в атмосферном воздухе [1,3]. Указанная «микроскопическа» причина приводят к целому ряду макромасштабных нарушений симметрии молниевого разряда относительно смены знака заряда и направления тока. Например, положительные лидеры не поддаются прямому экспериментальному обнаружению с помощью высокочастотного картирования, тогда как отрицательные характеризуются ступенчатым распространением, которое сопровождается интенсивным электромагнитным излучением [2,3].

В цикле работ [4-9] была описана физическая концепция, объясняющая механизм макромасштабной асимметрии полярности молнии. В ее основе лежит неравенство суммарных периферийных токов ветвей полярных частей молнии, обусловленное двукратным отличием пороговых полей поддержания роста положительных и отрицательных стримеров, в коронах лидерных головок [1]. С точки зрения разности потенциалов между тонким лидерным шнуром и окружающем его чехлом заряда, молния может существовать в двух чередующихся модах, которые соответствуют положительному или отрицательному знаку данной

разности потенциалов вдоль большей части канала молнии. Когда суммарный ток периферийных ветвей положительной части молнии преобладает над током отрицательной, проводящее древо молнии накапливает избыточный отрицательный заряд, и разность потенциалов между лидерным шнуром и окружающем его чехлом становится отрицательной. И наоборот, доминирование по току отрицательной части молнии насыщает ее проводящий каркас избыточным положительным зарядом, и разность потенциалов между большей частью канала молнии и окружающим его чехлом становится положительной. Переход между «положительными» и «отрицательными» режимами развития молнии осуществляется посредством быстрой волны переключения потенциала, недавно описанной в [8].

Перезарядка чехла лидерного канала сопровождается изменением как среднего потенциала молнии, так и потенциалов всех точек ветвления её лидерной сети. Это обусловливает новый эффективный механизм подавления латеральных ветвей разряда с возможностью их последующей «реинкарнации» при изменении знака разности потенциалов между тонким лидерным шнуром и окружающем его чехлом [7-9]. В работах [4-9] было показано, что смена знака разности потенциалов между тонким шнуром лидера молнии и окружающим его пространством запускает процессы перезарядки чехла, которые могут быть реализованы посредством радиальной короны и/или переходных процессов.

Если прямое движение точки реверса молнии в сторону развития положительного лидера способствует отключению боковых ветвей положительного лидера из-за падения питающей разности потенциалов, то обратное движение точки реверса в сторону развития отрицательного лидера приводит к реактивация затухших боковых ветвей в форме лидеров отдачи [4,9]. Этот же самый механизм приводит и к обесточиванию канала главной стадии молнии. Обратное движение точки реверса приводит к повышению средневзвешенного потенциала молниевой сети в фазе обратного удара отрицательных вспышек облако—земля.

Таким образом, именно конкуренция как фундаментальное следствие асимметрии определяет характерную морфологию молниевого разряда. Положительный канал молнии при развитии на больших масштабах теряет боковые ветви и практически не ветвится, однако его фронт имеет очень развитую разветвлённую структуру подобную дельте реки с непрерывным мелкомасштабным ветвлением отдельных рукавов из-за доминирования поля объемного заряда.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИПФ РАН (FFUF-2025-0005).

Литература

1. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001, 320 с.
2. Williams E.R., Problems in Lightning Physics: The Role of Polarity Asymmetry. Plasma Sources Science and Technology, 15, S91-S108, 2006.
3. Rakov V.A. and Uman M.A. Lightning: Physics and effects, NY: Cambridge University Press, 2003. 687 p.
4. Iudin D.I. Lightning as an asymmetric branching network // Atmos. Res., vol. 256, p. 105560, 2021, DOI:10.1016/j.atmosres.2021.105560.
5. Иудин Д.И., Коровкин Н.В., Сысоев А.А., Хаякава М. Разряд молнии как самоорганизующаяся транспортная сеть. Ч. 1. Концепция асимметричного разрядного древа // Электричество, № 6, с. 77–88, 2023, DOI:10.24160/0013-5380-2023-6-77-88.
6. Iudin D.I., et al. Numerical simulation of reversal point dynamics in intracloud lightning: Back-and-forth promoting effect // Atmos. Res., vol. 310, pp. 107647, 2024, DOI:10.1016/j.atmosres.2024.107647.
7. Iudin D.I. Switching autowaves in the lightning channel // Plasma Phys. Rep., vol. 51, no. 2, pp. 207–218, 2025, DOI:10.1134/S1063780X2560224X.
8. Иудин Д.И. Асимметрия полярности молнии // Известия вузов. Радиофизика, Т. 69, № 3, с. 182–195, 2026, DOI:10.52452/00213462_2026_69_03_182.
9. Iudin D.I., Aleksandrov N.L., Syssoev A.A., Ponomarev A.A. Numerical simulation of lightning channel reactivation in recoil leader process // Atmospheric Research, vol. 323, p. 108187, 2025, DOI:10.1016/j.atmosres.2025.108187.

© Иудин Д.И., 2026

УДК 537.622

ОТ УРАВНЕНИЯ ЛАНДАУ–ЛИФШИЦА–ГИЛЬБЕРТА К МАГНОННЫМ ЛОГИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТАМ: НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ЦЕПОЧЕК МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Кузьмин Д.А.[1], Бычков И.В.[1], Екомасов Е.Г.[2], Шарафуллин И.Ф.[2]
[1]Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия
[2]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В работе рассматривается нелинейная динамика намагниченности в одномерных цепочках дипольно-связанных магнитных наночастиц. Показано, как фундаментальные нелинейные эффекты в дискретных магнитных системах приводят к возможности создания программируемых магнонных логических элементов. Изложение

строится от простых моделей к современным результатам: вводятся уравнение Ландау–Лифшица–Гильберта, понятия эффективного поля, дипольного взаимодействия и размагничивающих факторов; обсуждаются условия возникновения локализованных нелинейных возбуждений — дискретных бризеров (ДБ), их спектральное положение вне линейного спектра спиновых волн и устойчивость. Анализируется влияние геометрии частиц [1] и диссипации Гилберта [2] на время жизни ДБ, дрейф частоты и излучение спин-волновых пакетов. Показана роль относительной фазы соседних локализованных возбуждений как независимого управляющего параметра: показано, что конструктивная и деструктивная интерференция дипольных полей позволяет управлять локализацией энергии. На этой основе демонстрируется фазово-программируемый магнонный XNOR-вентиль, где логические состояния соответствуют пороговым значениям амплитуды прецессии. Обсуждаются перспективы масштабирования, устойчивость к шуму и дефектам, а также открытые задачи для дальнейшего исследования.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (№ 075-00188-26-00).

Литература

1. Kuzmin D.A., Bychkov I.V., Ekomasov E.G. Influence of geometrical parameters of magnetic nanoparticles in a linear chain on the conditions for generation, structure, and properties of discrete breathers // J. Magn. Magn. Mater., 2025, v. 629, p. 173250.

2. Kuzmin D.A., Bychkov I.V., Ekomasov E.G., Sharafullin I.F. Dissipation-driven decay of discrete breathers and spin-wave emission in magnetic nanoparticle chains // J. Magn. Magn. Mater., 2026, v. 638, p. 173716.

© Кузьмин Д.А., Бычков И.В., Екомасов Е.Г., Шарафуллин И.Ф., 2026

СЕКЦИЯ «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОПЕРАТОРОВ»

УДК 517.938

ДИНАМИКА СИСТЕМЫ ГАРНЬЕ ДВУХ СВЯЗАННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Юсупов Р., Белова А.С.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Система Гарнье двух связанных нелинейных осцилляторов является моделью гамильтоновой динамики, позволяющей исследовать внутренние резонансы и обмен энергией между модами [1]. В работе рассматриваются два осциллятора с собственной частотой ω_0, кубической нелинейностью и малым параметром связи ε. Уравнения движения имеют вид $\dot{x}_1 = x_2$, $\dot{x}_2 = -\omega_0^2 x_1 - \mu x_1^3 + \varepsilon(x_3 - x_1)$, $\dot{x}_3 = x_4$, $\dot{x}_4 = -\omega_0^2 x_3 - \mu x_3^3 + \varepsilon(x_1 - x_3)$. Единственным положением равновесия в рассматриваемой области параметров является начало координат. Линеаризация приводит к уравнению $(\lambda^2+\omega_0^2)(\lambda^2+\omega_0^2+2\varepsilon)=0$, откуда $\lambda_{1,2} = \pm i\omega_0$, $\lambda_{3,4} = \pm i\sqrt{\omega_0^2+2\varepsilon}$. При $\varepsilon>0$ частоты различны и положение равновесия в линейном приближении имеет тип центра. При $\varepsilon=0$ пары собственных значений совпадают и возникает внутренний резонанс *1:1*; малое положительное ε снимает это вырождение. Поскольку система консервативна и действительные части собственных значений не пересекают нуль, классическая бифуркация Андронова–Хопфа не реализуется [2]. Численное интегрирование методом Рунге–Кутты RK45 подтверждает квазипериодический режим и медленный обмен энергией между осцилляторами. Фазовые портреты представляют собой замкнутые утолщённые кривые, а гамильтониан сохраняется с малой относительной погрешностью. Полученные результаты показывают, что малый параметр связи изменяет спектральную структуру системы, снимая резонансное вырождение без возникновения диссипативной бифуркации.

Литература

1. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. М.: Наука, 1989. 472 с.

2. Юмагулов М.Г. Методы изучения бифуркаций при исследовании нелинейных динамических систем: учебное пособие. Уфа: БашГУ, 2018. 196 с.

© Юсупов Р., Белова А.С., 2026

УДК 517.938

ДИНАМИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА С МЕДЛЕННО ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ДЛИНОЙ

Матвеева Ю.А., Белова А.С.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Динамические системы с медленно меняющимися параметрами характеризуются наличием двух временных масштабов: быстрого, связанного с собственными колебаниями системы, и медленного, определяемого скоростью изменения внешнего параметра. Для их исследования применяются методы теории возмущений и аппарат адиабатических инвариантов; в периодическом случае устойчивость удобно характеризовать с помощью матрицы монодромии и ее мультипликаторов [1]. В работе рассматривается математический маятник с длиной, изменяющейся по закону $l(t)=l_0+\varepsilon t$, где $\varepsilon \ll 1$ — малый параметр. Уравнение движения записывается в виде $\theta''+2\varepsilon/l(t)\cdot\theta'+g/l(t)\cdot\sin\theta=0$. При $\varepsilon=0$ система автономна: нижнее положение равновесия является устойчивым и соответствует центру, а верхнее положение неустойчиво и имеет тип седла. При $\varepsilon>0$ система становится неавтономной, поэтому анализ ее поведения проводится с учетом медленного изменения коэффициентов. Для малых колебаний собственная частота равна $\omega(t)=\sqrt{(g/l(t))}$, а величина $I=E/\omega$ рассматривается как адиабатический инвариант [2]. Численное моделирование в Python и Maple для $g=9{,}81$, $l_0=1$ и $\varepsilon=0{,}01$ показывает уменьшение амплитуды колебаний и полной энергии при постепенном удлинении подвеса, в то время как значение I изменяется существенно медленнее. На фазовой плоскости наблюдается сжатие траекторий к окрестности нижнего положения равновесия. Полученные результаты демонстрируют, что даже малое медленное изменение параметра способно качественно менять эволюцию динамической системы, а использование адиабатического инварианта позволяет описывать эту эволюцию без нахождения точного решения неавтономного уравнения.

Литература

1. Yumagulov M.G., Ibragimova L.S., Belova A.S. Methods for studying the stability of linear periodic systems depending on a small parameter // Journal of Mathematical Sciences. 2021. Vol. 258, No. 1. P. 115–127.

2. Мозер Ю. Лекции о гамильтоновых системах. М.: Мир, 1973. 167 с.

© Матвеева Ю.А., Белова А.С., 2026

УДК 517.9

МАТРИЧНЫЙ АНАЛОГ УРАВНЕНИЯ ПЕНЛЕВЕ I

Черданцев И.Ю. Шандала А.М.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Исследование уравнений комплексной переменной Пенлеве I-IV актуально, ввиду их приложений в математической физике. В данной работе исследуется наиболее общий вид матричного аналога уравнения Пенлеве I. Формальное решение рассматривается в виде матричного ряда Лорана. Показано, что матрица при младшей степени разложения является идемпотентной (проектором). Начиная с первого члена правильной части ряда, возникают резонансные условия на коэффициенты матричных многочленов (произвольные блоки матриц). При переходе к подвижному полюсу при помощи тейлоровских разложений матричных коэффициентов, определено, что полученные для неподвижного полюса резонансные соотношения сохраняются и для произвольного положения полюса. Заменой переменных исходное уравнение приводится к каноническому виду, в котором присутствует матрица $\hat{c}$, зависящая от коэффициентов исходных многочленов. Найдены параметры преобразования α, γ. В итоге уравнение сводится к более простому виду.

Литература

1. Balandin S. P.,and Sokolov V. V., On the Painlevé test for non–Abelian equations // Phys.
2. Баландин С.П., Черданцев И.Ю. Матричные аналоги первого уравнения Пенлеве // Уфимский математический журнал. Том 3. № 4 (2011). С. 21-27.
3. В. Э. Адлер, В. В. Соколов, “О матричных уравнениях Пенлеве PII”, ТМФ, 207:2 (2021).
4. A. Bobrova, V. Sokolov, “Classification of Hamiltonian non-abelian Painlevé type systems”, Journal of Nonlinear Mathematical Physics, 30:2 (2023).
5. A. Bobrova, V. V. Sokolov, “On classification of non-abelian Painlevé type systems”, Journal of Geometry and Physics, 191 (2023)

© Черданцев И.Ю., Шандала А.М., 2026

УДК 517.9

УРАВНЕНИЯ ЛУРЬЕ В ТЕОРИИ ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ

Ямалетдинов И.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Рассматривается связь уравнений Лурье четного порядка [1] с линейными автономными гамильтоновыми системами [2]. Основное внимание уделяется линейной однородной части уравнения. Четная структура характеристического многочлена линейной части приводит к симметрии его корней относительно начала координат. Аналогичной симметрией обладают собственные значения гамильтоновых матриц. Это позволяет связать линейные уравнения Лурье с линейными автономными гамильтоновыми системами.

Стандартное сведение дифференциального уравнения высокого порядка к системе первого порядка с помощью последовательных производных неизвестной функции в общем случае не приводит к гамильтоновой системе. Поэтому рассматривается другой способ построения эквивалентного представления. По корням характеристического уравнения выбирается соответствующая нормальная форма гамильтоновой матрицы. После этого задается скалярный выход системы, связывающий многомерное состояние гамильтоновой системы с исходной функцией $y(t)$. Дополнительно проверяется наблюдаемость построенной системы, означающая, что состояние гамильтоновой системы должно однозначно восстанавливаться по выходу и его производным. При выполнении этого условия между решениями исходного линейного уравнения Лурье и решениями построенной гамильтоновой системы устанавливается взаимно однозначное соответствие.

Построение эквивалентного гамильтонова представления позволяет применять к линейным уравнениям Лурье методы теории гамильтоновых систем.

Литература

1. Леонов Г. А. Теория управления - СПб: Санкт-Петербургский гос. ун-т, 2006. - 232 с.

2. Юмагулов М. Г. Ибрагимова Л. С., Белова А. С. Линейные гамильтоновые системы: введение в теорию и приложения. - Уфа: Башкирский гос. ун-т, 2020. - 106 с.

© Ямалетдинов И.Р., 2026

УДК 517.984 + 517.928

О БАЗИСНОСТИ ПО АБЕЛЮ СИСТЕМЫ КОРНЕВЫХ ВЕКТОРОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА НА КРИВОЙ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Ахметшина А.Д.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Пусть γ – кривая с параметризацией

$$z = z(x) = x + ih(x), x \in [0,1], \quad (1)$$

где функция h удовлетворяет условиям:

$$\inf_{x_1 \neq x_2} \frac{h(x_2)-h(x_1)}{x_2 - x_1} = M_1 > -\infty, \sup_{x_1 \neq x_2} \frac{h(x_2)-h(x_1)}{x_2 - x_1} = M_2 < \infty, \quad (H1)$$

$$\lim_{x \to a} \inf \frac{h(x)}{x-a} > M_1, \quad \lim_{x \to a} \sup \frac{h(x)}{x-a} < M_2, \quad a = 0,1, \quad (H2)$$

$$h(0) = h(1) = 0. \quad (H3)$$

Положим $\alpha_j = \operatorname{arctg} M_j$ $(j = 1,2)$.

Пусть $q \in L^1(\gamma)$. Рассмотрим оператор L, действующий в пространстве $L^2(\gamma)$ по правилу $Ly = l(y) := -y'' + qy$, $D(L) = \{y \in L^2(\gamma): y, y' \in AC(\gamma), l(y) \in L^2(\gamma)\}$, и его сужение L_U, определяемое условиями

$$U_j(y) := y^{(j-1)}(0) + (l(y), u_j) = 0, \qquad u_j \in L^2(\gamma), \ j = 1,2.$$

Теорема. Пусть $\alpha_1 < 0 < \alpha_2$ и условия $V_j(y) = 0$ $(j = \overline{1,n})$ нормированы и регулярны по Биркгофу. Тогда

1) Спектр оператора L_U состоит из счетного числа собственных значений, каждое из которых имеет конечную алгебраическую кратность.

2) Вне сектора $-2\alpha_2 < \arg \mu < -2\alpha_1$ может лежать только конечное число собственных значений L_U.

3) Если дополнительно к условиям (H1)-(H3) функция h' из (1) абсолютно непрерывна на $[0, 1]$, $h'' \in L^\infty(0, 1)$ и $\alpha_2 - \alpha_1 < \pi/2$, то СКВ оператора L_U образует в $L^2(\gamma)$ базис для суммирования методом Абеля-Лидского порядка δ из интервала $\left(\frac{1}{2}, \frac{\pi}{2(\alpha_2 - \alpha_1)}\right)$.

© Ахметшина А.Д., 2026

УДК 517.9, 519.63

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИЗООТИИ БЕШЕНСТВА ДИКИХ ЛИСИЦ НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ФИШЕРА-КОЛМОГОРОВА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Мавлютова Р.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Классические модели популяционной динамики часто не учитывают пространственную неоднородность среды и задержку во времени, которую вызывает инкубационный период болезни. В нашей работе рассматривается моделирование распространения эпизоотии бешенства диких лисиц на территории Республики Башкортостан [1].

Основой математической модели процесса является обобщенное двумерное уравнение реакции-диффузии Фишера-Колмогорова с запаздывающим аргументом [2]. В этой модели коэффициенты диффузии учитывают неоднородность проницаемости среды Республики Башкортостан в виде матрицы на основе карты физико-географических районов данной местности, а запаздывание отражает инкубационный период болезни.

Анализ результатов численного эксперимента показал, что запаздывание приводит к возникновению деформаций бегущей волны. Это формирует циклический характер распространения, характерный для реальных вспышек бешенства животных в природе. Было замечено, что форма волны сильно меняется при изменении ландшафта. Фронт бегущей волны замедляется перед участками с низким коэффициентом диффузии. Данные результаты можно объяснить тем, что волна фронта распространения следует пути меньшего сопротивления, избегая горных преград.

Разработанная модель может применяться экологическими службами для прогнозирования путей эпизоотий и планирования вакцинации с учетом неоднородного ландшафта.

Литература

1. Алешин С. В. Распространение волн в уравнении Колмогорова–Петровского–Пискунова–Фишера с запаздыванием / С. В. Алешин, Д. С. Глызин, С. А. Кащенко // Моделирование и анализ информационных систем. – 2015. – Т. 22, № 2. – С. 304-321.

2. Братусь А. С. Динамические системы и модели биологии: учебник / А. С. Братусь, А. С. Новожилов, А. П. Платонов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 400 с.

© Мавлютова Р.Р., 2026

УДК 517.9, 519.633

ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОЖЕСТВА МАНДЕЛЬБРОТА

Ветлина А.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Множество Мандельброта (см., например, [1,2]) занимает уникальное место в современной математике, находясь на пересечении нескольких фундаментальных дисциплин: комплексного анализа, теории динамических систем, фрактальной геометрии и вычислительной математики. Это множество можно задать с помощью итераций простого квадратичного полинома $P_c(z) = z^2 + c$, где c — комплексный параметр. Но указанные итерации порождают объект бесконечной сложности. При этом множество Мандельброта может служить параметрическим пространством для семейства квадратичных отображений, классифицируя динамическое поведение всех таких отображений.

В работе систематически изложены основные свойства множества Мандельброта с опорой на фундаментальные понятия теории динамических систем и комплексной динамики (см., например, [3]). Дано строгое определение множества Мандельброта для семейства квадратичных полиномов $P_c(z) = z^2 + c$ и проанализированы его основные свойства. Найдены точки равновесия системы $z_{n+1} = z_n^2 + \mu$ и исследован их характер устойчивости. Определены ключевые точки бифуркации системы. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего изучения границы множества Мандельброта, его связи с множествами Жюлиа, а также для визуализации фрактальных структур.

Литература

1. Кроновер, Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории.– М.: Постмаркет, 2000.– 352 с.
2. Мандельброт Б. Б. Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и другие чудеса. — М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. — 392 с.
3. Юмагулов М.Г. Введение в нелинейную динамику: теория, приложения, модели. СПб.: Издательство «Лань», 2024. — 364 с.

© Ветлина А.А., 2026

УДК 517.9, 519.633

ТОЧКИ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМАХ «РЕАКЦИЯ – ДИФФУЗИЯ»

Ахмадиева Р.Д.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Математическое моделирование является важнейшим инструментом для изучения эволюционных процессов в физике, химии и биологии. Классические точечные модели (например, модели Мальтуса, Ферхюльста, Лотки-Вольтерры) описывают поведение системы исключительно во времени, опираясь на гипотезу об идеальном перемешивании. Однако в реальных условиях объекты распределены в пространстве неравномерно. Учет пространственного распределения и миграции приводит к классу моделей «реакция-диффузия», описываемых системами дифференциальных уравнений в частных производных (см., например, [1, 2]). Исследование точек равновесия в таких системах представляет фундаментальный интерес [3], так как позволяет описать возникновение в изначально однородной среде стационарных пространственных структур (структур Тьюринга).

В данной работе проводится аналитическое исследование условий возникновения пространственно-неоднородных стационарных состояний на примере линейной скалярной математической модели «реакция-диффузия». Рассматривается эволюция плотности популяции $w(t,x)$ в ограниченной области пространства с заданными краевыми условиями Неймана, физически означающими полную изоляцию системы от внешней среды (нулевой поток вещества через границу).

Динамика системы описывается [4, 5] дифференциальным уравнением параболического типа $\frac{\partial w}{\partial t} = f(w) + D\Delta w$, где $w \in R^N$, $f(w)$ — гладкая N-мерная вектор-функция, D — квадратная матрица диффузии с неотрицательными элементами (как правило, диагональная), а Δ— оператор Лапласа.

Для поиска стационарных состояний (при $\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{t}} = 0$) в одномерном пространстве решалась краевая задача Штурма-Лиувилля, а для двумерной прямоугольной области применялся метод разделения переменных (метод Фурье). Дополнительно, для обоснования полученных результатов, использовался теоретический матричный аппарат исследования устойчивости [5] с применением спектрального анализа и построением параметрического семейства матриц $B_k = A - (k_1^2 + k_2^2 + \cdots + k_m^2)D$, зависящих от мультииндекса k.

В результате проведенного исследования было математически доказано, что в одномерном случае нетривиальные (пространственно-неоднородные) точки равновесия существуют тогда и только тогда, когда

параметры системы связаны строгим соотношением: $a = d_0 k^2$, где k — натуральное число. В этом случае система имеет бесконечно много стационарных состояний, описываемых функциями вида $w_k^*(x) = C\,cos(kx)$.

Для двумерного случая получено обобщенное критическое условие на параметры системы: $a = d_0(k_1^2 + k_2^2)$. Показано, что стационарные состояния в двумерном случае описываются двумерными пространственными решетками вида $w_{k_1,k_2}(x_1, x_2) = C\,cos(k_1 x_1)\,cos(k_2 x_2)$.

Таким образом, установлено, что возникновение пространственно-неоднородных решений происходит исключительно при потере устойчивости нулевого (однородного) решения, что математически соответствует равенству вещественных частей собственных значений спектральной матрицы нулю. Полученные результаты наглядно демонстрируют феномен диффузионной неустойчивости, при котором диффузия не сглаживает возмущения, а выступает дестабилизирующим фактором, приводящим к образованию пространственных паттернов.

Литература

1. Братусь, А С. Динамические системы и модели биологии / А.С. Братусь, А.С. Новожилов, А.П. Платонов. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 400 с.

2. Ризниченко, Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии / Г.Ю. Ризниченко. — М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. — 232 с.

3. Юмагулов, М.Г. Введение в нелинейную динамику: теория, приложения, модели / М.Г. Юмагулов. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 362 с.

4. Юмагулов, М.Г. Дифференциальные уравнения и их приложения в моделировании эволюционных процессов: учебное пособие / М.Г. Юмагулов, Л.С. Ибрагимова, Н.А. Васенина. – Уфа: УУНиТ, 2025. – 104 с.

5. Юмагулов, М.Г. Устойчивость и бифуркации в системе «реакция-диффузия» и их приложения / М.Г. Юмагулов, Н.А. Васенина, Р.И. Габдрахманов. // Дифференциальные уравнения. Т. 61, № 4. 2025. С. 545-562.

© Ахмадиева Р.Д., 2026

СЕКЦИЯ «МЕХАНИКА»

УДК 538.9, 537.8

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ-НАГРЕВА ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ С ДОБАВЛЕНИЕМ МАГНИТНЫХ МИКРОЧАСТИЦ

Камалетдинов Н.Х., Зиннатуллин Р.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в насосно-компрессорных трубах — одна из ключевых проблем нефтедобычи, снижающая дебит скважин и увеличивающая энергозатраты [1]. Традиционные методы борьбы (механические, тепловые, химические) энергозатратны и токсичны. Перспективен СВЧ-нагрев, однако чистый парафин — диэлектрик с низкими потерями и слабо поглощает микроволновое излучение.

В работе исследуется интенсификация СВЧ-нагрева парафина путём введения магнитных микрочастиц — железного порошка и оксида железа (Fe_2O_3). Установка: источник СВЧ-излучения 800 Вт (2,45 ГГц), пирометр. Концентрации добавок: 1,34%, 3,26% и 5,64% от массы парафина.

Установлено, что образец без добавок нагревается слабо: скорость 0,64–0,75 °C/c, температура не выше 36 °C. Оксид железа (1,34%) увеличивает скорость до 0,75–2,56 °C/c, но этого недостаточно для плавления (45–65 °C). Наибольший эффект даёт железный порошок: при 5,64% скорость 5,83 °C/c, температура достигает 79 °C — полное расплавление.

Зафиксированы «горячие точки» — локальные перегревы, ускоряющие плавление, но способные повредить трубу. Требуется подбор оптимальной мощности и равномерное распределение частиц.

Результаты подтверждают принципиальную возможность СВЧ-нагрева парафиновых отложений с ферромагнитными добавками. Перспективное решение — «ЭМ крот»: движущийся источник ВЧ-излучения внутри трубопровода.

Литература

1. Шикунов Р.А. Методы борьбы с АСПО. — Самара: СамГТУ, 2021. — С. 1–6.

© Камалетдинов Н.Х., Зиннатуллин Р.Р., 2026

УДК 532.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УДАРНЫХ ВОЛН НА ПЛАТФОРМЕ OPENFOAM С НОВЫМИ ПРОГРАММНЫМИ МОДУЛЯМИ ПО ОБРАБОТКЕ ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ

Шигапов А.М.
Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

В работе [1] проведены численные исследования динамических процессов, вызванных детонацией взрывчатого вещества в слое водной пены, на основе экспериментальных измерений [2]. Для подготовки исходных данных, обработки и анализа численных результатов на базе платформы OpenFOAM [3] был разработан программный комплекс, реализованный в виде скриптов в среде GNU Octave [4] и зарегистрированный в [5]. Важным элементом комплекса стали специализированные модули Initial и Interpretation. Программный модуль Initial позволил автоматизировать формирование конфигурационного файла setFieldsDict, с заданием начальных распределений физических полей давления, температуры, объёмной доли фаз, включая инициируемый начальный импульс, соответствующий геометрии заряда и согласующийся с экспериментальными данными. Модуль Interpretation применялся для автоматической обработки и визуализации массивов расчетных данных: извлечения зависимостей давления от времени в контрольных точках и построения графиков. Визуализация результатов численного моделирования продемонстрировала их достоверность при сравнении с экспериментальными данными [2], подтверждая эффективность предложенных программных модулей при решении пространственных ударно-волновых задач на платформе OpenFOAM.

Работа выполнена при финансовой поддержке средствами госбюджета по госзаданию 124030400064-2 (FMRS-2024-0001).

Литература

1. Bolotnova, R. Kh., Shigapov, A. M. // Lobachevskii Journal of Mathematics, 2026, v. 47, pp. 2036–2045.
2. Ahmed, Kh., Malik, A. Q. // AIP Adv, 2020, v. 10(6), 065130.
3. OpenFOAM Foundation. OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox.
4. GNU Octave. The GNU Project. Free software.
5. Болотнова Р.Х., Шигапов А.М. // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2026682312 от 21.07.2026 г.

© Шигапов А.М., 2026

УДК 537.311.32:622.276.4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ

Харисова И.И., Гареева Д.Ф. Зиннатуллин Р.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Сокращение запасов лёгкой нефти всё больше ориентирует на разработку трудноизвлекаемых и сланцевых углеводородов, что определяет потребность в поиске безреагентных физических методов, позволяющих регулировать поверхностные явления и реологические характеристики нефтяных дисперсных систем на микроуровне. Применение электромагнитных полей (ЭМП) рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений благодаря подтверждённой энергоэффективности и управляемости [1, 2]. При изучении взаимодействия ЭМП с нефтяными дисперсными системами представляет интерес оценка влияния поля на поверхностные характеристики — в первую очередь на краевой угол смачивания флюидами поверхности горной породы и поверхностное натяжение на границе раздела фаз. Для исследования спланирован цикл лабораторных испытаний, в рамках которого на поверхность керна наносится капля флюида (воды или нефти), по микрофотоснимку определяется краевой угол смачивания, затем флюид обрабатывается электромагнитным полем заданной частоты, и краевой угол измеряется повторно.

По результатам исследований установлено, что после обработки воды СВЧ-полем краевой угол смачивания нефтенасыщенного керна снижается с 54,3° до 34,3°, тогда как для водонасыщенного керна значение остаётся практически неизменным — в пределах от 52,6° до 52,1°. После воздействия ВЧ-поля на нефть краевой угол смачивания нефтенасыщенного керна уменьшается с 33,14° до 27,48°, при этом для водонасыщенного керна значение также сохраняется в пределах погрешности — от 16,37° до 15,0°.

Литература

1. Шеблом Дж. и др. Современное представление об эмульсиях воды в сырой нефти // Достижения в области коллоидной химии. 2003. Т. 100–102. С. 399–473.
2. Guo K. и др. Характеристики разделения водонефтяной эмульсии // Energy &Fuels. 2019. Т. 33. № 3. С. 2565–2574.

© Харисова И.И., Гареева Д.Ф., Зиннатуллин Р.Р., 2026

УДК 537.29:541.182

ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕОДНОРОДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАТНОЙ ВОДОМАСЛЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Загирова Л.З., Зиннатуллин Р.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Термические и реагентные методы разрушения обратных эмульсий вода-в-масле энергоёмки либо загрязняют продукт [1]. В однородном поле результирующая сила на нейтральную каплю равна нулю: капли лишь выстраиваются в цепочки и сливаются [2]; направленный перенос даёт только неоднородное поле, в котором на каплю радиуса r действует диэлектрофоретическая сила $F = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon_m r^3 \mathrm{Re}[K(\omega)]\nabla|E|^2$, где ε_m — относительная проницаемость среды, $K(\omega)$ — фактор Клаузиуса–Моссотти [3]. Для воды в масле ($\varepsilon \approx 80$ против $\approx 2{,}5$) $\mathrm{Re}[K(\omega)] > 0$ — капли испытывают положительный диэлектрофорез.

Модельную эмульсию (35 об. % дистиллированной воды, 65 об. % трансмиссионного масла ТМ-5-18, без эмульгатора) готовили перемешиванием при 1500 об/мин 10 мин. Пробу 100 мл обрабатывали в системе электродов «цилиндр–стержень» синусоидальным полем 10 кГц мощностью 70 Вт 5 мин при 22 ± 1 °C (три опыта). Степень отслоения $\eta = V_{отд}/V_в \cdot 100$ % ($V_в = 35$ мл — объём водной фазы) монотонно росла от 0 до 33 % за 4,5 мин, выходя после 2,5 мин на постоянную скорость ≈ 10 %/мин; расслоение не завершилось.

Кинетика отвечает положительному диэлектрофорезу: капли смещаются к стержневому электроду, где учащаются их столкновения, а деформация капель истончает разделяющую плёнку масла и облегчает её прорыв [2]. Нарастание отслоения после снятия поля указывает на укрупнение капель (скорость Стокса $\propto r^2$). Разделение вкладов диэлектрофореза, дипольного сцепления, нагрева и отстаивания — задача опытов с контролем без поля и в однородном поле.

Литература

1. Мухарямова Г. И. Исследование влияния электромагнитной обработки на реологические свойства высоковязких и парафинистых нефтей: дис. … канд. техн. наук. Уфа: УУНиТ, 2024.

2. Eow J. S., Ghadiri M., Sharif A. O., Williams T. J. // Chemical Engineering Journal, 2001, v. 84, pp. 173–192.

3. Pohl H. A. Dielectrophoresis. Cambridge University Press, 1978.

© Загирова Л.З., Зиннатуллин Р.Р., 2026

УДК 5131

РАЗРАБОТКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАНОВЛЕНИЯ РУДОНОСНЫХ ИНТРУЗИЙ И ЭФФФУЗИВНЫХ ПОТОКОВ

Ямлихина И.Н.[1,2], Моисеев К.В.[2]
[1]Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия
[2]Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

На первом этапе проекта разработана термодинамическая модель становления эталонных рудоносных интрузивов Норильского района и эффузивного потока базальтов вулкана Плоский Толбачик. Цель работы– количественный прогноз сульфидных Cu-Ni руд в рамках модели динамической дифференциации [1,2], принципиальное натурное (аналоговое) моделирование становления рудоносных интрузий Норильского района для поиска богатых медно-никелевых руд на новых площадях Сибирской медно-никелевой провинции и Российской Федерации. Термодинамическая модель описывает становление базитовых интрузивов Норильского района в виде моделей типов интрузийследующих типов, вертикальная дайка, большой и малый Оганерский интрузивы, Курейский интрузив, Круглогорский интрузив, Зубовский интрузив, Хараелахский интрузив, Талнахский интрузив.

Данная тематическая работа направлена на теоретическое исследование особенностей течения магмы в субвулканической камере с подводящим и выводящим каналами [1, 2] с целью локального и регионального прогноза сульфидного и платинометалльного оруденения норильского типа.

На втором этапе разработки физико-математической модели термодинамическая модель дополняется блоком по дифференциации тонущих и всплывающих разноплотностных обособлений (фаз). Данный блок будет представлен моделью многофазной дисперсной системы – образованием двух или большего числа фаз, которые практически не смешиваются и не реагируют друг с другом химически. Модель дисперсной многофазной смеси используется для описания динамики жидкостей, содержащих дисперсионную фазу – базальтовую магму и дисперсную фазу – капли ликвированных сульфидов и более тяжелой силикатной жидкости, автолитов и ксенолитов, сростков и кристаллов оливина и пр. Предполагается, что дисперсная фаза движется с равновесной скоростью – это максимальная скорость, достигаемая объектом при движении дисперсионной фазы, которую представляет поток базальтовой магмы. Это происходит из-за сдерживающей силы, оказываемой дисперсионной фазой: сумма силы сопротивления и

плавучести равна силе тяжести, а результирующая сила, действующая на объект, равна нулю, объект имеет нулевое ускорение. Модель многофазной смеси включает уравнения тепломассопереноса из первой части проекта и уравнения сохранения массы для дисперсионной и дисперсных фаз, а также уравнение переноса объемной доли дисперсных фаз [3,4,5].

Произведен расчет математической модели процесса становления рудоносных интрузий и эффузивных потоков на примере малого Оганерского интрузива. Для оценки влияния граничных условий и геометрических аспектов задачи зададим расчетную область размером 1600х60000х1100 м, в которой расположены дайка 4х250 м, субвулканическая камера шириной 1500х1000 м и высотой (мощностью) 1, 10, 50, 100, 200, 500 м на глубине 2 км, выходной канал отсутствует, система закрытая. Слева от дайки и справа от крайней правой границы субвулканической камеры распложены теплопроводные вмещающие породы протяженностью 496 м. Перед субвулканической камерой и сзади камеры располагаются теплопроводные вешающие горные породы протяженностью 500 м. Будем рассматривать динамику теплообмена потока магмы с вешающими горными породами. В сформировавшуюся дайку поступает магма с глубины 60 км с постоянным расходом 10 $м^3/с$ и температурой 1500 °С. Согласно модели плюма С.В. Соболева именно с этой глубины мантийный плюм начинает внедряться в земную кору, способствуя формированию даек, за счет раскрытия существующих трещин и выплавления горных пород (Sobolev, 2011). Процессы, связанные с образованием даек и вплавлением пород, в данной модели не учитываются. Во вмещающих породах задан геотермальный вертикальный перепад температуры от 0 °С на верхней границе расчетной области до 1500 °С на нижней границе в очаге. Течение в дайке и субвулканической камере возможно в случае, если температура в них выше температуры солидуса.

Разработан первый этап термодинамической модели становления рудоносных интрузий и эффузивных потоков. Степень достоверности разработанной модели обеспечивается с одной стороны корректностью математической, а с другой стороны геологической (Радько 1991, 2016) постановки задачи, основанной на применении законов сохранения механики сплошных сред, апробированных методов вычислительной гидродинамики и термодинамики. Обоснованность результатов гарантируется сходимостью и точностью вычислительного метода.

Модель реализована в виде программы ЭВМ, исполняемой в операционной системе WINDOWS *в программе COMSOL MULTIPHYSICS R 5.6. Численное исследование задачи выполнено методом контрольного объема с использованием модифицированного алгоритма SIMPLE*.

Входные данные в программу задаются в файле data.dat, который может быть отредактирован любым текстовым редактором. Выходные данные программы записываются в файлы для графических пакетов научной графики Gnuplot, Tecplot, файлы Excel или могут быть записаны в другой формат.

Разработанная модель позволяет исследовать влияние геометрии дайки, субвулканической камеры, выходного канала, расходных характеристик (давления, расхода), физических и теплофизических свойств магмы и вмещающих пород на процесс становления рудоносных интрузий и эффузивных потоков.

Литература

1. Большое трещинное Толбачинское извержение, (Камчатка 1975 – 1976). Под ред. С.А. Федотова – М.: Наука, 1984, 640 с.

2. Радько В.А. Модель динамической дифференциации интрузивных траппов северо–запада Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1991. № 11. С. 19–27.

3. Радько В.А. Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 226 с.

4. Титов В.В., Федотов С.А. Математическое моделирование подъема вязкой магмы по вертикальной дайке. Препринт ИАЭ–3470/16, М.: ИАЭ, 1981. 24 с.

5. Титов В.В. Кинетика движения остывающей магмы по вертикальной дайке постоянной толщины // 2001. http://anataz.narod.ru/science/dyke/dyke.html.

© Ямлихина И.Н., Моисеев К.В., 2026

СЕКЦИЯ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТАТИСТИКА»

УДК 539.19, 544.435.2

РАСЧЁТ СТРУКТУРЫ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО ИОНА ПЕНТАГЕЛИЦЕНА ДЛЯ ОБЪЯСНЕНИЯ АНОМАЛЬНОГО РОСТА ВРЕМЕНИ АВТООТЩЕПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА

Пшеничнюк Г.С.[1,2], Асфандиаров Н.Л.[1],
Пшеничнюк С.А.[1], Терещенко О.Е.[3]
[1]Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия
[2]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия
[3]Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Методом спектроскопии диссоциативного захвата электрона [1] исследованы молекулы пентагелицена и гексагелицена. Обнаружен необычный эффект: время автоотщепления электрона от отрицательного молекулярного иона (ОМИ) пентагелицена резко возрастает в узком интервале энергий налетающего электрона 0.25–0.5 эВ [2]. Это противоречит очевидной тенденции уменьшения времени жизни при увеличении внутренней энергии ОМИ. Эффект объясняется тем, что при захвате электрона в указанном интервале энергий образуется состояние ОМИ с внутренней энергией, достаточной для преодоления барьера ~1 эВ и перехода в плоскую структуру ОМИ, как показано с помощью расчётов методом B3LYP/6-31+G(d). Для гексагелицена аналогичный переход энергетически невыгоден, поэтому там наблюдается обычная зависимость времени автоотщепления от энергии налетающего электрона. Результаты важны для понимания CISS (Chirality Induced Spin Selectivity)-эффектов в хиральных молекулах [3].

Работа поддержана грантом РНФ №25-62-00004, https://rscf.ru/project/25-62-00004/.

Литература

1. Пшеничнюк, С.А., Асфандиаров, Н.Л., Воробьев, А.С., Матейчик, Ш. // Успехи физических наук, 192(2), 177-204.
2. Pshenichnyuk S.A., Asfandiarov N.L., Pshenichnyuk G.S., Tereshchenko O.E., // J. Chem. Phys. (2026) submitted.
3. Bloom, B.P., Paltiel, Y., Naaman, R., Waldeck, D.H. // Chemical Reviews, 124(4), 1950-1991.

© Пшеничнюк Г.С., Асфандиаров Н.Л., Пшеничнюк С.А., Терещенко О.Е., 2026

УДК 537.311.3

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ КЕРНА

Фазлетдинов С.У.
Институт механики им. Р.Р. Мавлютова, УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия
ООО «РН-Технологии», г. Уфа, Россия

В данной работе предложен и реализован программный модуль для повышения точности определения электрических свойств за счет прямого численного моделирования непосредственно на воксельной геометрии (КТ-изображениях). Основу математической модели составляет 3D уравнение Лапласа для стационарного тока, решаемое методом конечных разностей. Ключевой научной новизной работы является интеграция в расчетную схему двойного электрического слоя (ДЭС) на границе твердой породы и порового пространства с использованием классической и модифицированной моделей Ваксмана-Смитса.

Для обеспечения практической применимости метода и ускорения ресурсоемких вычислений, глобальная система линейных алгебраических уравнений решается методом сопряженных градиентов. В качестве предобуславливателя применен алгебраический многосеточный метод (AMG). Тестирование на цифровом образце размером 400^3 вокселей показало, что применение AMG сокращает время расчета почти в 12 раз (с 80,8 до 6,8 минут) и уменьшает количество итераций более чем в 38 раз по сравнению с отсутствием предобуславливателя.

Верификация разработанного метода на аналитических моделях продемонстрировала совпадение результатов эффективной проводимости с машинной точностью, в то время как поросетевая модель на тех же геометриях показала погрешность 7–8%. Валидация на реальном образце керна (группа Як Лодочного ЛУ) подтвердила высокую точность предложенного подхода: рассчитанный параметр пористости составил 9,63 при лабораторном значении 9,50, что соответствует погрешности менее 3%.

Литература

1. Devarajan, S., Toumelin, E and Torres-Verdin, Pore-scale analysis of the Waxman-Smits shaly sand conductivity model. // SPWLA 47th, Annual Logging Symposium, 2006, June 4-7

2. Waxman, M.H and Smits, L.J.M, Electrical conduction in oil-bearing sands // Society of Petroleum Engineers Journal, 1968, 8, 107-122.

© Фазлетдинов С.У., 2026

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА», ПОСВЯЩЁННАЯ 105-ЛЕТИЮ М.М. ФАРЗТДИНОВА И 80-ЛЕТИЮ М.А. ШАМСУТДИНОВА

УДК 53(092)

ФАРЗТДИНОВУ МИРКАШИРУ МИНИГАЛИЕВИЧУ 105 ЛЕТ

Харисов А.Т., Сабитов Р.М., Вахитов Р.М.,
Екомасов Е.Г., Филиппов М.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

5 сентября 2026 года исполнилось 105 лет Фарзтдинову Миркаширу Минигалиевичу, крупному учёному-теоретику в области магнитных явлений, основателю и руководителю кафедры теоретической физики Физико-технического института БашГУ (ныне является частью УУНиТ). Миркашир Минигалиевич первым из Уфы защитил докторскую диссертацию, впоследствии став заслуженным деятелем науки БАССР. Многолетняя и плодотворная научная деятельность М.М. Фарзтдинова была посвящена развитию теории магнетизма, физики периодической доменной структуры ферро- и антиферромагнетиков, а также квантовой теории спиновых волн в ферромагнетиках, в которой он совместно с профессором Е.А. Туровым получил впервые точное решение для их спектра. Благодаря своей активной деятельности он входил в состав президиума Башкирского филиала АН СССР и являлся членом секции магнитных плёнок Академии наук СССР. Миркаширом Минигалиевичем было опубликовано более 130 научных работ в ведущих советских и зарубежных изданиях, в том числе монографии: «Физика магнитных доменов в антиферромагнетиках и ферритах» [1], «Теория спиновых волн в ферро- и антиферромагнетиках с доменной структурой» [2]. Фарзтдиновым М.М. была основана научная школа в области теории магнетизма, которая функционирует до сих пор. Также стоит отметить вклад Миркашира Минигалиевича в популяризацию науки. Он был активным лектором общества «Знание» по актуальным проблемам общей и теоретической физики и входил в состав президиума правления Башкирской республиканской организации общества «Знание». Миркашир Минигалиевич Фарзтдинов внёс огромный вклад в развитие науки и преподавания в ФТИ, и до сих пор остаётся примером для подражания, как для своих учеников, так и молодых поколений студентов, аспирантов и научных сотрудников.

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

Литература

1. Фарзтдинов, М. М., Физика магнитных доменов в антиферромагнетиках и ферритах. // М.: Наука, 1981.
2. Фарзтдинов, М.М., Теория спиновых волн в ферро- и антиферромагнетиках с доменной структурой. // М.: Наука, 1988.

© Харисов А.Т., Сабитов Р.М., Вахитов Р.М., Екомасов Е.Г., Филиппов М.А., 2026

УДК 53(092)

ШАМСУТДИНОВУ МИНИАХАТУ АСГАТОВИЧУ 80 ЛЕТ

Харисов А.Т., Сабитов Р.М., Вахитов Р.М.,
Екомасов Е.Г., Закирьянов Ф.К., Филиппов М.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

13 августа 2026 года исполнилось 80 лет Шамсутдинову Миниахату Асгатовичу – профессору и заведующему кафедрой теоретической физики Физико-технического института Башкирского государственного университета (ныне является частью Уфимского университета науки и технологий), заслуженному деятелю науки Республики Башкортостан и почётному работнику высшего профессионального образования Российской Федерации. Многолетняя научная деятельность Миниахата Асгатовича была посвящена физике магнитных явлений и нелинейной физике. Шамсутдиновым М.А. была разработана модель неблоховской доменной стенки в кубических ферромагнетиках с наведённой одноосной анизотропией; исследовано влияние внешних воздействий на свойства и устойчивость солитонов; созданы теория фазовых переходов в доменной границе двух- и четырёхподрешёточных ромбических антиферромагнетиков, солитонная теория зародышеобразования и перемагничивания; разработаны авторезонансный метод генерации нелинейных колебаний намагниченности, магнитных бризеров, механизм перестройки доменной структуры ферро- и антиферромагнетиков; выведены уравнения движения намагниченности и условия сшивки решений на границе раздела слоёв. Он является автором около 300 научных работ, а также монографии «Ферро- и антиферромагнитодинамика. Нелинейные колебания, волны и солитоны» [1]. Миниахат Асгатович был признанным специалистом в области магнитных явлений и входил в состав секции «Магнетизм» научного совета РАН по физике конденсированного состояния, его научный вклад был отмечен академической премией имени К.П. Краузе Академии наук Республики Башкортостан (2002) и премией Международной издательской компании «Наука/INTERPERIODICA» за лучшую

публикацию в журналах РАН (2008). М.А. Шамсутдинов подготовил 2 докторов и 10 кандидатов физико-математических наук и был прекрасным преподавателем, прививавшим знания и любовь к теоретической физике не одному поколению студентов.

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

Литература

1. Шамсутдинов, М. А., и др., Ферро-и антиферромагнитодинамика. Нелинейные колебания, волны и солитоны. // М.: Наука, 2009.

© Харисов А.Т., Сабитов Р.М., Вахитов Р.М., Екомасов Е.Г., Закирьянов Ф.К., Филиппов М.А., 2026

УДК 537.6

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРНОСТИ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ НА СВЯЗАННУЮ ДИНАМИКУ В СПИН-ТРАНСФЕРНОМ НАНООСЦИЛЛЯТОРЕ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА

Кудашев В.С.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В работе проведено численное исследование связанной динамики магнитных вихрей в трёхслойном спин-трансферном наноосцилляторе (СТНО) среднего диаметра (250 нм) с параллельной и антипараллельной полярностью вихрей. Рассматривалась структура, состоящая из двух пермаллоевых слоёв толщиной 4 и 15 нм, разделённых медной немагнитной прослойкой толщиной 10 нм. Моделирование выполнено в пакете SpinPM на основе уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта с учётом спин-трансферного момента. Изучена динамика вихревых состояний при различных значениях спин-поляризованного тока и фиксированном внешнем плоскостном магнитном поле 50 Э.

Обнаружены три типа движения, реализующихся в системе: движение с последующим затуханием, стационарные колебания и выход из стационарного режима с образованием доменной структуры. Для параллельной конфигурации определены три критических тока, переход от затухания к стационарным колебаниям, переключение полярности в толстом слое с переходом в антипараллельную конфигурацию и потеря устойчивости с появлением доменов. Для исходной антипараллельной конфигурации также выделены два критических тока, первый соответствует переходу к стационарным колебаниям (при этом его

значение значительно ниже, чем в параллельной системе), второй выходу из стационарного режима и формированию доменной структуры. Переключения полярности в антипараллельной системе не происходит.

Найдены зависимости частоты и радиуса стационарных колебаний в обоих слоях от величины спин-поляризованного тока. Установлено, что с ростом тока частота монотонно возрастает, а радиус орбиты изменяется по-разному в зависимости от конфигурации и слоя. Обнаружено, что альтернативная антипараллельная система, возникающая после переключения полярности из параллельной конфигурации, движется иначе, чем исходная антипараллельная система, в ней вихри вращаются в противоположные стороны, тогда как в исходной АП системе оба вихря движутся по часовой стрелке. При токах превыщающих второй критический ток в толстом слое формируется доменная структура, а стационарные колебания прекращаются.

Литература

1. Екомасов Е.Г., Нерадовский Д.Ф., Антонов Г.И., Филиппова В.В. Моделирование двухвихревых спин-трансферных наноосцилляторов с максимальной рабочей частотой // Физика твердого тела. 2024. Т. 66. № 3. С. 334–341

2. Звездин К.А., Екомасов Е.Г. Спиновые токи и нелинейная динамика вихревых спин-трансферных наноосцилляторов // Физика металлов и металловедение. 2022. Т. 123. № 3. С. 219–239.

© Кудашев В.С., 2026

УДК 5539.3:531.51:530.145

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ УПРУГИХ СРЕД

Шарипов Р.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Идея воспроизведения известных релятивистских эффектов, таких как замедление времени и сокращение длин быстро движущихся объектов, в рамках модели вселенной как 3D-браны (см. [1]) основана на отнесении их к изменению упругих свойств твёрдых тел в зависимости от скорости их движения (см. [2]). Дифференциальные уравнения динамики нелинейных релятивистских упругих сред при таком подходе были выведены в [3] на основе принципа наименьшего действия и докладывались на конференции ФМПЕ-25. Их применение требует задания граничных условий. Общий алгоритм построения граничных условий в лагранжевых полевых теориях был разработан в [4]. В работах [5] и [6] этот алгоритм

применяется к нелинейным релятивистским упругим средам. При этом выделяются два диаметрально противоположных случая – случай идеального контакта и случай идеального проскальзывания. В первом случае на границе раздела двух сред совпадают все компоненты векторов скорости этих сред. Этот случай соответствует неразрывному клеевому соединению. Он рассмотрен в [5]. Во втором случае на границе раздела двух сред совпадают только нормальные компоненты скоростей этих сред. Этот случай рассмотрен в [6]. Он соответствует скольжению без трения. Несмотря на различия, общее число граничных условий всегда равно шести.

Литература

1. Шарипов Р.А., Модель вселенной как 3D-браны, Монография, часть I., Инд. издатель Р.А. Шарипов, Уфа 2024. ISBN 978-5-600-04170-7

2. Sharipov R.A., Relativistic hardening and softening of fast moving springs, 2024, ResearchGate, publ. № 379537924. DOI: 10.13140/RG.2.2.10991.24488

3. Sharipov R.A., Relativistic elasticity in the 3D-brane universe model. Part 1, 2025, ResearchGate, publ. № 388315101. DOI: 10.13140/RG.2.2.28837.61920

4. Sharipov R.A., Boundary conditions in Lagrangian field theories, 2025, ResearchGate, publ. № 393645020. DOI: 10.13140/RG.2.2.14737.34403

5. Sharipov R.A., Relativistic elasticity in the 3D-brane universe model. Part 2, 2026, ResearchGate, publ. № 409335444. DOI: 10.13140/RG.2.2.33441.98400

6. Sharipov R.A., Relativistic elasticity in the 3D-brane universe model. Part 3, 2026, ResearchGate, publ. № 410591837. DOI: 10.13140/RG.2.2.22032.16640

© Шарипов Р.А., 2026

УДК 538.65

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ И ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ФРУСТРИРОВАННЫХ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВЕРХРЕШЕТКАХ

Латыпова А.Р., Латыпов Т.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Изучение термодинамической стабильности магнитных скирмионов в многослойных гетероструктурах важно для проектирования устройств спинтроники. В данной работе методом Монте-Карло на основе алгоритма Метрополиса исследовано температурное поведение

параметров порядка в магнитоэлектрической сверхрешетке из чередующихся ферромагнитных и сегнетоэлектрических слоев с фрустрированными взаимодействиями. Модельный гамильтониан системы включал обменные взаимодействия внутри слоев (J^m, J^f), межслойное взаимодействие ($J_\perp^m, J_\perp^f$), взаимодействие Дзялошинского-Мория на границе раздела (J^{mf} и внешнее магнитное поле - H).

Моделирование температурных зависимостей энергии, намагниченности и поляризации показало, что разрушение кристаллической решетки скирмионов Блоха происходит путем непрерывного фазового перехода второго рода в окрестности критической температуры T ~ 0.35 в относительных единицах.

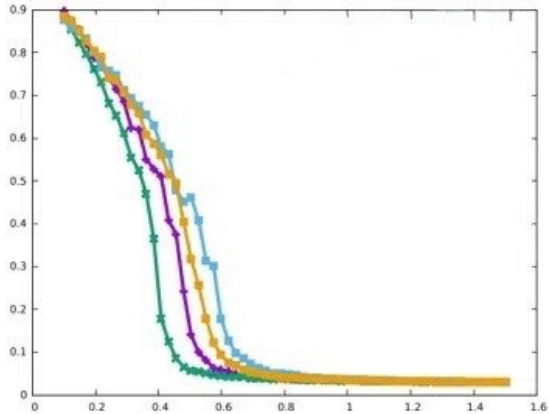


Рис. 1. Зависимость намагниченности магнитных слоев от температуры T при J^{mf} = -2.0, H = 0.25, $J^{2m} = J^{2f} = 0.41$. Цвета кривых соответствуют значениям $J_\perp^m = J_\perp^f$: 0.25 (зеленый), 0.5 (фиолетовый), 0.75 (желтый), 1.0 (синий)

Установлено, что величина межслойного взаимодействия $J_\perp$ играет ключевую роль в термостабильности системы. С ростом $J_\perp$ от 0.25 до 1.0 наблюдается смещение критической температуры перехода в высокотемпературную область и снижение энергии основного состояния. Сильная межслойная связь удерживает спиновые конфигурации от разупорядочения и препятствует тепловому коллапсу скирмионных решеток. Результаты согласуются с экспериментальными закономерностями для мультиферроидных интерфейсов.

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

Литература

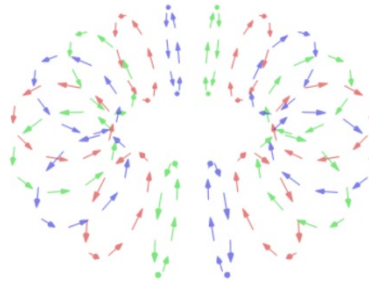
1. Sharafullin, I.F.; Kharrasov, M.K.; Diep, H.T. Dzyaloshinskii-Moriya interaction in magnetoferroelectric superlattices: Spin waves and skyrmions. Phys. Rev. B 2019, 99, 214420.

© Латыпова А.Р., Латыпов Т.Р., 2026

УДК 53.023, 53.05, 53.07

ДВИЖЕНИЕ ВИХРЕВЫХ КОЛЕЦ В ВОЗДУХЕ

Фазуллин А.З., Вахрамеев Г.Р.
Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия

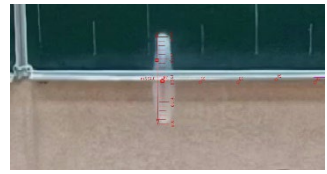


Вихревое кольцо, также называемое *тороидальным вихрем*, представляет собой тороидальный вихрь в газе или жидкости; то есть область, где жидкость в основном вращается вокруг воображаемой осевой линии, которая образует замкнутый контур.

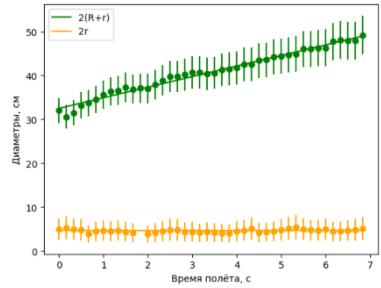
Цель работы: исследовать закон движения тороидальных вихревых колец в воздухе, найти приближенную формулу зависимости скорости поступательного движения кольца от времени и проверить её на эксперименте.

Для генерации тороидальных вихрей нами была собрана *вихревая пушка*, представляющая из себя кусок трубы с внешним d≈30 см и длиной l≈1 м. С одной стороны (откуда выходит вихрь) к трубе прикреплена диафрагма, позволяющая изменять диаметр выходного отверстия; с другой стороны, вдоль оси трубы, расположена металлическая направляющая, к которой прикреплён поршень. Вообще, вихревые пушки могут использоваться для распыления красителей и маркировочных чернил. В США предпринимались попытки создать на основе вихревой пушки не летальное оружие для контроля толпы.

Видео с выходом вихревых колец на нашей установке - по QR-коду выше). Вихрь запускался вдоль доски, на которую наносилась разметка. Измерения скорости полета вихря и большого и малого диаметров проводились в программе Tracker, по раскадровке.



Из анализа данных (см. рис.) видим, что в пределах погрешности малый радиус тора r можно считать постоянным, а зависимость большого от времени хорошо аппроксимируется линейной функцией: $R(t) \approx R_0(1+At)$. В некотором приближении силу трения о воздух, действующую на элемент поверхности вихря, можно считать пропорциональной его скорости, тогда угловая скорость имеет в основном экспоненциальный характер убывания: $\omega(t) \approx \omega_0 \exp(-Ct)$.



Подставив $R(t)$ и $\omega(t)$ в формулу для скорости, полученную Гельмгольцем (см. [1]): $v=(\ln(8R/r)-1/4)\ \omega r^2/(4R)$, окончательно получим:

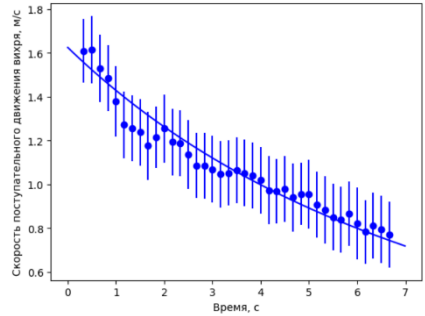
$$v(t) \approx (\ln(8R_0(1+At)/r)-1/4)\ Br \exp(-Ct)\ \omega r^2/(4\ R_0(1+At)),\ \text{где } B=\omega_0 r.$$

Стоит отметить, что в процессе полёта кольцо вытягивается, осциллируя во взаимно перпендикулярных направлениях, амплитуда колебаний составляет примерно 2-3 см, что в сравнимо с погрешностью измерения внешнего диаметра, частота этих колебаний меняется со временем, их учёт выходит за рамки приближения.

QR-код на файл с данными измерений, в котором L и d - длина хода поршня и диаметр выходного отверстия, соответственно.

Построив график $v(t)$, видим, что экспериментальные точки в целом ложатся на кривую. Возникающие отклонения можно объяснить двумя предположениями:

1) осцилляциями радиуса тора (учёт этого затруднён из-за съёмки полёта в одной плоскости и переменной частоты этих колебаний); 2) постепенным нарушением "торообразности" вихря из-за трения о воздух в процессе полёта.



В рамках данной работы нами была изучена зависимость скорости полёта тороидального вихревого кольца от времени. Установлено, что внешний диаметр тора растёт примерно линейно и колеблется с

небольшой амплитудой. Пользуясь этим фактом и формулой Гельмгольца, мы получили приближенную формулу для $v(t)$.

Литература

1. Helmholtz, H. On Integrals of the hydrodynamical equations, which express vortex-motion. // The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 1867, LXIII, v. 33(226), pp. 485–512.

© Фазуллин А.З., Вахрамеев Г.Р., 2026

УДК 538.913, 538.945

ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА Ni_2MnSn ПО ДАННЫМ ПЕРВОПРИНЦИПНЫХ РАСЧЁТОВ

Волкова Е.А., Соколовский В.В.
Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Сплавы Гейслера состава Ni_2MnSn являются модельным объектом среди полных сплавов Гейслера благодаря устойчивой кубической структуре типа $L2_1$ и отсутствию мартенситного перехода. Динамические свойства его решётки изучены недостаточно с точки зрения сходимости результатов по размеру суперячейки. Целью работы являлось первопринципное исследование фононного спектра, термодинамических характеристик и скорости звука сплава Ni_2MnSn. Расчёты выполнены в рамках теории функционала электронной плотности в пакете VASP [1]; фононные спектры получены методом конечных смещений в программе Phonopy [2] для суперячеек 2×2×2, 3×3×3 и 4×4×4. Равновесный параметр решётки $a_0 = 6.06$ Å согласуется с экспериментальным значением 6.048 Å. Зависимость энергии от отношения c/a имеет единственный минимум при $c/a \approx 1.00$, что подтверждает устойчивость кубической фазы. Спектр суперячейки 2×2×2 не содержит мнимых частот; в суперячейке 3×3×3 обнаружена мнимая мода в ветви TA_2, исчезающая при переходе к 4×4×4, что указывает на численную, а не физическую природу этой особенности. Температура Дебая, оценённая тремя методами, лежит в диапазоне 280–330 К и хорошо согласуется с экспериментом (≈297 К [3]). Средняя скорость звука, определённая из фононного спектра (2515 м/с) и из упругих констант (2393 м/с), совпадает с данными базы AFLOW (2393 м/с) [4] с точностью около 5%. Результаты подтверждают динамическую устойчивость кубической фазы Ni_2MnSn и хорошую сходимость первопринципных расчётов по размеру суперячейки.

Литература

1. Kresse, G., Furthmüller, J. // Phys. Rev. B, 1996, v. 54, pp. 11169–11186.

2. Togo, A., Tanaka, I. // Scripta Materialia, 2015, v. 108, pp. 1–5.
3. Podgornykh, S.M., Streltsov, S.V., Kazantsev, V.A., Shreder, E.I. // J. Magn. Magn. Mater., 2007, v. 310, No. 2, pp. 2108–2110.
4. AFLOW Crystallographic Library. Entry aflow:8dbf2001b9aa573a (Ni2MnSn). URL: https://aflow.org/material/?id=aflow:8dbf2001b9aa573a

© Волкова Е.А., Соколовский В.В., 2026

УДК 538.91

МАГНОННЫЕ МОДЫ И ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ В ГЕЛИМАГНЕТИКЕ

Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Тонкопленочные гетероструктуры с неколлинеарной спиновой структурой являются фундаментальной базой для создания энергоэффективных устройств спинтроники, магноники и систем резервуарных вычислений. Управление их динамическими и термодинамическими свойствами через интерфейсные взаимодействия и введение контролируемых дефектов остается важной задачей.

В работе теоретически исследована спиновая динамика и термодинамика многослойной гетероструктуры, состоящей из тонкой гелимагнитной плёнки с простой кубической решёткой, помещённой между двумя сегнетоэлектрическими атомарными слоями. Гелимагнитная подсистема описывается моделью Гейзенберга с конкурирующими обменными взаимодействиями ближайших и следующих за ними соседей, формирующими спиральную структуру, а на границах раздела учитывается магнитоэлектрическое взаимодействие между компонентами спинов и поляризацией сегнетоэлектриков. Основное состояние и спектры элементарных возбуждений рассчитаны методом двухвременных температурных функций Грина в приближении Боголюбова–Тябликова, а конфигурация спинов в приповерхностных слоях найдена итерационным численным методом минимизации энергии [1, 2].

Гамильтониан системы представлен в виде:

$$H = -J_1 \sum_{i,j} \vec{S}_i \vec{S}_j - J_2 \sum_{i,i'} \vec{S}_i \vec{S}_{i'} - I \sum_{i,j} \vec{S}_i \vec{S}_j - \vec{h} \sum_i \vec{S}_i - J_f \sum_{i,j} \vec{P}_i \vec{P}_j - J_{mf} \sum_{i,j,l} \left[\vec{S}_i \times \vec{S}_j\right] \cdot \vec{P}_l,$$

где первое слагаемое описывает ферромагнитное взаимодействие между ближайшими соседними спинами $J_1 > 0$, второе слагаемое $J_2 < 0$ – антиферромагнитное взаимодействие между следующими ближайшими соседними спинами, третье слагаемое – одноосная анизотропия I, четвёртое слагаемое – описывает влияние внешнего магнитного поля, направленного вдоль оси z, пятое слагаемое – обменный параметр

сегнетоэлектрического слоя ($J_f = 1$), последнее слагаемое – магнитоэлектрическое взаимодействие между слоями.

Показано, что магнитоэлектрическое взаимодействие нарушает трансляционную симметрию и вызывает искажение спиральной структуры: отклонение углов между соседними спинами от объёмного значения максимально в первом магнитном слое и экспоненциально затухает к центру плёнки. Установлено, что приложение внешнего магнитного поля в сочетании с интерфейсным взаимодействием стимулирует самоорганизацию изолированных вихрей в периодическую скирмионную решётку, причём рост константы магнитоэлектрического взаимодействия приводит к уплотнению скирмионов. В спектре спиновых волн выявлены объёмные и поверхностные моды, локализованные у границ с сегнетоэлектриками; магнитоэлектрическое взаимодействие увеличивает энергетический зазор между ними, смещая поверхностные ветви в область высоких частот, а повышение температуры вызывает общее «размягчение» спектра и сближение ветвей, предшествующее фазовому переходу. При абсолютном нуле квантовые флуктуации уменьшают эффективную длину спина, причём во внутренних слоях это сокращение сильнее, чем на поверхности, однако усиление магнитоэлектрического взаимодействия дополнительно «сжимает» поверхностные спины. Обнаружен эффект температурного пересечения намагниченностей слоёв: при слабой связи поверхностная намагниченность падает быстрее объёмной, тогда как сильная связь подавляет это пересечение. Температура фазового перехода монотонно снижается с ростом фрустрации спиральной структуры, но существенно повышается при увеличении константы магнитоэлектрического взаимодействия за счёт дополнительного закрепления поверхностных спинов. Введение структурных дефектов в сегнетоэлектрические слои, моделируемых плавным подавлением обменного взаимодействия в псевдоспиновом формализме Изинга, локально ослабляет магнитоэлектрическое взаимодействие на интерфейсах, что приводит к снятию вырождения поверхностных магнонных мод, они расщепляются на две ветви с различными энергиями и к снижению температуры фазового перехода вследствие дестабилизации поверхностного магнитного порядка.

Полученные результаты демонстрируют, что интерфейсное магнитоэлектрическое взаимодействие и контролируемые структурные дефекты выступают эффективными инструментами тонкой настройки зонной структуры магнонных кристаллов, плотности скирмионных текстур и температуры магнитного упорядочения.

А.И. Самигуллина выражает признательность за поддержку Министерству науки и высшего образования Российской Федерации (№ 0FRRR-2026-0010).

Литература

1. Samigullina A. I., Nugumanov A. G., Sharafullin I. F. // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2026. V. 698. 131781.

2. Sharafullin I. F., Yuldasheva A. R., Abdrakhmanov D. I., Samigullina A. I. // IEEE Magnetics Letters. 2026. V. 17. 5100105.

© Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф., 2026

УДК 537.9

УСТОЙЧИВОСТЬ РЕШЁТКИ СКИРМИОНОВ В ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПЛЁНКЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Нугуманов Р.Р., Абдрахманов Д.И., Шарафуллин И.Ф.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Методом микромагнитного моделирования исследована устойчивость скирмионной решётки в тонкой ферромагнитной плёнке с взаимодействием Дзялошинского-Мория под действием переменного магнитного поля, направленного в плоскости плёнки. Динамика описывается уравнением Ландау-Лифшица-Гильберта, расчёты выполнены в OOMMF [1]. Построена диаграмма топологического заряда Q в диапазонах $f \in [1, 200]$ ГГц и $H_x \in [1.5, 2.5]$ МА/м (рис. 1).

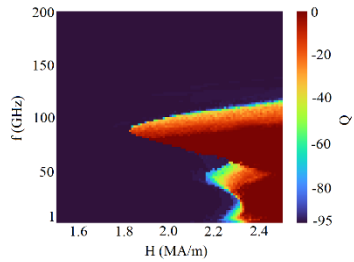


Рис. 1. Зависимость топологического заряда Q от частоты f и амплитуды H_x переменного поля (время воздействия 1 нс)

Показано, что при $f \geq 120$ ГГц система не откликается на поле, что связано с инерционностью спиновой подсистемы. При $f \leq 50$ ГГц разрушение решётки происходит скачком лишь при $H_x \geq 2.2$ МА/м. В резонансной области $50 \leq f \leq 120$ ГГц пороговая амплитуда снижается

до 1.8-2.0 МА/м, а время переключения сокращается примерно в 4 раза. Анализ Q(t) выявил ступенчатую коллективную аннигиляцию скирмионов в нерезонансном режиме (20 ГГц) и обратимое переключение между скирмионной и ферромагнитной фазами при 80 ГГц и $H_x \approx 2.1$ МА/м. Результаты важны для выбора параметров быстрого и обратимого управления топологическими состояниями в спинтронных устройствах.

Работа выполнена в рамках гос. задания соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024.

Литература

1. Donahue, M.J., Porter, D.G. OOMMF User's Guide. NIST, 2021.

© Нугуманов Р.Р., Абдрахманов Д.И., Шарафуллин И.Ф., 2026

УДК 537.6

ДВИЖУЩИЕСЯ МАГНИТНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ В ГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОЙ СПИНОВОЙ ЦЕПОЧКЕ С АНТИСИММЕТРИЧНЫМ ОБМЕНОМ

Бострем И.Г.[1], Екомасов Е.Г.[2], Овчинников А.С.[1,3], Синицын Вл.Е.[1], Павлов С.И.[1]

[1]Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

[2]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

[3]Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Дискретные бризеры (ДБ) представляют собой пространственно локализованные нелинейные возбуждения, периодические во времени и устойчивые в широком классе дискретных систем [1]. В работе исследуются магнитные ДБ в одномерной гейзенберговской спиновой цепочке с ферромагнитным обменом, взаимодействием Дзялошинского–Мории, одноионной анизотропией типа «лёгкая плоскость» и внешним магнитным полем, направленным вдоль геликоидальной оси. Динамика описывается системой нелинейных дискретных уравнений для нормированных спиновых переменных. В качестве исходных конфигураций рассматриваются четыре типа стационарных решений: светлые и тёмные бризеры с ферромагнитным и антиферромагнитным внутренним порядком. Численное решение задачи Коши позволяет получать движущиеся ДБ и прослеживать установление их формы, волнового вектора и частоты. Показано, что естественный волновой вектор стационарного решения $q = -a^{-1} \operatorname{arctg}(D/2J)$ задаётся антисимметричным обменом, а скорость движения ДБ определяется отклонением его волнового вектора k от q. Тем самым взаимодействие Дзялошинского–Мории непосредственно влияет на транспортные

характеристики локализованного возбуждения. Для всех четырёх типов решений получено классическое кинетическое соотношение P = MV, позволяющее интерпретировать ДБ как макроскопические квазичастицы с инерцией, определяемой их интегральной нормой. Анализ динамического структурного фактора показывает, что движение бризера приводит к доплеровскому расщеплению гармоник и формированию наклонных спектральных ветвей; их разрешимость определяется соотношением между скоростью бризера и шириной спектральных линий.

Литература

1. Flach, S., Gorbach, A.V. // Physics Reports, 2008, v. 467, pp. 1–116.

© Бострем И.Г., Екомасов Е.Г., Овчинников А.С., Синицын Вл.Е., Павлов С.И., 2026

УДК 537.611.3

КОЛЕБАНИЕ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ В МУЛЬТИСЛОЙНОЙ ФЕРРОМАГНИТНОЙ СТРУКТУРЕ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕНЕРАТОРА СПИНОВЫХ ВОЛН

Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Современные экспериментальные возможности в области нанотехнологий и магнитных измерений стимулируют углубленное изучение динамики магнитных неоднородностей, особенно в мультислойных магнитных структурах, чья востребованность в различных приложениях неуклонно растет. Теоретический анализ одномерной динамики этих неоднородностей в ферромагнитных мультислоях, представляющих собой периодическую последовательность слоев различной толщины и с разными магнитными свойствами (в частности, анизотропией), показывает связь с задачей о взаимодействии солитонов уравнения синус-Гордона с примесями [1]. В [2,3] показано, что динамика доменных границ в мультислойных структурах может приводить к их пиннингу на потенциальных ямах и генерации локализованных магнитных солитонов. И эти процессы сопровождаются излучением спиновых волн.

В данной работе исследуется возможность создания генератора спиновых волн на основе пининга и колебаний доменной границы на потенциальных ямах в трехслойной ферромагнитной структуре. Установлено, что параметры слоев структуры напрямую влияют на характеристики генерируемых спиновых волн, позволяя контролировать их амплитуду и частоту. Особое внимание уделено применению метода

авторезонанса с использованием слабого переменного магнитного поля для достижения управляемой генерации спиновых волн. Частота этих волн фиксирована и определяется как параметрами структуры, так и частотой приложенного магнитного поля.

Литература

1. The Sine-Gordon Model and Its Applications: From Pendula and Josephson Junctions to Gravity and High-Energy Physics, J. Cuevas-Maraver, P. Kevrekidis, F. Williams (Eds.), Cham: Springer, 2014.

2. Екомасов Е.Г., Гумеров А.М., Кудрявцев Р.В., JETP Letters, **101**, 11-12, 935-939 (2015).

3. Екомасов Е.Г., Назаров В. Н., Самсонов К. Ю., Муртазин Р. Р., Письма в ЖТФ, 47, 15 (2021).

© Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г., 2026

УДК 538.9, 538.945

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ НА ЭЛЕКТРОННЫЙ СПЕКТР И СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В Pd_2YSn

Дугина А.Д.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Интерметаллическое соединение Pd_2YSn выделяется наибольшими значениями критической температуры сверхпроводящего перехода (T_C) среди палладиевых сплавов данного класса. Известно, что величина T_C чувствительна к изменению объема элементарной ячейки. В связи с этим актуальной задачей является проведение систематического исследования, которое бы связывало вариацию объема кристаллической решетки с изменениями электронной структуры, фононного спектра, упругих характеристик и параметров сверхпроводящего перехода. В настоящей работе проведены первопринципные расчеты в рамках теории функционала плотности с применением мета-обобщенного градиентного приближения SCAN в пакете VASP. Для определения равновесного состояния исследована зависимость полной энергии от параметра кристаллической решетки. Минимум энергии соответствует параметру a = 6,727 Å, что демонстрирует высокую точность совпадения с экспериментальными данными (6,702–6,719 Å) и превосходит по точности стандартные PBE-расчеты. Плотность состояний на уровне Ферми формируется преимущественно *d*-орбиталями Pd. Расширение кристаллической решетки сопровождается сужением *d*-пиков Pd и ростом плотности состояний на уровне Ферми, что усиливает электрон-фононное взаимодействие и приводит к росту T_C от 3,7 К до 5,6 К. Отсутствие

мнимых частот в фононном спектре подтверждает динамическую и механическую стабильность кубической фазы $L2_1$. Однако существенное расширение кристаллической решетки до теоретического значения a = 6,8289 Å [1] приводит к появлению мнимых частот вдоль высоко симметричных направлений зоны Бриллюэна. Это указывает на возникновение динамической неустойчивости структуры и свидетельствует о невозможности неограниченного увеличения T_C за счет расширения ячейки.

Литература

1. H.M. Tütüncü, G.P. Srivastava // Journal of Applied Physics, 2014, v. 116, pp. 013907.

© Дугина А.Д., 2026

УДК 524.882

СЛАБОЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРОЙ С НЕЛИНЕЙНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКОМ

Харипова Д.И., Каримов Р.Х.
Башкирский государственных педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Классическое решение Рейсснера–Нордстрема (РН) описывает гравитационное поле заряженной чёрной дыры в рамках линейной электродинамики. Учёт нелинейного электрического источника изменяет геометрию пространства-времени и траектории света. Поэтому представляет интерес определить, как данная нелинейность проявляется в слабом гравитационном линзировании и на каком порядке возникают отличия от решения РН.

Цель работы – определить угол отклонения света в поле регулярной экспоненциально заряженной чёрной дыры с нелинейным электрическим источником и сравнить его с решением РН. Исследование основано на метрике, являющейся модифицированной версией метрики РН [1]. Для расчёта угла отклонения применён метод Китона–Петерса [2]:

$$\hat{\alpha}_{\text{НЭ}}(b) = 4\left(\frac{M}{b}\right) + \frac{3\pi}{4}(5-q^2)\left(\frac{M}{b}\right)^2 + \frac{2}{3}(8-q^2)^2\left(\frac{M}{b}\right)^3 + \cdots,$$

где M – асимптотическая масса чёрной дыры, b – прицельный параметр, $q = Q/M$ – нелинейный электрический заряд в безразмерной форме. Для количественной оценки отличия от решения РН рассмотрена разность углов отклонения:

$$\Delta\hat{\alpha}(b) = \hat{\alpha}_{\text{НЭ}}(b) - \hat{\alpha}_{\text{РН}}(b) = \frac{2q^2(8+q^2)}{3},$$

что соответствует появлению различий начиная с третьего порядка разложения. Таким образом, вклад нелинейного электрического источника становится заметным именно при учёте членов более высокого порядка. Полученный результат показывает также, что угол отклонения в рассматриваемой модели сильнее зависит от величины электрического заряда, чем в случае чёрной дыры РН.

Литература

1. Culetu H. On a regular charged black hole with a nonlinear electric source / H. Culetu // International Journal of Theoretical Physics. – 2015. – Vol. 54. – P. 2855–2863.

2. Keeton C.R., Petters A.O. Formalism for testing theories of gravity using lensing by compact objects: Static, spherically symmetric case / Keeton C.R., Petters A.O. // Physical Review D. - 2005. - Vol. 72. – Art. No. 104006.

© Харипова Д.И., Каримов Р.Х., 2026

УДК 517.957

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ БРИЗЕРОВ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ДВУМЯ ПРОТЯЖЕННЫМИ ПРИМЕСЯМИ

Попов А.В., Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Уравнение синус-Гордона (УСГ) широко используется для описания нелинейных волновых процессов в различных областях физики — от динамики доменных границ в ферромагнетиках до джозефсоновских переходов и физики высоких энергий [1–3]. Исходя из постановки задачи невозмущённое УСГ модифицируется путём добавления новых функций и слагаемых. Для рассматриваемого нами модифицированного УСГ точные аналитические решения пока не найдены, что приводит к необходимости использовать численные методы для его решения.

В настоящей работе исследована динамика нелинейных локализованных волн бризерного типа, возникающих в двух прямоугольных протяжённых притягивающих примесях после прохождения кинка. Проведён анализ структуры и динамики самих бризеров и их излучения. Показано влияние типа колебаний бризеров (синфазные, антифазные, биения) на свойства излучаемых волн. Также установлена зависимость между параметрами излучения и параметрами примесей. Основное внимание уделено влиянию расстояния между примесями на характеристики возбуждаемых бризеров и их излучения. Показано, что качественное изменение динамики бризеров приводит к

изменению характеристик излучаемых волн - их частотного спектра и амплитуды.

Литература

1. Cuevas-Maraver J. The Sine-Gordon Model and Its Applications: From Pendula and Josephson Junctions to Gravity and High-energy Physics/J. Cuevas-Maraver, P. G. Kevrekidis, F. Williams (Eds.) // Springer. — 2014. — V. 10. — P. 263;

2. Екомасов Е.Г., Назаров В.Н., Самсонов К.Ю., Муртазин Р.Р. // Письма в ЖТФ – 2021. – т.47, в.10. – с. 15 – 18;

3. Д.К. Кабанов, К. Ю. Самсонов, В. Н. Назаров, Е. Г. Екомасов // Физика твердого тела. – 2023. – Т. 65, № 4. – С. 558-565.

© Попов А.В., Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г., 2026

УДК 538.945

ИНДУЦИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ И НАВЕДЁННОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬЮ МАЙОРАНОВСКИЕ НУЛЕВЫЕ МОДЫ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ

Эразо Веласко И., Кузьмин Д.А.
Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Состояния Майораны представляют большой интерес из-за их возможного применения в квантовых вычислениях [1]. Углеродные нанотрубки являются подходящей платформой для их изучения, поскольку их свойства можно контролировать с помощью электрических и магнитных полей и взаимодействия со сверхпроводником [2,3].

В работе исследуется, обусловливает ли радиус нанотрубки различие критических магнитных полей, необходимых для перехода в топологическую фазу [1-3], или наблюдаемое различие связано с фиксированным химическим потенциалом. Изменение радиуса влияет на электронные свойства нанотрубки, тогда как химический потенциал можно контролировать с помощью напряжения на затворе. Для изучения этого вопроса сравниваются нанотрубки типа armchair («кресло») с разными радиусами. Сначала используется одинаковое напряжение на затворе, затем оно подбирается отдельно для каждого радиуса. При фиксированном потенциале на затворе критическое поле изменяется с радиусом. При настройке потенциала для каждой нанотрубки зависимость критического поля от радиуса ослабевает, и критическое поле становится практически одинаковым. При этом необходимый потенциал на затворе зависит от радиуса. Радиус сам по себе не определяет минимальное поле, а влияет главным образом на условия по

химическому потенциалу/напряжению на затворе для достижения топологической фазы [3], представляющей интерес для топологических квантовых вычислений [4].

Литература

1. Alicea, J. New directions in the pursuit of Majorana fermions in solid state systems // Rep. Prog. Phys., 2012, v. 75, 076501.

2. Lutchyn, R.M., Sau, J.D., Das Sarma, S. Majorana fermions and a topological phase transition in semiconductor-superconductor heterostructures // Phys. Rev. Lett., 2010, v. 105, 077001.

3. Oreg, Y., Refael, G., von Oppen, F. Helical liquids and Majorana bound states in quantum wires // Phys. Rev. Lett., 2010, v. 105, 177002.

4. Nayak, C., Simon, S.H., Stern, A., Freedman, M., Das Sarma, S. Non-Abelian anyons and topological quantum computation // Rev. Mod. Phys., 2008, v. 80, pp. 1083–1159.

© Эразо Веласко И., Кузьмин Д.А., 2026

УДК 004.032.26

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОРМОЗНЫХ И ВОЗБУЖДАЮЩИХ НЕЙРОНОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДВУХ ИНТЕРФЕРИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Фатеев А.Н., Бычков И.В., Кузьмин Д.А.
Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В работе представлены результаты вычислительного моделирования популяции из 5000 нейронов, активируемых двумя интерферирующими электрическими полями с частотами 2000 и 2010 Гц и силой тока 400 мкА для сопоставления с экспериментальной работой [1]. Рассмотрены две модели: в первой внешний ток вводится непосредственно в модель Ижикевича [2] через переменную I; во второй [3] дополнительно вводятся параметры k_1 и k_2, описывающие связь напряжённости поля с поляризацией нейрона. Проведён сравнительный анализ двух сценариев: (1) сеть состоит только из возбуждающих регулярно-спайковых нейронов; (2) 20 % нейронов заменены на тормозные быстро-спайковые. Для оценки доминирующих частот построены графики спайковой активности и спектральной плотности мощности. Адекватность моделей проверялась сравнением средней частоты спайков и паттернов активности с данными экспериментов на лабораторных крысах. Показано, что учёт тормозных нейронов в обеих моделях улучшает соответствие эксперименту, при этом модель с поляризационными переменными требует подбора коэффициентов, но лучше воспроизводит нерегулярность спайков и многопиковую структуру спектра. Обнаружена синхронизация разрядов возбуждающих и тормозных клеток во второй

модели при определённых значениях параметров. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации параметров глубокой неинвазивной стимуляции мозга.

Литература

1. Grossman, N. et al. Noninvasive deep brain stimulation via temporally interfering electric fields // J. Cell., 2017, v. 169, p. 1029.
2. Izhikevich E.M. Simple model of spiking neurons // IEEE Transactions on Neural Networks., 2003, v. 14, № 6, pp. 1569–1572.
3. Gayathri, V., et al. Firing patterns of Izhikevich neuron under electric field and synchronization patterns // Eur. Phys. J.: Spec. Top., 2022, v. 231, p. 4017.

© Фатеев А.Н., Бычков И.В., Кузьмин Д.А., 2026

УДК 530.182.1

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИНКОВ ТЕОРИИ ФИ-4 С ЛОКАЛИЗОВАННЫМИ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ПРИМЕСЯМИ

Гафаров Д.Р., Фахретдинов М.И.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Исследование нелинейной динамики топологических солитонов (кинков) в присутствии пространственных неоднородностей представляет большой интерес для физики конденсированного состояния и теории поля. В данной работе рассматривается (1+1)-мерная модель скалярного поля φ^4 с локализованной дельта-образной примесью с интенсивностью ε:

$$u_{tt} - u_{xx} + [1 - \varepsilon\delta(x)](u^3 - u) = 0$$

Для численного интегрирования уравнения движения применяется явная трехслойная конечно-разностная схема «чехарда» (leapfrog) на сетке с шагами $\Delta t = 0.01$ и $\Delta x = 0.02$, обеспечивающими выполнение условия устойчивости ($\Delta t/\Delta x = 0.5 < 1$). Точечная примесь аппроксимируется узким гауссианом с шириной $\sigma = 0.1$. В процессе моделирования отслеживаются эволюция профиля поля $u(x, t)$ и траектория центра кинка $X_c(t)$, определяемая по условию $u(t, X_c) \approx 0$.

На основе выполненных расчетов проанализированы режимы рассеяния кинка для различных значений начальной скорости v_0 и силы примеси ε. Для отталкивающей примеси ($\varepsilon = -0.5$, потенциальный барьер): при малой начальной скорости ($v_0 = 0.3$) происходит упругое отражение кинка от барьера, а при высокой скорости ($v_0 = 0.7$) – его

прохождение сквозь неоднородность. Для притягивающей примеси (ε = +0.5, потенциальная яма): при $v_0 = 0.1$ происходит захват кинка в потенциальную яму с образованием связанного осциллирующего состояния, тогда как при $v_0 = 0.5$ кинк преодолевает яму.

Результаты моделирования наглядно демонстрируют зависимость сценариев динамики неинтегрируемой системы от начальной кинетической энергии кинка и типа потенциала примеси.

Литература

1. Lizunova M., van Wezel J. An introduction to kinks in φ4-theory // SciPost Physics Lecture Notes. – 2021. – Art. 23.

© Гафаров Д.Р., Фахретдинов М.И., 2026

УДК 530.182.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СОЛИТОНОВ УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Япаров С.В., Фахретдинов М.И.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Математическое моделирование динамики нелинейных волн в средах с неоднородностями является актуальной задачей современной физики конденсированного состояния и теории поля. Особый интерес представляют топологические солитоны (кинки), обладающие высокой степенью устойчивости. В реальных физических системах, таких как длинные джозефсоновские переходы и нелинейно-оптические среды, движение солитонов усложняется их взаимодействием с примесями и локализованными дефектами структуры.

В данной работе исследуется динамика кинков в рамках нелинейного уравнения синус-Гордона с пространственной неоднородностью

$$u_{tt} - u_{xx} + K(x)\sin(u) = 0,$$

где функция $K(x)$ описывает профиль локализованного дефекта (Гауссова потенциальная яма или прямоугольная яма. Кинк запускался из точки с начальной координатой $x_0 < 0$ из состояния покоя с нулевой начальной скоростью ($v_0 = 0$). Начальное условие задавалось в виде статичного аналитического решения уравнения синус-Гордона $u(x, 0) = 4\,\mathrm{arctg}[\exp(x - x_0)]$.

Численное решение задачи выполнялось методом прямых с дискретизацией по пространственной координате $\Delta x = 0.025$. Координата

центра кинка $X_c(t)$ определялась из условия $u(X_c,\ t) = \pi$, на основе чего рассчитывалась мгновенная скорость. Проанализированы сценарии захвата и осцилляционного движения кинка при взаимодействии с примесями в зависимости от геометрии и формы примеси. Проведено исследование спектрального состава и интенсивности фононных волн, генерируемых кинком при его осцилляциях в области дефекта.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ FRRR-2026-0010).

© Япаров С.В., Фахретдинов М.И., 2026

УДК 517.9, 519.633

ЗАВИСИМОСТЬ ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ (210)-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНОК И ПРИЛОЖЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Демидова В.А., Юмагузин А.Р., Вахитов Р.М.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Магнитоэлектрические материалы с двумя параметрами порядка позволяют управлять сегнетоэлектрическими свойствами магнитным полем, а магнитной структурой – электрическим. Особый интерес вызывает флексомагнитоэлектрический (ФМЭ) эффект: электрическое поле смещает доменную границу и индуцирует вблизи неё заряды [1]. Впервые эффект наблюдался в (210)-плёнке феррита-граната при смещении 180°-доменной границы (180°-ДГ) заряженной иглой. В (011)-плёнке он слабее, в (111)-плёнке не регистрировался, что связывают с ромбической анизотропией, придающей 180°-ДГ квазиблоховскую структуру [1]. Фазовая диаграмма (210)-плёнки [2] показала, что при любом соотношении констант анизотропии магнитные неоднородности представляют собой 180°-ДГ с некруговой траекторией вектора намагниченности, то есть ФМЭ эффект в такой плёнке всегда существует.

Анализ показывает возможность спин-переориентационного фазового перехода I рода по стеночному механизму, сопровождающегося сменой знака индуцируемых вблизи ДГ зарядов. При подходе приведённой константы ромбической анизотропии $æ_p$ к критическому значению в зависимостях углов θ и φ возникают три точки перегиба; доменная структура перестраивается, и домены скачком меняют ориентацию намагниченности на противоположную ($mz = 1 \rightarrow mz = -1$ и наоборот). Интегральная поляризация N также скачком меняет знак,

достигая N_l = 3.14. Следовательно, в (210)-плёнках ферритов-гранатов ФМЭ эффект всегда присутствует и допускает управление величиной и знаком через структурные параметры плёнки и внешнее электрическое поле, что расширяет возможности создания энергосберегающих устройств записи и считывания информации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания на выполнение научных исследований лабораториями (075-03-2024-123/1 15.02.2024).

Литература

1. Пятаков, А.П., Звездин, А.К. // УФН, 2012, т. 182(6), стр. 593–620.
2. Vakhitov, R.M., Iskhakova, R.R., Yumaguzin, A.R. // Physics of the Solid State, 2018, v. 60(5), pp. 925–935.

© Демидова В.А., Юмагузин А.Р., Вахитов Р.М., 2026

УДК 537.9, 537.611

ДИНАМИКА ВЕКТОРА НЕЕЛЯ ПРИ СПИН-ФЛОП ПЕРЕХОДЕ В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ Mn_2Au

Пересторонина А.В., Гареева З.В.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия
Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

В антиферромагнетике Mn_2Au, перспективном для спинтроники благодаря возможности токового управления вектором Нееля [1], при приложении магнитного поля H вдоль оси легкого намагничивания [110] реализуется спин-флоп переход.

В работе [2] исследована динамика вектора Нееля в геометрии $H \parallel [001]$. В настоящей работе рассмотрен случай $H \parallel [110]$, соответствующий гауссову импульсному воздействию вдоль оси легкого намагничивания. На основе численного решения уравнений Ландау-Лифшица-Гильберта показано, что спин-флоп переход сопровождается затухающими осцилляциями полярного $\theta(t)$ и азимутального $\phi(t)$ углов (рис. 1).

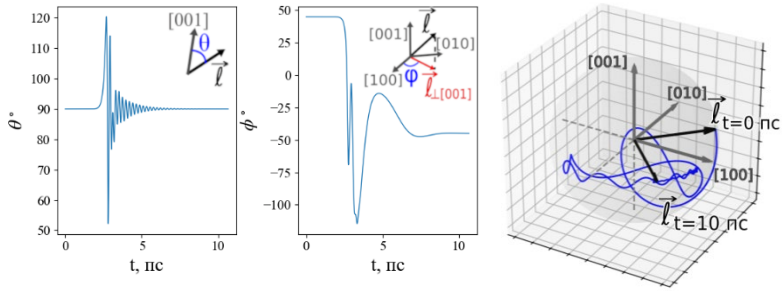


Рис. 1. Временная динамика полярного и азимутального углов единичного вектора Нееля l.
Траектория вектора l в кристаллографической системе координат Mn_2Au

Полученные результаты помогают учесть вклад осцилляций θ и ф в формирование импульсов магнитогальванического тока, что значимо для оценки времени переключения в устройствах спинтроники на основе Mn_2 Au.

Литература

1. Wadley, P., Howells, B., Zelezny, J., et al. // Science, 2016, v. 351(6273), pp. 587–590.

2. Гареева, З.В., Звездин, К.А., Попов, А.И., и др. // Письма в ЖЭТФ, 2025, т. 122, вып. 4, с. 247–252.

© Пересторонина А.В., Гареева З.В., 2026

УДК 539.216.2:537.624

МИКРОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ kπ-СКИРМИОНОВ НА КОЛУМНАРНЫХ ДЕФЕКТАХ ТИПА «ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА»

Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., Филиппов М.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Магнитные скирмионы представляют собой вихреподобные неоднородности, в которых вектор намагниченности $\boldsymbol{m}$ при перемещении его вдоль радиального направления от центра (называемого кором) к периферии изменяет своё направление на *180° (*π-скирмион*)*. В случае kπ-скирмионов (другое название target skyrmions [1]) «закрутка» $\boldsymbol{m}$ происходит при таком перемещении k раз (k ∈ 1, 2, 3...) на угол кратный *180°* [2]. В представленной работе рассматривались условия образования вихреподобных магнитных структур (магнитные kπ-скирмионы), возникающих в одноосных магнитных плёнках Fe_3Sn_2 в форме диска и влияние на их тип наличия колумнарного дефекта типа «потенциальная

ямa» в центре плёнки, в области которого скачком понижаются материальные параметры (обменный параметр (A) и константа перпендикулярной магнитной анизотропии (K_u)). Исследование проводилось методом микромагнитного моделирования в пакете программ OOMMF и Ubermag, в которых реализовано численное решение уравнений Ландау-Лифшица-Гильберта для заданных магнитных систем методом конечных разностей. Описываемого локального изменения материальных параметров можно добиться нагревом плёнки. Было показано, что в некоторых случаях дефект оказывает положительное влияние и позволяет получить скирмионы с разными k при одном и том же размере диска, то есть достигнуть переключения от kπ- к (k+1) π-скирмиону. Например, переключение между π- и 2π-скирмионами возникает в плёнках с D = 400 нм, а между 2π- и 3π-скирмионами в пленках с D= 600 нм. Механизм данного эффекта обусловлен за счёт появления дополнительной скирмионоподобной неоднородности в центре плёнки в области дефекта.

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

Литература

1. Leonov A., Rößler U.K., Mostovoy M. // EPJ Web Conf. 75 (2014) 05002.

2. Mishra K. K., Lone A. H., Srinivasan S., Fariborzi H. // Appl. Phys. Rev. *1 March 2025; 12 (1): 011315.*

© Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., Филиппов М.А., 2026

УДК 537.622, 538.945

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ ФЕРРОМАГНЕТИК – СВЕРХПРОВОДНИК

Артамонов И.А., Пугач Н.Г., Туркин Я.В.
НИУ ВШЭ, МИЭМ, г. Москва, Россия

Гетероструктуры ферромагнетик–сверхпроводник представляют интерес как системы, в которых динамика магнитной подсистемы непосредственно связана с неравновесным квазичастичным и электромагнитным откликом сверхпроводника. В работе исследована диффузионная модель гибридной структуры с периодически прецессирующим ферромагнитным диэлектриком. Теоретическое

описание построено в формализме квазиклассических функций Грина Келдыша–Намбу–спина с учетом сверхпроводящей щели, уширения Дайнса и диффузионного распространения возбуждений. Для периодически установившегося режима выполнено Фурье–Флоке-разложение по частоте прецессии Ω и получено одноиндексное представление электромагнитного ядра отклика. Показано, что внешнее пробное поле с частотой ω формирует систему входных и выходных боковых каналов $\omega + q\Omega$ и $\omega + p\Omega$, а соответствующая комплексная проводимость имеет матричную структуру $\sigma_{pq}(\omega; \Omega)$. Для одночастотной прецессии в первом порядке получено правило отбора $p - q = \pm 1$, то есть магнитное возбуждение связывает соседние Floquet-каналы. Параллельно рассчитаны спектральные диффузионные ядра, характеризующие условия усиления гармонических вкладов при энергетических сдвигах $E \pm l\hbar\Omega/2$. Построенные двумерные и трехмерные карты демонстрируют выраженные резонансные области, связанные с краем сверхпроводящей щели и характерными масштабами $\hbar\Omega \approx \Delta$ и $\hbar\Omega \approx 2\Delta$. Для микроскопического отклика получено диффузионное уравнение для FI-индуцированной поправки к функции распределения и выражение для ее толщинно-интегрированной Келдышевской компоненты. На этой основе вычислены поправки к ядру отклика и off-diagonal элементам комплексной проводимости. Равновесный предел модели проверен независимым расчетом BCS-проводимости: при выключенном магнитном воздействии центральный канал σ_{00} воспроизводит стандартный частотный отклик сверхпроводника. Полученные результаты определяют условия появления резонансных неоднородных возбуждений и частотного преобразования в гетероструктуре и позволяют перейти к расчету матрицы поверхностного адмиттанса и импеданса.

Литература

1. Usadel K. D. Generalized Diffusion Equation for Superconducting Alloys // Physical Review Letters. 1970. Vol. 25. P. 507–509.

© Артамонов И.А., Пугач Н.Г., Туркин Я.В., 2026

УДК 533.6.011.6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНДЕНСАТОРНОЙ ЧАСТИ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРА

Кузовникова Т.А., Гильманов А.Я., Шевелёв А.П.
Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Одной из весомых проблем, сопровождающих разработку месторождений и транспортировку углеводородов в условиях криолитозоны, является нарушение теплового режима и протаивание многолетнемерзлых грунтов вследствие теплопереноса от конструкций скважин и трубопроводов. Исключение рисков обрушения конструкций ставит проблему терморегуляции грунта, одним из наиболее эффективных технических решений которой являются сезонные охлаждающие устройства – термостабилизаторы [1]. В данной работе описана постановка задачи процесса обдува наружной части сезонного термостабилизатора. Целью работы стало определение динамики температуры конденсаторной части термостабилизатора. Разработанная физико-математическая модель задачи основана на уравнениях механики сплошной среды и механики многофазных систем. Решение задачи осуществлялось численными методами, при помощи итерационного метода Ньютона в стационарном приближении и при помощи явной конечно-разностной схемы в нестационарном приближении. Получены распределения термодинамических параметров работы термостабилизатора в стационарном и в нестационарном приближениях. В ходе моделирования стационарного приближения была произведена настройка эмпирических коэффициентов модели. Моделирование нестационарного приближения потребовало учета начальных и граничных условий, опирающихся на решение стационарной задачи.

Литература

1. Anikin, G.V., Ishkov, A.A. Analytical solution of the problem of operation of deep seasonal cooling devices to assess their efficiency. // Earth’s Cryosphere, 2023, v. 27(4), pp. 37–44. [In Russian]

© Кузовникова Т.А., Гильманов А.Я., Шевелёв А.П., 2026

УДК 537.6, 538.9

ЧАСТИЧНЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В ФРУСТРИРОВАННЫХ ФЕРРОМАГНИТНО-СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВЕРХРЕШЁТКАХ

Юлдашева А.Р., Трочина А.М., Шарафуллин И.Ф.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Актуальность работы обусловлена необходимостью управления топологическими магнитными состояниями в мультиферроидных наноструктурах, где межфазная магнитоэлектрическая связь может активно формировать неколлинеарные спиновые текстуры. Рассматривается модель фрустрированной ферромагнитно-сегнетоэлектрической сверхрешётки. Гамильтониан:

$$H_1 = -J_1 \sum_{\langle i,j \rangle} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j - J_2 \sum_{\langle\langle i,l \rangle\rangle} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_l - K \sum_{\langle i,j \rangle} S_i^z S_J^z cos\theta_{ij} - h \sum_i S_i^z$$

$$H_2 = -J_{fe} \sum_{\langle i,j \rangle} \vec{P}_i \cdot \vec{P}_j$$

$$H_{12} = - \sum_{\langle i,j,k \rangle} J_{ijk}^{mf} \vec{D}_{i,j} \cdot \left[\vec{S}_i \times \vec{S}_j \right].$$

Основное состояние найдено методом наискорейшего спуска. При $J_1 = J_{fe} = 1, K = 0.25$, $J^{mf} = -0.75, J_2 = -0.3$ и $h = 0$ формируется трёхмерная скирмионная решётка в приграничном слое.

Методом Монте-Карло рассчитаны послойные намагниченность, восприимчивость и параметр порядка. При H = 0 все шесть магнитных слоёв испытывают переход при T ≈ 0.65–0.75. В поле H = 0.2 переход наблюдается только у приграничных слоёв с наибольшими xy-компонентами спина, внутренние слои сохраняют порядок по z. При h = 0.40 поверхностные слои не переходят, а скирмионная структура подавляется и все спины ориентируются вдоль z.

Таким образом, конкуренция J_1, J_2, J^{mf}, K и h приводит к скирмионным состояниям и частичному фазовому переходу: приграничные слои теряют xy-упорядочение, внутренние сохраняют z-порядок. Магнитоэлектрическая связь на интерфейсе - эффективный инструмент управления топологическими состояниями, перспективный для спинтроники.

Литература

1. Sharafullin, I. F., Nugumanov, A. G., Nugaeva, N. M., Diep, H. T. // *IEEE Magnetics Letters*, 2020,v. *11*, pp. 1-5.

© Юлдашева А.Р., Трочина А.М., Шарафуллин И.Ф., 2026

УДК 530.1

ИССЛЕДОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНОЙ АККРЕЦИИ НА РЕГУЛЯРНУЮ ЗАРЯЖЕННУЮ ЧЕРНУЮ ДЫРУ

Юсупова Р.М.[1,2], Измаилов Р.Н.[2]
[1]Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия
[2]Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В работе исследованы параметры сферически-симметричной аккреции на регулярную чёрную дыру Баларта-Вадженаса (ЧДБВ) с зарядом [1]. Геометрия ЧДБВ определяется метрической функцией $f(r) = 1 - \frac{2M}{r}\left[\frac{1}{1+\gamma\left(\frac{q^2}{Mr}\right)^{\alpha}}\right]^{\frac{3}{\alpha}}$, где α и γ — параметры нелинейной электродинамики, q – электрический заряд. Решение для ЧДБВ получено из уравнений поля Эйнштейна с Лоренц-инвариантным скаляром $F = \frac{1}{4}F^{\mu\nu}F_{\mu\nu}$. Особенность данной метрики заключается в том, что при $\alpha = 1$ и $\gamma = 1/6$ решение асимптотически переходит в решение Райсснера–Нордстрема, а при $q = 0$ – к решению Шварцшильда.

В работе получены выражения для радиальной скорости $u(r)$, плотности $\rho(r)$ и темпа аккреции $\dot{M}(r)$ для четырёх типов веществ: пыли ($\omega = 0$), жёсткой материи ($\omega = 1$), квинтэссенции ($\omega = -0.5$) и фантомной материи ($\omega = -2.5$) для значений заряда $q = 0.5M$ и $q = 1M$. Установлено, что радиальная скорость всех типов материи отрицательна и возрастает вблизи центра ЧДБВ. Плотность $\rho(r)$ максимальна для жёсткой материи и минимальна для квинтэссенции. Наиболее сильная зависимость от заряда обнаружена для жёсткой материи, наиболее слабая — для квинтэссенции.

Анализ темпа аккреции $\dot{M}(r)$ показал, что наиболее медленно аккрецирует квинтэссенция по сравнению с пылью и жесткой материей. Для рассмотренных нефантомных веществ $\dot{M}(r) > 0$, что соответствует увеличению массы ЧДБВ, тогда как для фантомной материи $\dot{M}(r) < 0$, т.е. масса ЧДБВ уменьшается.

Литература

1. Balart, L. and Vagenas, E.C. Regular black holes with a nonlinear electrodynamics source / L. Balart, E.C. Vagenas // Physical Review D, 2014, v. 90, p. 124045.

© Юсупова Р.М., Измаилов Р.Н., 2026

УДК 537.622, 538.945

НЕОДНОРОДНЫЕ МАГНИТНЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В ТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ, ПОКРЫТЫХ СЛОЕМ СВЕРХПРОВОДНИКА

Демьянов С.Ю., Туркин Я.В., Пугач Н.Г.
НИУ ВШЭ, МИЭМ, г. Москва, Россия

Спектр волновых магнитных возбуждений в тонкой ферромагнитной плёнке определяется совместным действием объёмного обмена, размагничивающего поля и закрепления намагниченности на границах, причём для плёнок толщиной в десятки нанометров вклад границы становится сравнимым с объёмным. В работе рассчитана динамическая восприимчивость ферромагнитной плёнки в модели Ландау–Лифшица–Гильберта с неоднородным профилем внутреннего поля вблизи границы и смешанным граничным условием Робена, задающим поверхностный обмен. Задача решена как обобщённая задача на собственные значения на пространственной сетке, отклик восстановлен как сумма по модам. Построены карты поглощения в координатах поле–толщина ферромагнетика для L_z = 3–70 нм и частота–толщина для f = 0.1–20 ГГц, прослеживается перестройка спектра при изменении объёмного обмена и безразмерного поверхностного обмена. Показано, что положение и число разрешённых мод определяются отношением этих двух величин, а не каждой по отдельности. На втором этапе феноменологический параметр закрепления заменён микроскопически рассчитанным коэффициентом динамического пиннинга границы сверхпроводника и ферромагнетика. Спиновая восприимчивость сверхпроводящей плёнки вычислена в формализме квазиклассических функций Грина в пространстве Келдыша в диффузионном пределе Узаделя с учётом щели Δ(T), уширения Дайнса и трёх спектральных каналов; коэффициент получен вычитанием статического вклада,

$$\boldsymbol{p}^{(1)}(\boldsymbol{\Omega},\boldsymbol{T}) = \frac{\boldsymbol{DJ_1}}{\boldsymbol{2A_{ex}\gamma_e}}\left[\boldsymbol{\chi}_+^{(1)}(\boldsymbol{\Omega},\boldsymbol{T}) - \boldsymbol{\chi}_+^{(1)}(\boldsymbol{0},\boldsymbol{T})\right], \qquad (1)$$

и является комплексным: действительная часть смещает моды, мнимая даёт дополнительное затухание, отсутствующее в феноменологическом описании. Толщина сверхпроводника входит в отклик единственным образом — через диффузионный профиль на границе $P(k, d_S) = \frac{\mathrm{cth}(k\, d_S)}{k}$, что на частотах ферромагнитного резонанса даёт обратную пропорциональность $p^{(1)} \propto 1/d_S$ при изменении толщины. Расчёт ФМР-отклика с таким граничным условием показал пороговый по температуре характер эффекта.

Литература

1. Turkin Ya. V., Pugach N. G. Spin dynamics in superconductor/ferromagnetic insulator hybrid structures with precessing magnetization // Beilstein Journal of Nanotechnology. 2023. Vol. 14. P. 233–239. DOI: 10.3762/bjnano.14.22.

© Демьянов С.Ю., Туркин Я.В., Пугач Н.Г., 2026

УДК 524.882

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ВБЛИЗИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЧЁРНОЙ ДЫРЫ

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

Акустические чёрные дыры [1] - это объекты, возникающие в сверхзвуковых потоках жидкости, поведение которых математически похоже на поведение вещества вблизи настоящих чёрных дыр. Вблизи таких объектов частицы могут двигаться по устойчивым круговым орбитам, а при небольшом отклонении от них - совершать колебания. Цель работы - рассчитать частоты этих колебаний (радиальную, полярную и азимутальную) и на их основе определить, при каких условиях орбиты остаются устойчивыми [2].

С увеличением параметра ξ область, где возможны устойчивые колебания частиц, сдвигается дальше от чёрной дыры. Радиальная частота Ω_r сначала резко растёт, достигает пика (тем выше, чем больше ξ) и затем плавно снижается. Полярная и азимутальная частоты Ω_θ и Ω_ϕ ведут себя иначе: у них наблюдается резкий узкий всплеск вблизи внутренней границы устойчивой области, после чего частота быстро падает почти до нуля и дальше меняется слабо. При этом для всех частот на больших расстояниях от чёрной дыры кривые с разными ξ практически сливаются - влияние параметра ξ значимо только вблизи чёрной дыры.

Параметр ξ сильнее всего меняет радиальные колебания и почти не влияет на угловые - их отличия заметны только у самой чёрной дыры. Но даже там, где колебания возможны, частица всё равно может потерять устойчивость и упасть на чёрную дыру.

Литература

1. Ge X.-H., Nakahara M., Sin S.-J., Tian Y., Wu S.-F. Acoustic black holes in curved spacetime and the emergence of analogue Minkowski spacetime // Phys. Rev. D., 2019, vol. 99, no. 104047.

2. Kološ, M. Quasi-harmonic oscillatory motion of charged particles around a Schwarzschild black hole immersed in a uniform magnetic field / M. Kološ, Z. Stuchlík, A. Tursunov // Classical and Quantum Gravity. — 2015. — Vol. 32, No. 16. — P. 165009.

© Хидиров У.К., 2026

УДК 577.3.01, 530.182

ПРИБЛИЖЕННЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ МОЛЕКУЛЫ ДНК

Закирьянов Ф.К., Шангареева В.Н., Юсупова В.С.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Ранее нами была предложена *комбинированная* модель нелинейной динамики молекулы ДНК, сочетающая геометрию *угловых* моделей с потенциалом Морзе, характерным для *поперечных* моделей [1]. Было показано, что в такой модели возможны солитоны типа кинка, возникающие в угловых моделях, причём эти солитоны являются несколько более широкими по сравнению с солитонами в «классических» угловых моделях, описываемых уравнением sin-Гордона [2]. Также мы разработали алгоритм численного нахождения решения в виде кинка для предложенной комбинированной модели [3].

В данной работе мы рассматриваем *приближенные аналитические* решения в виде кинков с использованием различных *анзацев*. Показано, что ширина кинка в комбинированной модели будет зависеть от его скорости и параметров потенциала Морзе. Подбором этих параметров можно добиться различной степени соответствия профилей кинков, полученных численным и приближенными аналитическими методами.

Литература

1. Балашова В.Н., Закирьянов Ф.К., Якушевич Л.В. Угловая модель динамики ДНК с учетом потенциала Морзе // VI Съезд биофизиков России. Сборник научных трудов. 2019. С. 108-109.

2. Кубатиева М.Р., Закирьянов Ф.К. Солитоны в угловой модели ДНК с потенциалом Морзе // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. Материалы XI Межрегиональной школы-конференции молодых ученых. Уфа, 2025. С. 25.

3. Шангареева В.Н., Закирьянов Ф.К. Решение в виде кинка для комбинированной модели ДНК // Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2025». Тезисы докладов XVI Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа, 2025. С. 60-61.

© Закирьянов Ф.К., Шангареева В.Н., Юсупова В.С., 2026

УДК 537.61

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ДЕФЕКТА НА РАДИУС МАГНИТНОГО СКИРМИОНА В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛЁНКАХ

Филиппов М.А., Вахитов Р.М., Хакимуллина А.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Магнитные скирмионы — это топологически защищённые вихреподобные неоднородности, перспективные для энергонезависимой спинтронной памяти. В киральных магнетиках и многослойных плёнках они стабилизируются за счёт взаимодействия Дзялошинского–Мория (DMI). При малых величинах DMI скирмионы в магнитной плёнке, как правило, неустойчивы, поэтому необходима искусственная наномодификация плёнок [1] с внедрением дефекта с пониженной величиной перпендикулярной магнитной анизотропией (ПМА). В данной работе исследуется возможность стабилизации скирмионов на подобном дефекте радиуса R_0 = 20 нм при константах DMI $D = 0.5$ и $1 \cdot 10^{-3}$ Дж/м^2, при которых скирмион не стабилизируется в отсутствии дефекта. Исследование выполнено методом микромагнитного моделирования в пакете программ Ubermag. Плёнка, соответствующая типу Co/Pt, толщиной $h = 1$ нм задавалась в форме диска с радиусами $R = 75$ и 150 нм и цилиндрическим дефектом в центре. Вне дефекта константа ПМА равна K_{u1}, на дефекте — $K_{u2} < K_{u1}$. При внедрении дефекта происходит переход от однородного намагниченного состояния диска к одиночному скирмиону в его центре по достижении порогового значения K_{u2}' на дефекте, которое зависит от D и K_{u1}. При $K_{u1} = 0.4 \cdot 10^6$ Дж/м^3 порог равен $K_{u2}' = 0.1 \cdot 10^6$ Дж/м^{3}для $D = 0.5 \cdot 10^{-3}$ Дж/м^2 и $K_{u2}' = 0.25 \cdot 10^6$ Дж/м^{3}для $D = 0.1 \cdot 10^{-3}$ Дж/м^2. При $K_{u1} = 0.6 \cdot 10^6$ Дж/м^{3}и $D = 0.5 \cdot 10^{-3}$ Дж/м^2 скирмион не появляется ни при каком K_{u2}. То же значение анизотропии вне диска при $D = 1 \cdot 10^{-3}$ Дж/м^2 уже допускает зарождение, начиная с $K_{u2}' = 0.1 \cdot 10^6$ Дж/м^3. Полученные результаты показывают, что дефект радиусом 20 нм достаточен для зарождения скирмиона при слабом DMI, если анизотропия остальной плёнки не слишком велика. Тем самым локальное изменение ПМА позволяет стабилизировать малые скирмионы в плёнках типа Co/Pt без увеличения константы DMI, что перспективно для создания компактных ячеек спинтронной памяти.

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

Литература

1. Vakhitov R.M., Solonetsky R.V., Akhmetova A.A., Filippov M.A. // Symmetry. — 2022. — V. 14, №3. — P. 612.

© Филиппов М.А., Вахитов Р.М., Хакимуллина А.А., 2026

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ»

УДК 544.6, 543.55

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ФРАКТАЛИЗАЦИЯ ГРАФИТОВОГО ЭЛЕКТРОДА В ПРИСУТСТВИИ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Сидельникова Е.А., Васенина Н.А., Аминева Г.Г.,
Баширова З.А., Гареев И.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Процессы, протекающие на поверхности электрода, во многом определяют рабочие характеристики сенсорных систем. В условиях длительного электрохимического воздействия даже такие инертные материалы, как графит, способны изменять свою структуру, вплоть до образования разветвлённых поверхностных форм [1, 2].

В представленной работе исследована динамика изменения поверхности графитового электрода при длительной циклической поляризации в растворе, содержащем ионы железа и никеля. С помощью комплекса статистических методов обработки сигналов установлено, что структурная перестройка поверхности происходит в две последовательные стадии. В ходе анализа выделены временные интервалы, соответствующие наиболее активным изменениям. Выявлены регулярные колебания электрохимического сигнала, не связанные со случайными факторами. На начальном этапе эволюция поверхности подчиняется закономерностям, характерным для самоорганизующихся систем, однако по мере развития процесса эти закономерности утрачиваются. Сделано предположение, что ионы переходных металлов участвуют в переносе заряда, обеспечивая прохождение тока через развитую пористую структуру. Прекращение структурных преобразований на завершающей стадии, вероятно, связано с возникновением диффузионных барьеров по мере уменьшения размера пор.

Литература

1. Nigmatullin, R.R.; Budnikov, H.C.; Sidelnikov, A.V. «Mesoscopic theory of percolation currents associated with quantitative description of VAGs: Confirmation on real data» // Chaos, Solitons and Fractals. 2018. Vol. 106. P. 171–183.

2. Nigmatullin R.R., Budnikov H.C., Mustafin A.G. et al. Process of electrochemical electrode modification by polyaniline in the frame of percolation model // J. Solid State Electrochem. 2019. Vol. 23. P. 1221–1235.

© Сидельникова Е.А., Васенина Н.А., Аминева Г.Г., Баширова З.А., Гареев И.А., 2026

УДК 537.86, 530.182

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ДВИЖУЩИХСЯ ДИСКРЕТНЫХ БРИЗЕРОВ ПРИ РАССМОТРЕНИИ КВАДРАТНОЙ РЕШЕТКИ ТИПА β –ФПУЦ

Наумова Д.М., Наумов Е.К., Дмитриев С.В.
Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

Цель работы заключается в изучении сталкивающихся движущихся ДБ в квадратной решетке с дальнодействующим потенциалом β -ФПУЦ. (продолжение работы [1]). Задачами же такого исследования являются:

1. Описание различных сценариев столкновения движущихся ДБ. В ходе проведенного исследования рассматривались различные сценарии столкновения движущихся ДБ, испускаемых от двух разных пар колеблющихся атомов, находящихся в одном плотноупакованном ряду решетки на некотором расстоянии друг от друга, а также со смещением колеблющихся пар в соседние атомные ряды.

2. Расчёт максимальной энергии решетки в момент столкновения ДБ, испускаемых двумя парами колеблющихся атомов, находящихся в одном плотноупакованном ряду решетки на некотором расстоянии друг от друга.

Результаты исследования приведены ниже:

Описаны основные сценарии столкновения движущихся ДБ. Исходя из анализа таких сценариев можно заключить, что результатом столкновения движущихся ДБ является образование ДБ новых симметрий, ранее не наблюдавшихся в рассмотренной модели. Проведен расчёт максимальной энергии решетки в момент столкновения ДБ, испускаемых двумя парами колеблющихся атомов, находящихся в одном плотноупакованном ряду решетки на расстоянии 20 межатомных расстояний друг от друга.

Исходя из представленных нами сценариев столкновения, движущихся ДБ и на основе утверждения о том, что ДБ повышают максимальную энергию атомов в системе в зоне их столкновения, заключаем, что в дальнейших работах необходимо провести рассмотрение сценариев столкновения движущихся ДБ от пары колеблющихся атомов на базе модели с дальнодействующим потенциалом Морзе.

Литература

1. Bebikhov Y.V., Naumov E.K., Semenova M.N., Dmitriev S.V. Discrete breathers in a βFPUT square lattice from in-band external driving // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2024. – vol. 132. – p. 107897.

© Наумова Д.М., Наумов Е.К., Дмитриев С.В., 2026

УДК 666.65

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОШКООБРАЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Куйкеев А.Б., Касмамытов Н.К., Кыдыралиев Э.М.
Институт физики им. академика Ж. Жеенбаева Национальной академии наук КР, г. Бишкек, Кыргызстан

В статье представлена математическая обработка СЭМ-изображения порошкообразных компонентов глины «Ак-Сай Тонского района области Иссык-Кульской с использованием программы ImageJ [1,2].

Электронно-микроскопическое изображение было получено на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 в режиме вторичных электронов при ускоряющем напряжении 20,0 кВ и увеличении 3000×.

На рисунке 1. представлены данные гранулометрического состава глины «Ак-Сай», нанесенные на тройную диаграмму "глина-песок-пыль", Точка пересечения этих линий определяет тип глинистой породы [3].

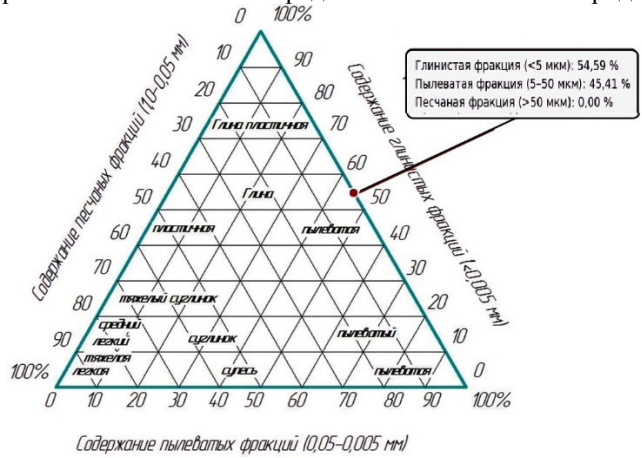


Рис. 1. Тройная диаграмма «глина-песок-пыль»

В таблице 1. Представлены числовые и площадные характеристики размерных классов глины «Ак-Сай»

Таблица 1. Числовые и площадные характеристики размерных классов порошкообразных компонентов глинистого сырья месторождения «Ак-Сай»

Класс, мкм	N, шт.	Доля N, %	Площадь S, мкм²	Доля S, %	Характеристика
<1	25	22,52	15,52	2,34	глинистая
1–2	42	37,84	69,91	10,53	глинистая
2–5	34	30,63	276,95	41,72	глинистая
5–10	10	9,01	301,43	45,41	пылеватая
≥10	0	0,00	0,00	0,00	не выявлено
Итого	111	100,00	663,81	100,00	—

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обработанный в программе ImageJ размеры порошкообразного компонента глины «Ак-Сай» массив включает 111 видимых объектов с суммарной площадью проекций 663,81 мкм². Эквивалентные диаметры находятся в интервале 0,796–8,536 мкм. Результаты показывают, что порошковые компоненты относится к ориентировочной группе - «пылеватых частиц» [3].

Литература

1. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.:Стандартинформ, 2015. 24 с.

2. Schneider C. A., Rasband W. S., Eliceiri K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // Nature Methods. 2012. Vol. 9, No. 7. P. 671–675. DOI: 10.1038/nmeth.2089.

3. Frei M., Kruis F. E. Image-based size analysis of agglomerated and partially sintered particles via convolutional neural networks, Powder Technology (2019), DOI: https:// doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.020.

© Куйкеев А.Б., Касмамытов Н.К., Кыдыралиев Э.М., 2026

УДК 544.6, 543.55

АНОДНОЕ РАСТВОРЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ: ФЛУКТУАЦИОННАЯ ДИНАМИКА И ПЕРЕХОД В НАНОСОСТОЯНИЕ

Султанов Г.Р., Аминева Г.Г., Васенина Н.А.,
Сидельников А.В., Галина Г.К.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В данной работе изучали процесс растворения алюминиевой фольги в солевом растворе под действием постоянного электрического напряжения. Эксперимент длился более трёх часов. С помощью математических методов обработки сигналов проанализировали изменения тока во времени. Анализ показал, что в ходе растворения наблюдаются резкие скачки тока вверх и вниз. Оказалось, что большая часть полезной информации о процессе скрыта в высокочастотных компонентах сигнала. Было выделено множество значимых колебательных частот, которые в основном лежат в определённом диапазоне.

Установлено, что в интервале между 27 и 34 минутами происходят наиболее значительные изменения в характере процесса. Именно в этот период алюминиевый слой на открытой поверхности полностью исчезает, что визуально подтверждает переход в наноразмерное состояние.

Расчёт показал, что скорость растворения значительно выше, чем можно было бы ожидать, исходя из количества прошедшего электричества. Это объясняется тем, что на аноде образуются активные частицы (атомарный хлор и кислород), которые дополнительно окисляют алюминий, не участвуя в электрической цепи.

После 34 минут ток резко падает и становится очень малым, что указывает на завершение активного растворения открытой поверхности. Остаточный ток связан с взаимодействием раствора с остатками алюминия, сохранившимися в клеевой подложке.

Литература

1. Szklarska-Smialowska Z. Pitting corrosion of aluminum // Corrosion Science. 1999. Vol. 41. P. 1743–1767.

2. Nigmatullin, R.R.; Budnikov, H.C.; Sidelnikov, A.V. «Mesoscopic theory of percolation currents associated with quantitative description of VAGs: Confirmation on real data» // Chaos, Solitons and Fractals. 2018. Vol. 106. P. 171–183.

© Султанов Г.Р., Аминева Г.Г., Васенина Н.А., Сидельников А.В., Галина Г.К., 2026

УДК 544.6, 543.55

АНОДНОЕ РАСТВОРЕНИЕ НИКЕЛЕВОЙ ПРОВОЛОКИ: ЧЕТЫРЕ СТАДИИ ПЕРЕХОДА В НАНОСОСТОЯНИЕ

Лебедев К.О.[1], Аминева Г.Г.[1], Васенина Н.А.[1],
Сидельников А.В.[1], Игнатьева Г.А.[2]
[1]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия
[2]МАОУ Лицей № 6, г. Уфа, Россия

Анодное растворение металлов в потенциостатическом режиме является удобной моделью для исследования кинетики перехода электрода в наноразмерное состояние [1]. Ранее метод темпорального анализа был успешно применён для исследования фрактализации стеклоуглеродного электрода [2]. В данной работе этот подход адаптирован для анализа хроноамперограмм анодного растворения никелевой проволоки.

Эксперимент выполнен в потенциостатическом режиме (E ≈ 15 В) в 0.9% NaCl, длительность 283.3 с, частота дискретизации 10 Гц.

На хроноамперограмме выделены четыре стадии: макроскопическое растворение, микро-переход с обвалом тока, наноразмерное состояние с выраженными флуктуациями, остаточный ток через сохранившуюся оксидную трубку. Темпоральный метод главных компонент показал существенный вклад глубоких компонент, отражающий динамику процесса на малых масштабах. Leave-out-one анализ показал, что нано-стадия характеризуется максимальными потерями частот, что подтверждает её особую информационную значимость.

Установлено, что формирование устойчивой оксидной трубки NiO, сохраняющейся после полного растворения металла, является ключевым фактором, определяющим переход от макро- к наноразмерному состоянию и наличие остаточного тока. Метод Leave-out-one эффективно выделяет наиболее информативные участки процесса.

Литература

1. Bard A.J., Faulkner L.R. Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2001. 833 p.

2. Nigmatullin, R.R.; Budnikov, H.C.; Sidelnikov, A.V. «Mesoscopic theory of percolation currents associated with quantitative description of VAGs: Confirmation on real data» // Chaos, Solitons and Fractals. 2018. Vol. 106. P. 171–183.

© Лебедев К.О., Аминева Г.Г., Васенина Н.А., Сидельников А.В., Игнатьева Г.А., 2026

УДК 519.876.5: 544.421.4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДЕСТРУКЦИИ ПАРАФИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Корнилова А.А., Никонова С.И., Гиззатова Э.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В работе предложен подход с применением генетического алгоритма (ГА) [1] к идентификации кинетики процесса деструкции парафина. Для адекватной интерпретации результатов работы разработанного программного комплекса экспериментальные данные были разбиты на три области (зарождение, развитие, угасание) [2]. В качестве базисных функций использовались комбинации моделей диффузии (D), порядковой кинетики (F), автокатализа (C) и топохимии (R) [3].

При аппроксимации экспериментальных данных по потере массы образца достигнута высокая точность совпадения с расчетными результатами ($R^2 \geq 0.976$), что подтверждает устойчивость ГА к случайному шуму. Вычислительная стабильность алгоритма доказывается минимальным разбросом расчетных весов (≤ 0.038) при повторных пусках поиска. Полученные результаты строго согласуются с физико-химической логикой процесса: последовательный переход от кинетики 2-го порядка на первом этапе (вклад 0.929) к автокатализу на втором (0.799) и топохимическому разделу фаз на третьем (0.863). Высокая чувствительность ГА позволила с нулевым разбросом выявить латентные эффекты, а именно трехмерную диффузию в начале реакции и усадку сферы в конце.

Литература

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026616287 РФ. Программный комплекс сегментированного моделирования данных по термической деструкции генетическим алгоритмом: заявл. 03.03.2026: опубл. 05.03.2026 / Э.Р. Гиззатова, С.И. Никонова, А.А. Корнилова; заявитель ФГБОУ ВО «УУНИТ».

2. Кинетические закономерности и многостадийный механизм термической деструкции парафина / А.А. Корнилова, С.И. Никонова, Э.Р. Гиззатова и др. // Вестник Башкирского университета. 2026. Т. 31, № 2. С. 108-113. DOI 10.33184/bulletin-bsu-2026.2.6.

3. Opfermann, J. Kinetic analysis using multivariate non-linear regression. I. Basic concepts // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2000. Vol. 60, No. 2. P. 641-658. DOI 10.1023/A:1010167626551

© Корнилова А.А., Никонова С.И., Гиззатова Э.Р., 2026

УДК 538.911

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СОЕДИНЕНИЯ $Cu_{1.8}Na_{0.2}S$

Батисова А.А., Альмухаметов Р.Ф.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Сульфиды меди представляют большой интерес в качестве материалов для термоэлектрических преобразователей, источников тока, солнечных элементов, оптических устройств и различных датчиков. Их широкое применение в термоэлектрических устройствах ограничено относительно низким КПД. В связи с этим повышение добротности и КПД термоэлектрических преобразователей является актуальной задачей.

Для повышения добротности необходимо увеличить электропроводность, коэффициент термо-э.д.с. и снизить теплопроводность материала. Ряд сульфидов меди показывает высокую ионную проводимость. Мобильные ионы, выступая центрами рассеяния фононов, существенно уменьшают теплопроводность материала. Внедрение одновалентных элементов (лития, натрия, калия) в халькогениды меди способствует формированию пористой текстуры, которая также усиливает рассеяние фононов и ведет к дальнейшему снижению теплопроводности. Сульфиды меди $Cu_{2-\delta}S$, легированные одновалентными элементами остаются малоизученными, что. вероятно, обусловлено сложностями в синтезе однофазных образцов сульфидов.

В данной работе на основе сульфида меди нами синтезировано новое соединение $Cu_{1.8}Na_{0.2}S$ путем частичного замещения катионов меди Cu^+ катионами натрия Na^+. Для определения типа кристаллической решетки и фазового состава рассчитывали отношения

$$\frac{sin^2(\vartheta_i)}{sin^2(\vartheta_1)} \qquad (1)$$

из рентгеновских данных. Здесь ϑ_1 и ϑ_i – углы Вульфа-Брегга, соответствующие первому и i - му максимуму.

При комнатной температуре отношения (1) принимают значения 1, 3.01, 4.01, 7.02, 9.03, 12.03, близкие с теоретическими значениями для гексагональной решетки. Кроме гексагональной фазы при комнатной температуре имеются линии низкотемпературного халькозина Cu_2S. При температуре 200 ^oC отношения (1) принимают ряд значений 1, 1.33, 2.67, 3.67, характерные для ГЦК решетки. Таким образом, в результате математической обработки рентгеновских данных нами установлено, что исследуемое нами соединение при комнатной температуре содержит линии низкотемпературного халькозина Cu_2S и линии гексагональной фазы, а при T=200 ^oC соединение имеет ГЦК структуру.

© Альмухаметов Р.Ф., Батисова А.А., 2026

УДК 538.955, 621.382

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ, ТРАНСПОРТНЫХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ СПЛАВА $FeRhGa_{0.5}As_{0.5}$

Павлухина О.О., Зотов И.С., Соколовский В.В., Бучельников В.Д.
Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Хорошо известно, что сплавы Гейслера являются перспективными для применения в устройствах магнитного охлаждения, спинтроники и т.д., благодаря таким уникальным свойствам, как сверхупругость, большой магнитокалорический эффект и др. [1]. Одним из наиболее перспективных направлений применения сплавов Гейслера является спинтроника, так как ряд сплавов демонстрирует полуметаллическое поведение.

В данной работе с помощью теории функционала плотности, реализованной в программном пакете VASP, выполнены исследования сплава $FeRhGa_{0.5}As_{0.5}$. Исследования проведены в рамках приближения обобщенного градиента (GGA) в формулировке Пердью, Бурка и Эрнзерхофа (Perdew, Burke and Ernzerhof – PBE). Параметры для всех исследованных структур вычислены на 12-атомной суперячейке. Сплавы полу-Гейслера имеют кубическую структуру ($C1_b$) и могут находится в трех возможных конфигурациях – фазы α, β и γ. В данной работе получено, что для сплава $FeRhGa_{0.5}As_{0.5}$ энергетически выгодна γ-фаза. Получено, что для $FeRhGa_{0.5}As_{0.5}$ при 300 К значение решеточной теплопроводности составляет 2,61 Вт/(м×К), что является одним из самых низких значений среди тройных сплавов Гейслера. Сплавы $FeRhGa_{1-x}As_x$ являются перспективными для использования в спинтронике благодаря наличию высоких значений спиновой поляризации и низких значений решеточной теплопроводности.

Работа выполнена при поддержке гранта в виде областной субсидии автономным и бюджетным учреждениям на создание региональных молодежных лабораторий, предусмотренной постановлением Правительства Челябинской области от 20.11.20224 г. № 657-П.

Литература

1. Hongzhi, L., Zhiyong, Z., Li, M. et al. // J. Phys. D: Appl. Phys., 2007, v. 40, № 22, p.7121.

© Павлухина О.О., Зотов И.С., Соколовский В.В., Бучельников В.Д., 2026

УДК 536.45

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ДЛЯ PbS И PbS С ЛИГАНДОМ Cl

Ермилов Н.В.[1], Биккулова Н.Н.[2], Акманова Г.Р.[2], Курбангулов А.Р.[2]
[1]ТДМ-ТЕХ, г. Москва, Россия
[2]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Термоэлектрические материалы, способные осуществлять прямое преобразование тепловой энергии в электрическую, рассматриваются в качестве перспективного направления для решения современных энергетических и экологических проблем [1].

На рисунке 1 приведены результаты моделирование подвижности носителей в массивах квантовых точек PbS с лигандом Cl в диапазоне температур 180-320 К.

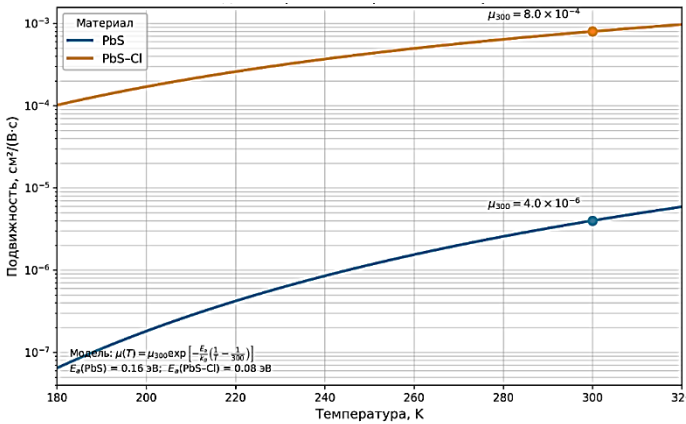


Рис. 1. Результаты расчетов подвижности PbS и PbS с Cl

Сравнение двух систем показывает существенное преимущество PbS–Cl по транспортным характеристикам. При температурах, близких к 300 K, модельная подвижность для PbS–Cl достигает порядка 8×10^{-4} см²/(В·с), тогда как для исходного PbS она составляет порядка 10^{-6} см²/(В·с). Таким образом, хлоридная пассивация может обеспечивать увеличение эффективной подвижности примерно на два порядка.

Литература

1. Gayner, C.; Kar, K. K. Recent Advances in Thermoelectric Materials. Prog. Mater. Sci. 2016, 83, 330−382.

© Ермилов Н.В., Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р., Курбангулов А.Р., 2026

УДК 544.421.032.4

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ АНАЛИЗА КИНЕТИКИ ТВЕРДОФАЗНОЙ РЕАКЦИИ ДИЛЬСА-АЛЬДЕРА

Корнилова А.А., Корнилов Д.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В рамках данного исследования предложен метод идентификации кинетики твердофазного взаимодействия Дильса-Альдера на основе генетического алгоритма (ГА) [1]. Используемый программный комплекс изначально создавался для моделирования деструкции парафина [2], а его работоспособность была подтверждена на примере радикальной полимеризации метилметакрилата [3]. Основная задача настоящей работы состояла в оценке применимости данного ГА к анализу кинетики твердофазных реакций.

При аппроксимации экспериментальных данных по потере массы образца достигнута высокая точность совпадения с расчетными результатами ($R^2 \geq 0.996$). Анализ рассчитанной кинетической матрицы выявил качественное изменение топохимического механизма реакции Дильса-Альдера при нагревании от 22 до 41°C.

Использование генетического алгоритма (ГА) обеспечило точное описание экспериментальных данных и обнаружило ранее скрытую топологическую аномалию в механизме механохимической реакции. Смена режимов реагирования с трех- на двухстадийный при 41°C инициирована микрофазовым переходом. Данный эффект расширяет возможности для контролируемого проведения твердофазного органического синтеза.

Литература

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026616287 РФ. Программный комплекс сегментированного моделирования данных по термической деструкции генетическим алгоритмом: заявл. 03.03.2026: опубл. 05.03.2026 / Э.Р. Гиззатова, С.И. Никонова, А.А. Корнилова; заявитель ФГБОУ ВО «УУНИТ».

2. Кинетические закономерности и многостадийный механизм термической деструкции парафина / А.А. Корнилова, С.И. Никонова, Э.Р. Гиззатова и др. // Вестник Башкирского университета. 2026. Т. 31, № 2. С. 108-113. DOI 10.33184/bulletin-bsu-2026.2.6.

3. Суперпозиция функций отклика и генетическая оптимизация реакций радикальной полимеризации с учетом диффузии / А.А. Корнилова, С.И. Никонова, Э.Р. Гиззатова, С.Л. Подвальный, А.Г. Мустафин, Р.Н. Галиахметов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2026 № 3, с. 15-22.

© Корнилова А.А., Корнилов Д.А., 2026

УДК 544.6, 543.55

ДИАГНОСТИКА СТАДИЙ ЭЛЕКТРОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПОЛИАНИЛИНА МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА

Степанченко Д.А., Васенина А.Р., Мустафин А.Г., Сидельников А.В.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Электрополимеризация анилина — многостадийный процесс, включающий нуклеацию, рост цепей, структурирование и деградацию полимерной плёнки. На циклических вольтамперограммах эти стадии часто перекрываются, что затрудняет их разделение традиционными методами. В работе предложен подход к выделению характерных временных масштабов процесса на основе комбинации метода главных компонент и частотного анализа абсолютных значений счетов главных компонент. Процесс полимеризации исследовали в течение 1000 циклов циклической вольтамперометрии на ITO-электроде в 0.1 M растворе анилина в 0.2 M H_2SO_4. Для количественной оценки вклада отдельных стадий в общую динамику системы разработан метод последовательного исключения временных интервалов (one-leave-out), позволяющий идентифицировать частоты, критически важные для формирования спектрального портрета системы. Показано, что первые три главные компоненты описывают более 98% дисперсии и соответствуют макроскопическому росту плёнки, диффузионным ограничениям и структурным перестройкам. Глубокие компоненты содержат информацию о быстрых процессах: электронных переходах, адсорбционно-десорбционных явлениях и локальных флуктуациях. Идентифицирован набор частотных маркеров, характеризующих активный рост полианилина. Предложенный подход позволяет дифференцировать стадии электрополимеризации и может быть применён к другим электрохимическим системам.

Литература

1. Bhadra S., Khastgir D., Singha N.K., Lee J.H. Progress in preparation, processing and applications of polyaniline. Progress in Polymer Science, 2009, vol. 34, no. 8, pp. 783–810.

2. Ciric-Marjanovic G. Recent advances in polyaniline research: Polymerization mechanisms, structural aspects, properties and applications. Synthetic Metals, 2013, vol. 177, pp.

© Степанченко Д.А., Васенина Н.А., Мустафин А.Г., Сидельников А.В., 2026

УДК 669.018.6

ИЗУЧЕНИЕ ПРОФИЛЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ ЛИНИЙ КОБАЛЬТА

Галиев Д.М., Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Многие практически важные физические свойства металлов и сплавов зависят от размеров блоков и микродеформаций в материале. Варьируя их, можно менять физические свойства. Для определения размеров блоков и микродеформаций широко пользуются методом аппроксимаций, который основан на измерении ширины дифракционных линий путем их аппроксимации определенными функциями. В зависимости от того, какими функциями описываются профили дифракционных линий, зависят соотношения между общим уширением дифракционной линии B, физическим уширением W и инструментальным уширением b. Часто профиль дифракционных линий удается аппроксимировать функцией Лоренца:

$$f(\theta) = (1 + \alpha\theta^2)^{-1}.$$

В ряде работ для аппроксимации используют и квадрат функции Лоренца, либо функцию Гаусса:

$$f(\theta) = e^{-\alpha\theta^2},$$

где θ – угол дифракции, α – постоянный коэффициент.

В данной работе приведены результаты исследований для нанокристаллического кобальта, полученного методом интенсивной пластической деформации [1, 2].

Результаты исследований показали, что профили дифракционных линий удовлетворительно описываются функцией Лоренца. Общее уширение, физическое уширение и инструментальное уширение связаны соотношением: B=W+b. Из результатов исследований следует также что, физическое уширение представляется в виде суммы уширений за счет размеров блоков L и за счет микронапряжений ε в виде:

$$W = \frac{\lambda}{L\cos\theta} + (4\varepsilon \cdot tg\theta).$$

Литература

1. Almukhametov R. Structural studies of plastically deformed cobalt / R. Almukhametov, L. Gabdrakhmanova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. Vol. 447 – P.12081.

2. 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.

© Галиев Д.М., Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф., 2026

УДК 544.6, 543.55

КОМБИНАТОРНЫЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННОГО НОСА

Юмакаев Д. С., Васенина Н.А., Аминева Г.Г., Мансурова В.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Эффективность обработки данных электронного носа существенно зависит от выбора параметров. Однако в литературе отсутствуют систематические исследования совместного влияния длины вольтамперограмм, порога SNR и числа главных компонент на качество распознавания «запаховых отпечатков».

В работе предложен комбинаторный подход к оптимизации параметров обработки данных мобильного электронного носа (ЭН) для задач экологического скрининга. Проведён систематический перебор параметров: длина вольтамперограмм (100–884 точек), порог отношения сигнал/шум (6–20 дБ), число главных компонент (30–100). Оценка качества проводилась по числу выделяемых частотных маркеров и стабильности темпорального индекса кинетической сложности (ТИКС). Показано, что выбор параметров критически влияет на информативность анализа, а комбинаторный подход позволяет обоснованно выбрать оптимальные условия для конкретной задачи. Предложенный метод может быть использован для стандартизации обработки данных ЭН в экологическом мониторинге.

Комбинаторный подход позволяет обоснованно выбирать параметры обработки данных ЭН в зависимости от поставленной задачи.

Литература

1. Кучменко Т.А., Погребная Д.А., Шуба А.А. Применение методов главных компонент и дискриминантного анализа с помощью регрессии на латентные структуры для идентификации легколетучих органических соединений в газовых смесях по параметрам пьезокварцевого микровзвешивания // Журнал аналитической химии. 2013. Т. 68. № 7. С. 1–9.

2. Бударина О.В., Сковронская С.А., Иванова С.В. Международный опыт оценки загрязнения воздуха в районах размещения предприятий, выбросы которых обладают запахом (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 11. С. 1299–1306.

© Юмакаев Д.С., Васенина Н.А., Аминева Г.Г., Мансурова В.Р., 2026

УДК 538.911

ГРАФЕНОВЫЕ НАНОСВИТКИ: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ

Кулакова Е.А.[1,2], Грешняков В.А.[1,2]
[1]Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия
[2]Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, г. Калининград, Россия

Углеродные sp^2-наноструктуры обладают большим разнообразием форм [1], отличаются широким спектром свойств и применяются в батареях, суперконденсаторах и датчиках. Свиткообразные конфигурации имеют большую удельную поверхность и высокую адсорбционную способность, допуская интеркаляцию. Однако причины их образования и структурное описание недостаточно изучены. Поэтому в данной работе при помощи метода молекулярной механики ММ4 была изучена модель углеродного наносвитка, имеющего ядро с топологическими дефектами (рис. 1). В качестве основы углеродного наносвитка может выступать графеновая лента с парами дефектов 5-7, что позволяет задать структуре тенденцию к скрутке. Ядро имеет семь равноудаленных пар дефектов с индексами (5,0), дальнейший рост графеновой ленты не предполагает наличие структурных дефектов. В процессе роста внешней оболочки структуры расчеты показали, что углеродный наносвиток может иметь дефекты только в области ядра и при этом сохранять тенденцию к сворачиванию в спираль (рис. 1).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №25-72-31032).

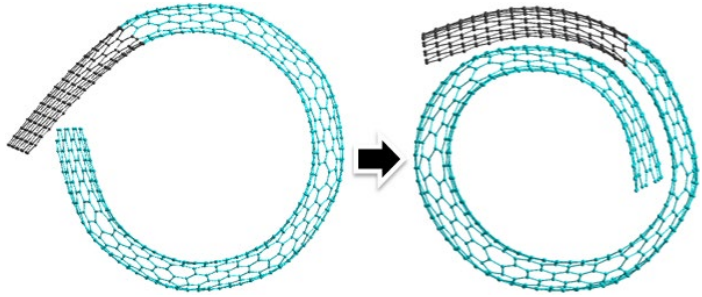


Рис. 1. Структура углеродного наносвитка в процессе роста графеновой ленты (черным цветом выделена бездефектная область)

Литература

1. Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A. // Physics of the Solid State, 2013, v. 55 (8), pp. 1754-1764.

© Кулакова Е.А., Грешняков В.А., 2026

УДК 538.911

КУБИЧЕСКИЕ КАРБИНОИДЫ: СПОСОБЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Павлик В.В.[1,2], Грешняков В.А.[1,2]
[1]Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия
[2]Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, г. Калининград, Россия

Карбиноиды являются графиноподобными углеродными материалами с трехмерной ковалентно-связанной структурой [1]. Наиболее вероятные для формирования кубические карбиноиды имеют высокую пористость и ненулевую запрещенную зону, это указывает на перспективы их применения для фильтрации газов и создания полупроводниковых устройств [2]. Возможности экспериментальной идентификации упорядоченных гипотетических карбиноидных фаз требуют более детального исследования с применением метода дифракции электронов на монокристалле. Построение точечных электронограмм производилось в рамках численного моделирования с применением кубической сетки в обратном пространстве. Анализ электронограмм с осью зоны [001] для 3С-алмаза и кубических карбиноидов α, β, γ-типов показал, что дифракционные картины для исследуемых фаз являются уникальными и значительно различаются даже вблизи первичного пучка (рис. 1). Таким образом, дифракция электронов на монокристаллах 3С-алмаза и кубических карбиноидов является эффективным методом идентификации этих фаз.

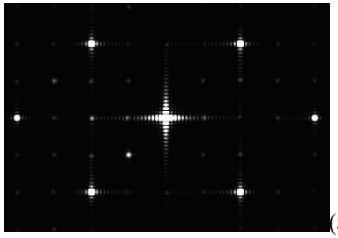
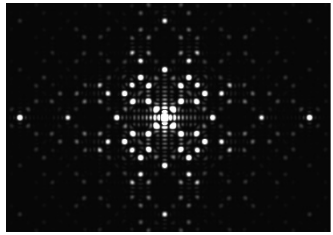

(а)

(б)

Рис. 1. Точечные электронограммы алмаза (а) и α-карбиноида-1 C_{96} (б)

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №25-72-31032).

Литература

1. Greshnyakov, V.A., Pavlik, V.V. // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics, 2026, v. 17(4), pp. 432–441.
2. Грешняков, В.А., Павлик, В.В. // ФТТ, 2026, Т. 68, С. 1197–1207.

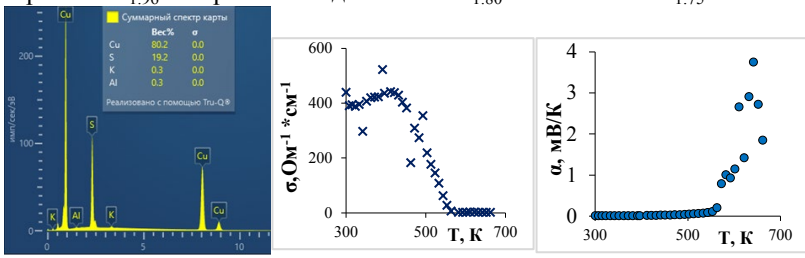
© Павлик В.В., Грешняков В.А., 2026

УДК 544.034

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И ТЕРМО-Э.Д.С. в $K_{0.09}Cu_{1.93}S$

Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Сульфиды меди являются перспективными материалами для термоэлектрических применений [1]. Ранее нами были изучены термоэлектрические свойства $K_xCu_{1.94}S$ и $K_{0.01}Cu_{1.96}S$ [3-4]. В данной работе был получен и исследован микрокомпозитный материал на основе сульфида меди $K_{0.09}Cu_{1.93}S$. При 300 К образец содержит основную фазу джарлеит $Cu_{1.96}S$ с примесями дигенита $Cu_{1.80}S$ и анилита $Cu_{1.75}S$.



а) б) в)

Рис. 1. Энергодисперсионный спектр (а), температурные зависимости проводимости (б) и коэффициента термо-э.д.с. образца $K_{0.09}Cu_{1.93}S$ (в)

Элементный спектральный анализ (рис. 1 а) показал в образце 80.2 вес.% Cu, 19.2 вес.% S. Высокие значения проводимости (рис.1 б) при комнатной температуре вызваны переизбытком (сверх стехиометрии) металла в решетке сульфида меди. При нагреве до 600 К наблюдается фазовый переход к низкопроводящей кубической фазе Cu_2S.

Литература

1. M. Kh. Balapanov, R. Kh. Ishembetov et al. Synthesis and thermoelectric properties of cesium-doped $Cs_xCu_{2-x}S$ (x = 0.04, 0.075, 0.125) copper sulfides. // Vestnik Bashkirskogo Universiteta. 2026. T. 31, №2. P. 120-125.

2. Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х. и др. Температурные зависимости электронного и ионного коэффициента термо-э.д.с. нанокомпозитных сплавов $K_xCu_{1.94}S$ (x=0.01, 0.02, 0.03). // Теор. и экспер. иссл. нелин. процессов в конд. средах. Мат. XI Межрег. конф. Уфа, 2025. С. 40-41.

3. Аккубеков Ш.А. Температурная зависимость электронной проводимости и коэффициента электронной термо-э.д.с. нанокомпозитного сплава $K_{0.01}Cu_{1.96}S$ // Теор. и экспер. иссл. нелин. процессов в конд. средах. Мат. XI Межрег. конф. Мат. X Межрег. школы-конф. Уфа, 2024. С. 48-49.

© Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х., 2026

УДК 544.034

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПОЗИТА $K_{0.09}Cu_{1.93}S$

Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Халькогениды меди являются перспективными термоэлектрическими материалами [1-3]. В данной работе исследована термоэлектрическая эффективность $ZT = \sigma\alpha^2T/k$ композитного материала на основе сульфида меди состава $K_{0.09}Cu_{1.93}S$. Оценка ZT проводилась по измеренным значениям коэффициента Зеебека α, электрической проводимости σ и теплопроводности k материала в интервале температур от 320 до 673 К. Полученные результаты показывают перспективность материала для применения при температурах от 623 до 673 К в термоэлектрических преобразователях. Пик при 653 К обусловлен фазовым переходом.

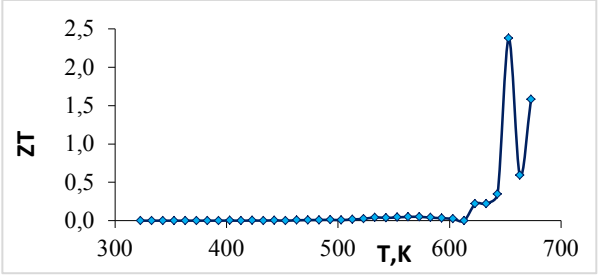


Рис. 1. Температурная зависимость термоэлектрической эффективности ZT нанокомпозитного образца $K_{0.09}Cu_{1.93}S$

Литература

1. Kubenova M.M., Kuterbekov K.A. et al. Investigation of thermoelectric properties of nanocrystalline copper chalcogenides // Bull. Karaganda Univ. Phys. Ser. 2024. № 1 (113). C. 59-65.

2. M. Kh. Balapanov, N. N. Bikkulova, U. Kh. Mukhamedyanov et al. Phase transitions and transport phenomena in $Li_{0.25}Cu_{1.75}Se$ superionic compound. // phys. stat. sol. (b), 2004. V.241, No. 15. P. 3517– 3524.

3. Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х. и др. Температурные зависимости электронного и ионного коэффициента термо-э.д.с. нанокомпозитных сплавов $K_xCu_{1.94}S$ (x=0.01, 0.02, 0.03). // В кн.: Теор. и экспер. исследования нелин. процессов в конденс. средах. Мат. XI Межрег. школы-конф. Уфа, 2025. С. 40-41.

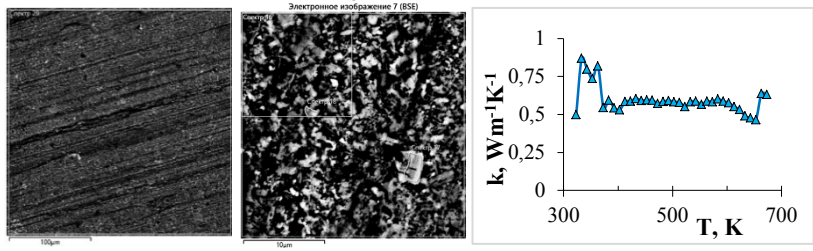
© Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х., 2026

УДК 544.034

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИТА $K_{0.09}Cu_{1.93}S$

Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Халькогениды меди являются перспективными термоэлектрическими материалами [1]. В данной работе были получены и исследованы микрокомпозитные сульфиды меди состава $K_{0.09}Cu_{1.93}S$. Образцы при Т=300 К являются сплавами на базе джарлеита $Cu_{1.96}S$. Для исследование теплопроводности использовался метод эталона с известным коэффициентом теплопроводности (плавленый кварц). Погрешность измерения составляла около 10%.



а) б) в)

Рис. 1. Поверхность спрессованного образца (а), поверхность протравленного образца (б), температурная зависимость теплопроводности $K_{0.09}Cu_{1.93}S$

Электронная микроскопия выявила, что спрессованные поликристаллические образцы содержат зерна различной формы и размеров (рис. 1). Элементный спектральный анализ показал достаточно близкую химическую сходимость с предполагаемым составом.

По данным литературы, для подобных составов характерны сверхнизкие значения полной теплопроводности (в диапазоне от 0,16 до 0,80 Вт/(м·К) на интервале 300–700 К). Эта ключевая особенность объясняется наличием в композите зерен сульфида меди разных фаз и формы. Для $K_{0.09}Cu_{1.93}S$ получено среднее значение теплопроводности 0,6 Вт/(м·К).

Литература

1. Kuterbekov K. A., Balapanov M. Kh., Kubenova M. M., et al. Thermal properties of nanocrystalline copper sulfides KxCu1.85S (0 < x < 0.05) // Letters on Materials. 2022. Vol. 12. No. 3(47). P. 191–196.

© Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х., 2026

СЕКЦИЯ «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

УДК 539.216.2

ОРГАНИЧЕСКИЙ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ФОТОРЕЗИСТОР НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНОВОГО ПОКРЫТИЯ С НАНОЧАСТИЦАМИ ЙОДИДА СЕРЕБРА

Салихов Т.Р., Остальцова А.Д.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Тонкопленочные органические фоторезисторы привлекают пристальное внимание исследователей благодаря простоте и технологической рентабельности методов их получения (центрифугирование, струйная печать, вакуумное напыление), а также возможности интеграции в состав гибких оптоэлектронных устройств и матриц датчиков [1-4]. Ключевой проблемой при создании органических фотоприемников остается достижение высокого коэффициента фоточувствительности и быстродействия. Решением данной задачи может служить использование гибридных наносистем, сочетающих диэлектрические или слабопроводящие свойства полимерной основы с фотоактивными характеристиками неорганических включений. В этой связи перспективным объектом исследования являются тонкие пленки хитозана, модифицированные наночастицами йодида серебра (AgI). Уникальные оптические свойства AgI, включая эффекты поверхностного плазмонного резонанса и высокую квантовую эффективность генерации электрон-дырочных пар под действием видимого и УФ-излучения, позволяют существенно усилить фоторезистивный отклик композита [5-9]. Целью настоящего исследования является разработка и всестороннее характеризование тонкопленочных фоторезисторов на основе хитозан-AgI.

Хитозан прозрачен в широком диапазоне спектра, поэтому солнечный свет доходит до частиц AgI, те поглощают ультрафиолет и часть видимого света — в устройстве появляются носители заряда, и сопротивление меняется. Зеленый свет такие фоторезисторы тоже ловят хорошо (рис. 1 а, в), а на красный заметной фотопроводимости нет. Солнечный имитатор (Newport type 67005) дает УФ, видимый и ИК-диапазоны — и фоторезисторы хитозан–AgI успешно его регистрируют (рис. 1 б, г).

Под чувствительностью имеют в виду отношение фототока к падающей оптической мощности (Popt), так что R можно найти по формуле:

$$R = IphPopt = (Iillum - Idark) / aEopt, \quad (1)$$

У образца получилось R=124 мкА/Вт на фиолетовом и R=84 мкА/Вт на зеленом.

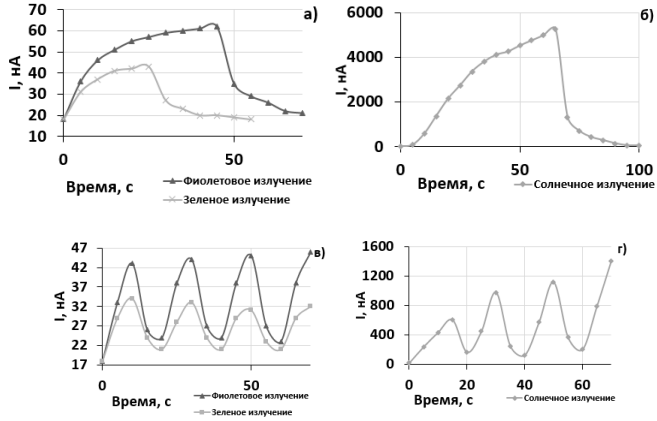


Рис. 1. Максимум тока для образца под фиолетовым, зеленым (а) и солнечным (б) светом, а также кинетика тока от времени для образца под фиолетовым, зеленым (в) и солнечным (г) светом

Литература

1. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Balapanov, M.Kh., Bugybayev, Y.S. // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials, 2024, v. 8(2), pp. 58–70.
2. Байбулова, Г.Ш., Карамов, Д.Д., Галиев, А.Ф., Чеботарева, А.Б., Шапошникова, В.В. // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук, 2026, № 1, С. 19–25.
3. Салихов, Р.Б., Муллагалиев, И.Н., Салихов, Т.Р., Остальцова, А.Д. // Российский химический журнал, 2025, Т. 69, № 3, С. 125–129.
4. Салихов, Р.Б., Базунова, М.В., Салихов, Т.Р., Муллагалиев, И.Н., Сафаргалин, И.Н., Остальцова, А.Д. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2025, Т. 91, № 11, С. 41–48.
5. Салихов, Р.Б., Муллагалиев, И.Н., Салихов, Т.Р., Остальцова, А.Д. // Известия Уфимского научного центра РАН, 2025, № 1, С. 31–38.
6. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Safargalin, I.N., Meshkov, I.K., Gizatulin, A.R. // Optical Technologies for Telecommunications 2024. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, SPIE, 2025, p. 137380S.

7. Базунова, М.В., Салихов, Р.Б., Терегулов, Т.Б., Муллагалиев, И.Н., Салихов, Т.Р., Сафаргалин, И.Н., Остальцова, А.Д. // Журнал прикладной химии, 2024, Т. 97, № 4, С. 347–353.
8. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Mullagaliev, I.N. // Vestnik Bashkirskogo Universiteta, 2024, v. 29(2), pp. 75–79.
9. Salikhov, R., Zilberg, R., Mullagaliev, I., Salikhov, T., Teres, Yu.B., Bulysheva, E., Ostaltsova, A. // Current Nanomedicine, 2025, v. 15(1), pp. 70–79.

© Салихов Т.Р., Остальцова А.Д., 2026

УДК 004.77

ПАССИВНОЕ РАДИОВИДЕНИЕ И МОНИТОРИНГ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ WI-FI CSI

Сафаргалин И.Н., Баджассилона Б.Г.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Технология Wi-Fi CSI (информация о состоянии канала Wi-Fi) представляет собой метод использования беспроводных сигналов Wi-Fi в качестве пассивного сенсора окружающей среды. В отличие от традиционных систем наблюдения, требующих камер или носимых устройств, CSI извлекает информацию о физической среде из стандартных Wi-Fi сигналов, которые уже присутствуют в помещении. В отличие от простого RSSI (индикатор уровня принимаемого сигнала), эта технология содержит богатые многомерные данные о канале [1-4].

Для более адекватного моделирования реальных физических процессов в беспроводных сетях Wi-Fi используется технология OFDM в режиме HT20, делящая канал 20 МГц на 64 узкополосные поднесущие. Во многих публикациях изучается взаимодействие электромагнитного поля — радиоволны — с пространственной неоднородностью среды в виде тела человека, приводящее к изменению мульти-путевого распространения сигнала [5-6].

В нашей работе с помощью микроконтроллера ESP32 получена система временных графиков, качественно описывающая одномерную и многомерную динамику прохождения Wi-Fi сигналов и колебания амплитуды и фазы поднесущих в модели с произвольным числом отражений от стен и мебели, расположенных на произвольном расстоянии друг от друга, в присутствии эффекта многолучевости и доплеровского сдвига.

Когда человек двигается в комнате — он изменяет:

1. Мульти-путевое распространение сигнала (отражения от тела)
2. Амплитуду и фазу поднесущих

3. Временные вариации CSI (Рис.1)
4. Структуру электромагнитного поля комнаты



Рис. 1. Визуализация CSI данных в реальном времени

Эти изменения детектируемы даже через стены, что делает возможным детекцию присутствия без камер и микрофонов. Благодаря широкой полосе пропускания сигналов Wi-Fi и детализации поднесущих OFDM, эта информация особенно ценна для приложений распознавания без использования устройств, таких как распознавание жестов, локализация в помещении и контроль активности человека.

Литература

1. Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, V. K., & Safargalin, I. N. // In Journal of Physics: Conference Series, 2021, v. 2096(1), pp.012109.
2. Xu, K., Wang, J., Zhu, H., & Zheng, D. // ACM Transactions n Sensor Networks, 2025, v.21(2), pp.1-38.
3. Юмалин, Т. Т., Салихов, Р. Б., Абдрахманов, В. Х., Салихов, Т. Р., Важдаев, К. В., & Мунтянова, Т. Д. // Нефтегазовое дело, 2023, v.21(3), pp.232.
4. Song, Y., Jin, T., Dai, Y., Song, Y., & Zhou, X. // Remote Sensing, v.13(2), pp.241.
5. Korany, B., Karanam, C. R., Cai, H., & Mostofi, Y. // In The 25th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2019, pp.1-15.
6. Guarino, I., Carra, D., Cominelli, M., Gringoli, F., & Cigno, R. L. // Computer Communications, 2026, pp.108431.

© Сафаргалин И.Н., Баджассилона Б.Г., 2026

УДК 537.533.35

СКАНИРУЮЩИЙ ТУННЕЛЬНЫЙ МИКРОСКОП КАК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВАХ

Габбасов Б.А., Шарипов Т.И.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Зонд СТМ сканером устанавливается в заданную точку поверхности, после того как на СТМ-изображении поверхности выбирается участок образца. Для получения ВАХ обратная связь на непродолжительное время отключается, а к туннельному промежутку прикладывается линейно изменяющееся напряжение и измеряется ток, протекающий через туннельный барьер [1]. Во время измерения ВАХ на электрод сканера подаётся потенциал, соответствующий его потенциалу непосредственно перед разрывом обратной связи. В каждой выбранной точке выполняется несколько измерений ВАХ. Итоговая характеристика определяется посредством усреднения всех ВАХ, полученных в одной и той же точке. Такое усреднение позволяет значительно уменьшить влияние шумов туннельного промежутка и повысить достоверность получаемых данных. Дальше эти данные можно математически обработать и смоделировать в специализированных приборах.

От энергетического спектра электронов образца зависит характер туннельной ВАХ. Основной вклад в туннельный ток вносят электроны с энергиями, близкими к уровню Ферми. Значение туннельного тока определяется коэффициентом прозрачности барьера, величиной напряжения смещения и плотностью состояний вблизи уровня Ферми.

Туннелирование электронов через барьер между двумя металлами при малых напряжениях смещения характеризуется линейной зависимостью туннельного тока от напряжения. При очень высоких напряжениях форма барьера значительно изменяется, и ток описывается формулой Фаулера-Нордгейма (1): $j = A E^2 \exp(-B \varphi^{3/2} \theta(y))$.

Кроме того, существенный вклад в туннельный ток могут вносить энергетические уровни и поверхностные состояния, связанные с чужеродными атомами и биологическими молекулами [2], адсорбированными на поверхности.

Литература

1. Рыков, С.А., учеб. пособие /СПб., 2022, 75 с.
2. Татлыбаев, Д.Д., Шарипов, Т.И., // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XII Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: Уфимский университет, 2026, С. 174-176.

© Габбасов Б.А., Шарипов Т.И., 2026

УДК 537.86

НАБЛЮДЕНИЕ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ, ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА ЗОЛОТОЙ ПОДЛОЖКЕ

Хадыев Т.Э., Шарипов Т.И.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Одной из ключевых проблем при изучении проводящих свойств ДНК остаётся неоднозначность данных: в зависимости от условий один и тот же объект может проявлять диэлектрические, полупроводниковые или сверхпроводниковые свойства. Для корректной интерпретации электрических измерений необходим предварительный контроль морфологии и распределения молекул, поскольку агрегация и неравномерное осаждение искажают результаты.В работе методом АСМ исследованы синтетические олигонуклеотиды dT_{12} на золотой подложке при концентрациях 4, 2, 1 и 0,5 нг/мкл с целью выявления оптимальных условий равномерного распределения молекул. Измерения выполнены в полуконтактном режиме кантилеверами NSG 10. Для прогнозирования степени покрытия применялось моделирование адсорбции молекул из раствора, а ожидаемые размеры объектов рассчитывали с учётом геометрии кантилевера.

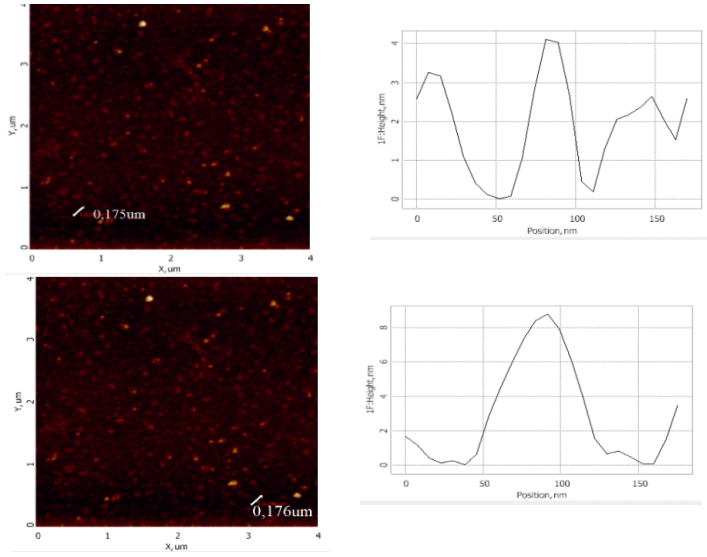


Рис. 1. АСМ-изображение и профили сечений скоплений ДНК при концентрациях 1 нг/мкл

На рисунке 1 представлены АСМ-изображения одного образца, полученные в разных местах подложки. Изображения показали, что во всех концентрациях молекулы склонны к образованию скоплений: высота 2–8 нм, ширина 25–50 нм, что значительно превышает диаметр одиночной ДНК (~2 нм) и свидетельствует о формировании многомолекулярных скоплений. Разброс значений наблюдается даже в пределах одного скана, что подтверждает неоднородность распределения молекул. Столь широкий разброс может быть связан как с неравномерностью адсорбции на золоте, так и с деформацией объектов зондом.

Подобная вариабельность типична для иммобилизованных биополимеров и требует осторожности при работе, поэтому важно опираться на статистически усреднённые характеристики. Качество изображений и степень покрытия зависят от концентрации: наилучшая визуализация с чёткими границами достигается при 1 и 0,5 нг/мкл (рис. 1), тогда как при более высоких концентрациях наблюдается массовая агрегация, затрудняющая выявление отдельных структур.

Таким образом, предложенный концентрационный диапазон и тип подложки позволяют получать информативные АСМ-изображения для сопоставления морфологии с электрофизическими характеристиками олигонуклеотидов.

После получения результатов использовали математическую обработку АСМ-изображений в программе Gwyddion: выравнивание сканов, вычисление шероховатости, построение профилей и статистический анализ распределения молекул по размерам.

Литература

1. Kavit H S Main, James I Provan, Philip J Haynes, Geoffrey Wells, John A Hartley, Alice L B Pyne. Atomic force microscopy — A tool for structural and translational DNA research // APL Bioeng. 5, 031504 (2021).

2 Лиманский А.П. // Атомно -силовая микроскопия: от визуализации молекул днк и белков до измерения силы межмолекулярных взаимодействий // Успехи современной биологии. — 2003. — Т. 123, № 6. — С. 531–542.

3. Полухин Р.В., Шарипов Т.И. Адгезионные свойства биологических поверхностей, исследуемые методом атомно-силовой микроскопии // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XII Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: Уфимский университет, 2026. – С. 193-194.

© Хадыев Т.Э., Шарипов Т.И., 2026

УДК 621.391

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ХАОТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Краилов Д.А., Муллагалиев И.Н.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Одной из задач современных систем радиосвязи является сохранение качества передачи информации при воздействии шума и помех. Для её решения могут применяться хаотические сигналы, характеристики которых зависят от параметров используемого генератора и условий передачи [1,2]. Поэтому представляет интерес адаптивный выбор параметров хаотической системы в зависимости от состояния канала связи.

В работе исследуется адаптивный выбор параметра ρ генератора Лоренца для снижения вероятности битовой ошибки (BER). В качестве критерия сохранения хаотического режима используется положительный максимальный показатель Ляпунова. Для моделирования системы связи применён метод DCSK (Differential Chaos Shift Keying). Канал учитывает аддитивный шум, узкополосную гармоническую помеху и слабую многолучевую составляющую, что позволяет оценить работу системы в условиях неидеального канала [3].

В качестве математической модели генератора использовалась система Лоренца:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} = x(\rho - z) - y \\ \frac{dz}{dt} = xy - \beta z \end{cases}$$

Параметр ρ был выбран в силу того, что его изменение приводит к изменениям динамических характеристик генератора, поэтому в измерениях будем регулировать именно его.

Моделирование было выполнено для значений ρ = 24, 28, 32, 36 и 40 и уровней SNR от -6 до 8 дБ. Для каждого SNR (Signal-to-Noise Ratio) на обучающей последовательности рассчитывался BER для всех значений ρ, после чего выбирался параметр с минимальной ошибкой при условии сохранения хаотического режима. Затем выбранный параметр проверялся на независимой тестовой последовательности. Для каждого SNR расчёт выполнялся три раза с последующим усреднением BER.

Получены следующие средние значения BER для фиксированного и адаптивного выбора параметра соответственно: при -6 дБ - 0,257 и 0,241;

при -2 дБ - 0,169 и 0,145; при 2 дБ - 0,116 и 0,093; при 6 дБ - 0,080 и 0,068; при 8 дБ - 0,074 и 0,049. Снижение BER составило от 6,2 до 34,5 %, максимальный эффект получен при SNR = 8 дБ.

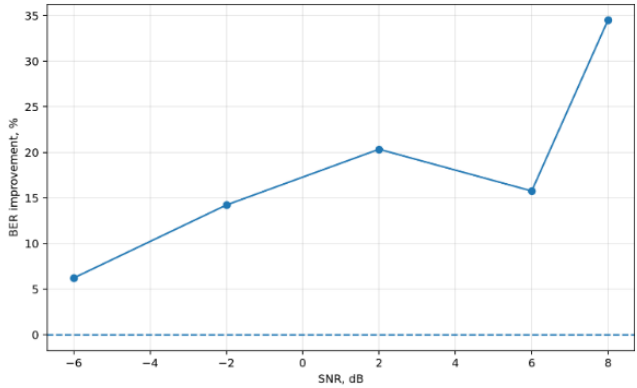


Рис. 1. Улучшение BER при адаптивном выборе параметра ρ

Средняя оценка максимального показателя Ляпунова для исследованных режимов находилась в диапазоне 0,58-0,91, то есть оставалась положительной. Таким образом, снижение BER сопровождалось сохранением хаотического характера генератора. Полученные результаты показывают возможность повышения помехоустойчивости системы за счёт выбора параметра хаотического генератора в зависимости от условий передачи.

При дальнейшем переходе к аппаратной реализации необходимо учитывать свойства электронных материалов и чувствительных элементов. Исследования композитных тонкоплёночных структур показывают возможность управления их электрическими характеристиками за счёт изменения состава и структуры материала [4, 5]. Это может быть учтено при разработке аппаратной части системы.

Литература

1. Baptista, M.S. // Nonlinear Dynamics, 2021, v. 105, pp. 1821–1841.
2. Rybin, V., Babkin, I., Kvitko, D., Karimov, T., Nardo, L., Nepomuceno, E., Butusov, D. // Chaos Theory and Applications, 2023, v. 5(3), pp. 141–152.
3. Lyubchenko, D.O., Isaeva, O.B. // Journal of Communications Technology and Electronics, 2023, v. 68, pp. 1223–1225.
4. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Mullagaliev, I.N. // Bulletin of Bashkir University, 2024, v. 29(2), pp. 75–79.
5. Bazunova, M.V., Salikhov, R.B., Teregulov, T.B., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R., Safargalin, I.N., Ostaltsova, A.D. // Russian Journal of Applied Chemistry, 2024, v. 97(4), pp. 347–353.

© Краилов Д.А., Муллагалиев И.Н., 2026

УДК 537.86

ПЕРВИЧНАЯ КАЛИБРОВКА АСМ И АНАЛИЗ АГРЕГИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ НАТИВНЫХ МОЛЕКУЛ ДНК

Хадыев Т.Э., Шарипов Т.И.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Ключевой проблемой атомно-силовой микроскопии при работе с биополимерами остаётся разделение инструментальных артефактов и реальных морфологических особенностей образца.В работе акцент сделан не только на визуализации молекул ДНК, но и на формировании надёжного порядка измерений, позволяющего отличать одиночные макромолекулы от агрегированных форм. Для этого применялось моделирование ожидаемых профилей сечения одиночной молекулы с учётом радиуса зонда.Калибровка микроскопа проводилась с использованием тестовой решётки TG01 (рис. 1). В процессе настройки выполнено вычисление масштабных коэффициентов XScale и YScale в Nova-Px, поскольку исходные значения по осям не соответствовали паспортному периоду 3±0,05 мкм. Повторное сканирование дало 3,001 мкм по X и 3,003 мкм по Y, что подтверждает точность. Также подобраны Setpoint и Gain для полуконтактного режима. Такое расхождение указывает на то, что микроскоп визуализирует не изолированные молекулы, а плотные агрегаты-пучки, сформированные за счёт межмолекулярных взаимодействий.

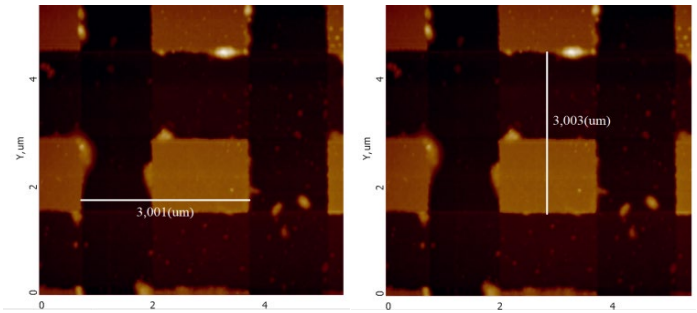


Рис. 1. Калибровочная решетка TG01c периодом 3±0,05 мкм

Объектом выбрана двухцепочечная ДНК Calf thymus DNA type I на слюде. Сканирование выполнено кантилевером NSG 10. На АСМ-изображениях зафиксированы протяжённые волокнистые структуры. Однако профили сечений (рис. 2) демонстрируют высоту 4,0–4,5 нм и

ширину около 60 нм, что на порядок превышает размеры одиночной двухцепочечной ДНК.

Такое расхождение указывает на то, что микроскоп визуализирует не изолированные молекулы, а плотные агрегаты-пучки, сформированные за счёт межмолекулярных взаимодействий.

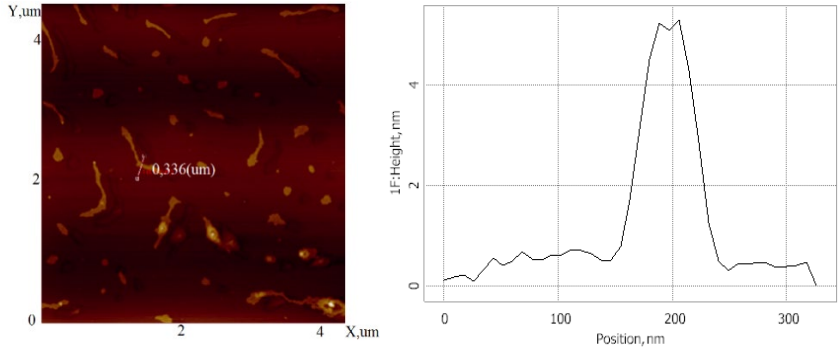


Рис. 2. а) АСМ-изображение молекул ДНК; б) профиль сечения «пучка» молекул

Полученные данные важны для корректной интерпретации АСМ-измерений биополимеров, где геометрические параметры часто ошибочно приписывают единичным молекулам без учёта агрегации. Игнорирование этого фактора ведёт к завышению оценок размеров и неверным выводам о конформации и электрофизических свойствах. Предложенный подход, основанный на совместном анализе высотных и латеральных профилей, позволяет надёжно идентифицировать агрегаты-пучки и повысить достоверность количественных данных.

После получения результатов использовали математическую обработку АСМ-изображений с помощью программы Gwyddion: выравнивание поверхности, вычисление шероховатости, построение профилей сечений и расчёт геометрических характеристик объектов.

Литература

1. Kavit H S Main, James I Provan, Philip J Haynes, Geoffrey Wells, John A Hartley, Alice L B Pyne. Atomic force microscopy — A tool for structural and translational DNA research // APL Bioeng. 5, 031504 (2021)

2. Шарипов Т.И. Гомоолигонуклеотиды как нанопровода. // 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 – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024 – с. 73.

© Хадыев Т.Э., Шарипов Т.И., 2026

УДК 004.3, 004.4

ОЦЕНКА ГРАФИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ: КРИТЕРИИ ВЫБОРА И СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Маслак С.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Встраиваемые системы находят широкое применение в различных отраслях: от бытовой техники и умных домов до авиакосмической промышленности, и медицинского оборудования. Основой таких систем выступают микроконтроллеры, представляющие собой автономные системы на кристалле, содержащие память, интерфейсы передачи данных и периферийные модули[1]. Разработка графических пользовательских интерфейсов (GUI) для подобных устройств сопровождается жесткими ограничениями по объему памяти и вычислительной мощности, что требует использования специализированных библиотек.

В работе проводится сравнительный анализ двух популярных библиотек с открытым исходным кодом — LittlevGL и µGFX — применяемые к задачам создания интерфейсов для микроконтроллеров. Также подробно рассмотрена одна из библиотек: LittlevGL. Система демонстрирует высокую производительность при отрисовке сложных графических интерфейсов, включая кастомные элементы управления. Реализована нативная поддержка аппаратных прерываний, сенсорного ввода и прямого управления фреймбуфером. Были проведены экспериментальные исследования по оценке потребления оперативной память, времени отрисовки кадра и сложности интеграции для обеих библиотек на платформе STM32F407. Результаты показали, что LittlevGL обеспечивает более широкий набор графических элементов и визуальных эффектов, однако требует на 25-30% больше оперативной памяти по сравнению с µGFX. При этом µGFX демонстрирует меньшую нагрузку на процессор в сценариях с простой графикой, что делает его предпочтительным для сверхресурсоограниченных систем. На останове полученных данных сформулированы рекомендации по выбору библиотек в зависимости от требований конкретного проекта, что подтверждает практическую значимость исследования для разработчиков встраиваемых систем IoT-устройств.

Литература

1. Petrov A. A., Kolmanovich A. S. //Scientific Research, 2018, v. 5(24), pp. 35–36.

© Маслак С.А., 2026

УДК 629.38

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ

Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Хотя системы помощи водителю, в том числе системы контроля полосы движения, призваны уменьшить количество ДТП, вызванных человеческим фактором, их возможности небезграничны. Для роста их эффективности необходимо продолжать работу над их усовершенствованием. Цель исследования — создать систему контроля полосы движения автомобиля, которая позволит повысить безопасность дорожного движения. В рамках данной работы была спроектирована экспериментальная система управления, построенная на трёх инфракрасных датчиках. Два датчика, отслеживают положение автомобиля относительно линий разметки и подают сигналы на электродвигатель руля. Управление реализовано через непрерывное включение двигателя при обнаружении линии с соответствующей стороны, что даёт возможность корректировать траекторию в режиме реального времени. Центральный датчик инициирует срабатывание тормозной системы при отклонении от заданного положения (рис. 1).

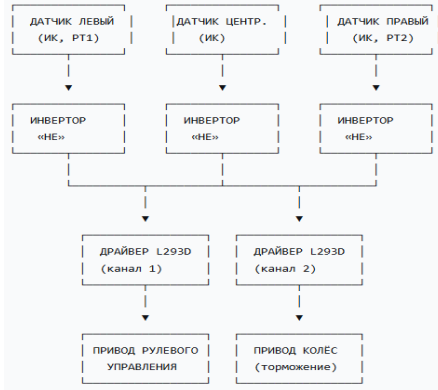


Рис. 1. Схема подключения датчиков и системы управления

Литература

1. Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И. Проектирование системы автоматического корректирования положения автомобиля на полосе // Проблемы современного физического образования: материалы VIII Всероссийской научно-методической конференции / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2025. – С. 175.

© Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И., 2026

УДК 004.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛОКЧЕЙН-СИСТЕМ В СЕТЯХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ: МЕТОДЫ И ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК

Золотых Я.В.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Сегодня «Интернет вещей» — это уже не просто набор «умных» лампочек и датчиков, а огромные распределенные сети, где тысячи устройств постоянно обмениваются данными. Также системы все чаще применяются в умных городах, промышленности и медицине. Но чем больше устройств и чем больше информации они передают, тем отчетливее проявляются слабые места привычных централизованных решений: их легко атаковать, центральные узлы не справляются с нагрузкой, а прозрачность и отслеживаемость операций оставляет желать лучшего. К тому же данным нужно обрабатываться мгновенно, а сеть должна выдерживать отказы отдельных элементов [1].

В работе разобраны основные архитектуры сетей Интернета вещей — от классической централизованной до децентрализованной, гибридной, одноранговой и блокчейн-ориентированной. Для каждого отмечены свои плюсы и минусы. Отдельно проанализировано, что дает интеграция блокчейна: децентрализация, защита от несанкционированных изменений и надежная криптография способны заметно повысить безопасность и прозрачность таких сетей. Однако на практике все упирается в ограничения самих IoT-устройств: слабая вычислительная мощность, большие объемы данных, которые нужно обрабатывать мгновенно и критичная важность задержек. В работе рассмотрена пятиуровневая архитектура IoT с блокчейном и два способа подключения устройств к блокчейн-сети — напрямую в качества «легких» или через прокси-сервер, который кэширует данные и разгружают сеть. Также затронуты основные подходы к моделированию таких систем — аналитический, дискретно-событийный и агентный, — позволяют оценить их вероятностно-временные характеристики [1]. Вывод простой: будущее за гибридными решениями, где блокчейн сочетается с граничными и оптимизированными протоколами консенсуса.

Литература

1. Slyadnikov P. E., Tutova N. V., Erokhin A. G. // Century of Quality, 2025, century. 2, pp. 313-328.

© Золотых Я.В., 2026

УДК 539.216.2

ХИТОЗАН-СОДЕРЖАЩИЕ ПОКРЫТИЯ С НАНОЧАСТИЦАМИ ЙОДИДА СЕРЕБРА КАК ОСНОВА ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ФОТОРЕЗИСТА

Салихов Т.Р., Чебаева Т.В.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Формирование гибридных органическо-неорганических гетероструктур на наноуровне является одним из наиболее фундаментальных и эффективных подходов к управлению физико-химическими и транспортными свойствами полимерных материалов. Тонкие пленки на основе биополимеров, в частности хитозана, представляют собой удобную модель для изучения механизмов межфазного взаимодействия и переноса заряда в композитных системах. Инкорпорация неорганических наночастиц йодида серебра (AgI) в структуру хитозановой матрицы приводит к возникновению синергетического эффекта, обусловленного высокой плотностью границ раздела фаз и спецификой энергетических зон на границе «полимер–наночастица». Наночастицы AgI выступают в роли центров генерации и ловушек для неравновесных носителей заряда, что критически важно для работы фоторезистивных структур. В данной работе представлены результаты комплексного исследования тонкопленочных фоторезисторов на основе нанокомпозитов хитозан/AgI [1-4].

В итоговой пленке компоненты взяты в массовом соотношении 99,6:0,4. На основе образца пленки изготовлен фоторезистор, представлен на рис.1. Алюминиевые электроды наносили на материалы в вакуумной установке УВП-250, зазор при этом был меньше 50 мкм.

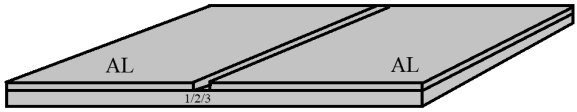


Рис. 1. Структура органического тонкопленочного фоторезистора

Хитозан прозрачен в широком диапазоне спектра, поэтому солнечный свет беспрепятственно доходит до частиц AgI, которые поглощают УФ и часть видимого света. В результате генерируются носители заряда и меняется сопротивление устройства. Зеленый свет фоторезисторы на основе хитозана и AgI тоже регистрируют эффективно (рис. 2 а, в), а вот при красном заметной фотопроводимости не наблюдается. Солнечное излучение от имитатора (Newport type 67005) охватывает УФ, видимую и ИК-области — и такие фоторезисторы успешно его регистрируют (рис. 2 б,г).

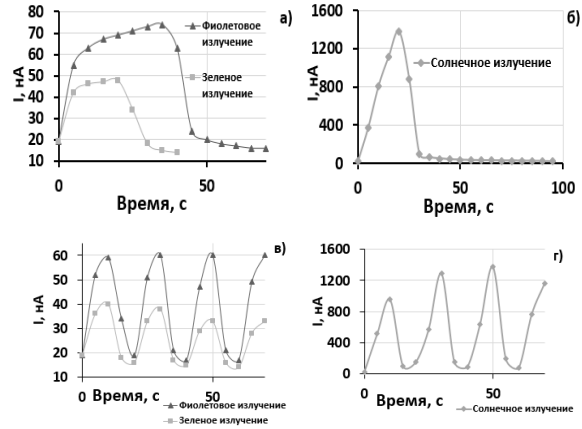


Рис. 2. Максимум тока для образца под фиолетовым, зеленым (а) и солнечным (б) светом, а также кинетика тока от времени для образца под фиолетовым, зеленым (в) и солнечным (г) светом

Чувствительность определяем как отношение фототока к падающей оптической мощности (P_{opt}), и тогда R вычисляется так:

$$R = IphPopt = (Iillum - Idark) / aEopt, \quad (1)$$

Для образца получилось: на фиолетовом — 148 мкА/Вт, на зеленом — 100 мкА/Вт.

Литература

1. Байбулова, Г.Ш., Карамов, Д.Д., Галиев, А.Ф., Чеботарева, А.Б., Шапошникова, В.В. // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук, 2026, № 1, С. 19–25.

2. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Balapanov, M.Kh., Bugybayev, Y.S. // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials, 2024, v. 8(2), pp. 58–70.

3. Салихов, Р.Б., Базунова, М.В., Салихов, Т.Р., Муллагалиев, И.Н., Сафаргалин, И.Н., Остальцова, А.Д. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2025, Т. 91, № 11, С. 41–48.

4. Салихов, Р.Б., Муллагалиев, И.Н., Салихов, Т.Р., Остальцова, А.Д. // Российский химический журнал, 2025, Т. 69, № 3, С. 125–129.

© Салихов Т.Р., Чебаева Т.В., 2026

УДК 539.216.2

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ОРГАНИЧЕСКИЙ ФОТОРЕЗИСТОР НА ХИТОЗАНОВОМ ПОКРЫТИИ С ДОБАВКОЙ НАНОЧАСТИЦ ЙОДИДА СЕРЕБРА

Салихов Т.Р., Остальцова А.Д.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Актуальной задачей современного материаловедения и наноинженерии является поиск и разработка новых фоточувствительных материалов, способных составить альтернативу дорогостоящим и токсичным традиционным неорганическим полупроводникам (таким как CdS, PbS и др.). Природные полимеры, и в первую очередь хитозан, рассматриваются как идеальная база для создания дешевых и экологичных тонкопленочных устройств.

Тем не менее, широкому внедрению хитозана в оптоэлектронику препятствует его низкая фотопроводимость. Целенаправленное легирование хитозановых пленок наноразмерными объектами позволяет радикально изменить их электрические и оптические свойства.

Наночастицы йодида серебра (AgI) обладают высокой фоточувствительностью, ионной проводимостью и способностью образовывать устойчивые координационные связи с функциональными группами полимера (амино- и гидроксильными), что обеспечивает равномерное распределение нанонаполнителя в объеме пленки [1-4].

В работе исследуются закономерности формирования тонкопленочных органических фоторезисторов на основе системы «хитозан – наночастицы AgI».

На основе вышеупомянутой системы изготовлен фоторезистор, который представлен на рис. 1.



Рис. 1. Структура органического тонкопленочного фоторезистора

Электроды из алюминия делали в вакуумной установке УВП-250 — зазор составлял менее 50 мкм [5-11].

Под чувствительностью понимают отношение сгенерированного фототока к падающей оптической мощности (Popt), R можно найти по формуле:

$$R = IphPopt = (Iillum - Idark) / aEopt, \quad (1)$$

Образец показал такие значения: 148 мкА/Вт на фиолетовом и 100 мкА/Вт на зеленом.

Литература

1. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Balapanov, M.Kh., Bugybayev, Y.S. // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials, 2024, v. 8(2), pp. 58–70.
2. Салихов, Р.Б., Базунова, М.В., Салихов, Т.Р., Муллагалиев, И.Н., Сафаргалин, И.Н., Остальцова, А.Д. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2025, Т. 91, № 11, С. 41–48.
3. Салихов, Р.Б., Муллагалиев, И.Н., Салихов, Т.Р., Остальцова, А.Д. // Российский химический журнал, 2025, Т. 69, № 3, С. 125–129.
4. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R. // International Conference Functional Materials ICFM-2023, Crimea, Foros, 2023, p. 127.
5. Салихов, Р.Б., Муллагалиев, И.Н., Салихов, Т.Р., Остальцова, А.Д. // Известия Уфимского научного центра РАН, 2025, № 1, С. 31–38.
6. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Safargalin, I.N., Meshkov, I.K., Gizatulin, A.R. // Optical Technologies for Telecommunications 2024. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, SPIE, 2025, p. 137380S.
7. Байбулова, Г.Ш., Карамов, Д.Д., Галиев, А.Ф., Чеботарева, А.Б., Шапошникова, В.В. // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук, 2026, № 1, С. 19–25.
8. Базунова, М.В., Салихов, Р.Б., Терегулов, Т.Б., Муллагалиев, И.Н., Салихов, Т.Р., Сафаргалин, И.Н., Остальцова, А.Д. // Журнал прикладной химии, 2024, Т. 97, № 4, С. 347–353.
9. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Mullagaliev, I.N. // Vestnik Bashkirskogo Universiteta, 2024, v. 29(2), pp. 75–79.
10. Salikhov, R., Zilberg, R., Mullagaliev, I., Salikhov, T., Teres, Yu.B., Bulysheva, E., Ostaltsova, A. // Current Nanomedicine, 2025, v. 15(1), pp. 70–79.
11. Salikhov, R.B., Gaskarova, A.A., Salikhov, T.R., Ostaltsova, A.D., Yumalin, T.T. // Chemistry Proceedings, 2023, v. 14(1), p. 15.

© Салихов Т.Р., Остальцова А.Д., 2026

УДК 539.216.2

ОРГАНИЧЕСКИЙ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ФОТОРЕЗИСТОР НА БАЗЕ ХИТОЗАНА С НАНОЧАСТИЦАМИ AGI

Салихов Т.Р., Сафаргалин И.Н., Остальцова А.Д.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Перспективным направлением развития современной микроэлектроники и сенсорных систем является переход от традиционных неорганических полупроводников к органическим и биодеградируемым материалам. Данный тренд обусловлен необходимостью создания экологически безопасных, гибких и биосовместимых устройств. В качестве базовой полимерной матрицы для таких систем особый интерес представляет хитозан — природный полисахарид, обладающий выдающимися пленкообразующими свойствами, химической стабильностью и нетоксичностью. Однако использование чистого хитозана в качестве активной среды фоторезисторов ограничено его низкой собственной фоточувствительностью и электропроводностью. Эффективным путем модификации электрофизических характеристик подобных систем является формирование органическо-неорганических нанокомпозитов. Внедрение в полимерную матрицу наночастиц йодида серебра (AgI), обладающих выраженными полупроводниковыми и фотокаталитическими свойствами, позволяет целенаправленно изменять оптоэлектронный отклик материала [1-6].

В итоговой пленке массовое соотношение компонентов — 99,2:0,8. На основе пленки изготовили фоторезистор (рис. 1). Электроды из алюминия делали в вакуумной установке УВП-250 — зазор вышел менее 50 мкм.

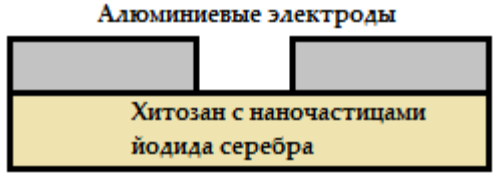


Рис.1 . Структура органического тонкопленочного фоторезистора

Реакция на зеленый свет представлена на рисунке 2 а, в, на красный заметной фотопроводимости нет. Солнечный имитатор (Newport type 67005) дает УФ, видимый и ИК-диапазоны, и фоторезистор хитозан–AgI зарегистрировал отклик на рисунке 2 б, г.

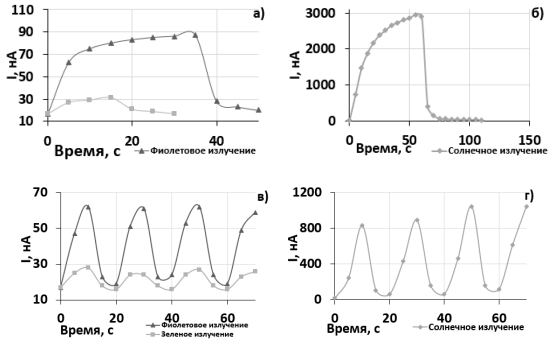


Рис. 2. Максимум тока для образца под фиолетовым, зеленым (а) и солнечным (б) светом, а также кинетика тока от времени для образца под фиолетовым, зеленым (в) и солнечным (г) светом

Под чувствительностью понимают отношение сгенерированного фототока к падающей оптической мощности (Popt), так что R можно найти по формуле:

$$R = IphPopt = (Iillum - Idark) / aEopt, \quad (1)$$

Образец показал такие значения: 180 мкА/Вт на фиолетовом и 60 мкА/Вт на зеленом.

Литература

1. Базунова, М.В., Салихов, Р.Б., Терегулов, Т.Б., Муллагалиев, И.Н., Салихов, Т.Р., Сафаргалин, И.Н., Остальцова, А.Д. // Журнал прикладной химии, 2024, Т. 97, № 4, С. 347–353.

2. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Mullagaliev, I.N. // Vestnik Bashkirskogo Universiteta, 2024, v. 29(2), pp. 75–79.

3. Salikhov, R., Zilberg, R., Mullagaliev, I., Salikhov, T., Teres, Yu.B., Bulysheva, E., Ostaltsova, A. // Current Nanomedicine, 2025, v. 15(1), pp. 70–79.

4. Байбулова, Г.Ш., Карамов, Д.Д., Галиев, А.Ф., Чеботарева, А.Б., Шапошникова, В.В. // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук, 2026, № 1, С. 19–25.

5. Salikhov, R.B., Gaskarova, A.A., Salikhov, T.R., Ostaltsova, A.D., Yumalin, T.T. // Chemistry Proceedings, 2023, v. 14(1), p. 15.

6. Салихов, Р.Б., Муллагалиев, И.Н., Остальцова, А.Д., Важдаев, К.В. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле, 2024, № 4, С. 12–24.

© Салихов Т.Р., Сафаргалин И.Н., Остальцова А.Д., 2026

УДК 629.78.05:621.396.6

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Амакасов А.А., Муллагалиев И.Н.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Космические аппараты эксплуатируются в условиях воздействия ионизирующего излучения Солнца, заряженных частиц радиационных поясов Земли и космических лучей. Эти факторы создают шумы, помехи и сбои в работе электронной аппаратуры, в частности, устройств памяти и хранения [1]. К таким проблемам относятся одиночные радиационные эффекты: сбоям в цифровых узлах и одиночным переходным импульсам. Пути решения данной проблемы нужно искать не только в использовании радиационно-стойкой элементной базе, но и в обеспечении отказоустойчивости на уровне архитектуры и в применении органических веществ для электроники [2].

Интенсивность сбоев оценивается через сечение взаимодействия, аппроксимируемое зависимостью Вейбулла от ЛПЭ, и интегрируется по орбитальному спектру частиц (1) [3]:

$$\lambda = \int \varphi(L) \cdot \sigma(L)\, dL \quad (1)$$

Для критичных узлов предложено сочетание тройного модульного резервирования (TMP) с мажоритарным голосованием и информационного резервирования (коды Хэмминга/EDAC) [4]. Вероятность безотказной работы TMP-модуля (2):

$$P_{\text{TMP}}(t) = 3P^2(t) - 2P^3(t) \quad (2)$$

где P(t) = exp(−λt) - вероятность безотказной работы одиночного канала.

При решении уравнения 2 замечено, что при $\lambda t \ll 1$ TMP повышает надёжность по сравнению с одиночным каналом.

Литература

1. Schmitt H., McWatters T., Hoyt E. // Upland, IN: Taylor University, 2025, pp. 8.

2. Salikhov R. B., Mullagaliev I. N., Salikhov T. R. // International Conference Functional Materials ICFM-2023, 2023, pp. 148.

3. Yacoub M. D. //IEEE communications letters, 2006, v. 10, №. 8, pp. 614-616.

4. Kucera P. On Analogue TMR System // International Journal of Organizational and Collective Intelligence (IJOCI), 2012, v. 3, №. 4, pp. 1-18.

© Амакасов А.А., Муллагалиев И.Н., 2026

УДК 621.383.53, 539.216.2

АППРОКСИМАЦИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНОЙ ФУЛЛЕРЕНА

Мичник В.С., Миннеахметов Д.И., Муллагалиев И.Н.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Фуллерены, выступающие в качестве n-легирующих примесей, активно применяются в органических полевых транзисторах (ОФЭТ) [1, 2]. Аппроксимация передаточных характеристик помогает нам выявить механизмы переноса заряда, оптимизировать процесс разработки и упростить анализ. Формула (1) для расчёта тока стока[3]:

$$I_D = I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2 \quad (1),$$

где: I_D – ток стока; I_{DS} – ток стока при нулевом напряжении затвор-исток; U_{GS} – напряжение затвор-исток; U_P – напряжение отсечки.

В данной работе аппроксимированы вольт-амперные характеристики (ВАХ) изготовленных транзисторов.

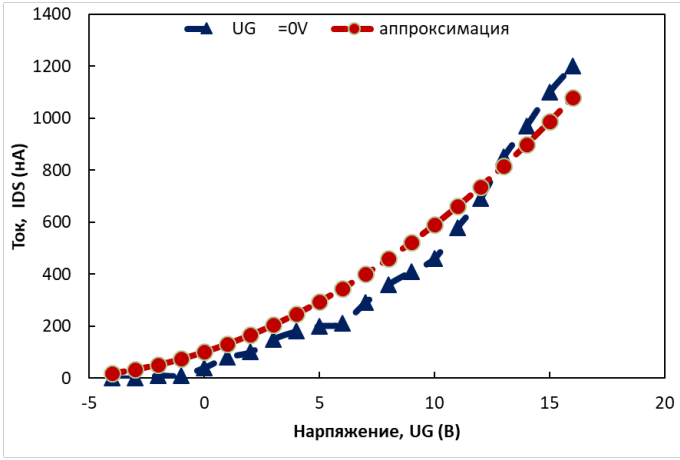


Рис. 1. График ВАХ ОФЭТ с аппроксимацией

Аппроксимация позволяет заменить дискретные экспериментальные точки гладкой аналитической функцией, что даёт возможность непрерывно вычислять ток стока при любых напряжениях, находить малосигнальные параметры (крутизну, выходную проводимость).

Литература

1. Y. Zhang, I. Murtaza and H. Meng, J. // Mater. Chem., 2018, v. 6, pp. 3514-3537.
2. Khuzin A. A., Tuktarov, A. R., Venidiktova, O. V., Barachevsky, V. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., Dzhemilev, U. M. // Photochem. and Photob., 2022 v. 98, pp. 815-822.
3. De Graaff H. C., Klaassen F. M. // Springer Science & Business Media, 2012, p. 351.

© Мичник В.С., Миннеахметов Д.И., Муллагалиев И.Н., 2026

УДК 539.23

ОРГАНИЧЕСКИЕ ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ БЛИЖНЕГО УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИАНИЛИНА

Салихов Т.Р., Баджассилона Б.Г.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Разработка тонкопленочных органических полупроводников для детектирования ближнего ультрафиолетового излучения обусловлена необходимостью создания гибких и экономичных сенсорных систем. Производные полианилинов, в частности полиметилбутениланилин (PMBA), сочетают высокую растворимость со стабильностью электрофизических параметров.

Формирование пленок PMBA методом химической окислительной полимеризации в средах H_2SO_4, HNO_3, $HClO_4$ при использовании окислителей $(NH_4)_2S_2O_8$ и $FeCl_3$ позволяет направленно управлять кинетикой переноса заряда. Многослойные структуры типа Glass/ITO/PMBA/Al создавались путем нанесения активного слоя методом центрифугирования с последующим отжигом при 110 °C. Контактная пара обеспечивалась прозрачным слоем $In_2O_3{:}Sn$ и термически напыленным алюминиевым электродом [1-3].

Выбор планарной геометрии Glass/ITO/PMBA/Al обусловлен необходимостью обеспечения высокой прозрачности входного окна (ITO) в ближнем УФ-диапазоне при сохранении низкого последовательного сопротивления структуры. Толщина активного слоя полимера, варьируемая скоростью вращения центрифуги, составляет порядка 100–120 нм, что является оптимальным для полного поглощения падающих квантов при минимизации пути дрейфа неосновных носителей заряда.

Термическое напыление алюминиевого контакта при остаточном давлении 10^{-5} Торр позволяет сформировать стабильный энергетический

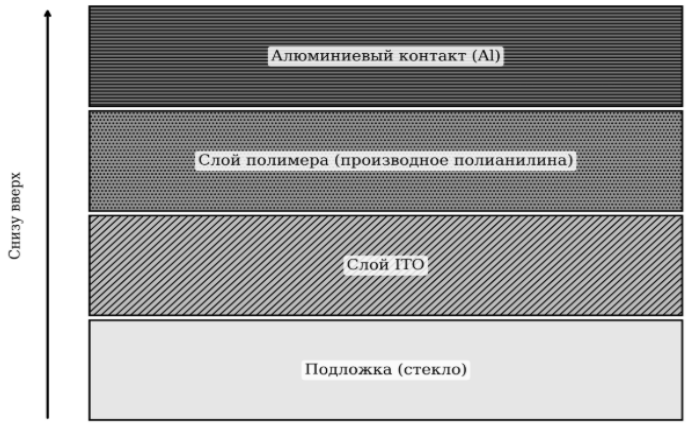


Рис. 1. Структура фоторезистора с тонкой плёнкой производного полианилина

барьер на границе с органическим слоем, минимизируя тепловую деградацию макромолекул в процессе напыления. Равномерность распределения электрического поля в такой структуре критически зависит от гомогенности пленки, достигаемой за счет оптимизации режимов отжига [4,5].

Литература

1. Salikhov, R. B., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Safargalin, I. N., Meshkov, I. K., & Gizatulin, A. R. // In Optical Technologies for Telecommunications 2024, 2025, v. 13738, pp. 208-211.

2. Salikhov R.B., Bazunova M.V., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N., Safargalin I.N., Ostaltsova A.D. // Industrial Laboratory, Materials Diagnostics, 2025, v. 91(11), pp. 41-48.

3. R.B. Salikhov, A.D. Ostaltsova, T.R. Salikhov. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physical Series, 2025, v. 89(3), pp. 408-413.

4. Salikhov, R. B., Ostaltsova, A. D., & Salikhov, T. R.// Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2025, v. 89(3), pp. 386-390.

5. Salikhov, R. B., Yumalin, T. T., Salikhov, T. R., & Mullagaliev, I. N. // In Optical Technologies for Telecommunications 2024, 2025, v.13738, pp. 212-216.

© Салихов Т.Р., Баджассилона Б.Г., 2026

УДК 539.23

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ НАПЫЛЯЕМЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ

Муллагалиев И.Н., Цейзер О.Е.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Полимерная электроника – это современное междисциплинарное направление науки и технологии, связанное созданием новых электронных устройств, базовыми элементами которых являются органические тонкопленочные элементы [1]. К числу наиболее часто изучаемых координационных полимеров в сенсорных и экологических приложениях относятся полианилин (PANI), полипиррол (PPy), политиофен (PTH) и полииндол (PIn) [2]. Преимуществами органической электроники являются дешевизна, легкость и гибкость полученных материалов, легкость производства и относительно легкое получение полимеров с определенными свойствами [3]. Одной из проблем получения пленок с заданными характеристиками является контроль толщины напыленной пленки.

В моем исследовании напылялись образцы полипиррола. Данные образцы напылялись, в универсальном вакуумном посте-250 (УВП-250), термическим нагревом с помощью ячейки Кнудсена, внутри которой был порошок полимера. Нагревали 13 минут.

Теоретическую толщину полученных пленок d рассчитывали по формуле 1, она составила 200 нм. Однако экспериментальные данные показали толщину 300 нм, измеренные с помощью сканирующего зондового микроскопа. Полученное различие связано с отсутствием заслонки, из-за чего напылилось больше материала.

$$d = \frac{It}{\rho S}, \quad (1)$$

где I – интенсивность потока; t- время открытия источника в с; ρ – плотность материала пленки; S- площадь подложки, на которую падает поток.

Литература

1. И. Н. Сафаргалин, Т. Р. Салихов, И. Н. Муллагалиев, Р. Б. Салихов // Физика твердого тела: Материалы XIII Международной научной конференции, 2016, С. 235-237.

2. Thadathil, A., Pradeep, H., Joshy, D., Ismail, Y. A., Periyat, P.// Materials Advances, 2022, v. 3(7), pp. 2990-3022.

3. Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., Badretdinov, B. R., Ostaltsova, A. D., Sadykov, T. T., Mustafin, A. G. // Letters on materials, 2022, v. 12(4), pp. 309-315.

© Муллагалиев И.Н., Цейзер О.Е., 2026

УДК 539.216.2

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И НАНОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕНКИ СОПОЛИМЕРА АНИЛИНА И ОРТО-АМИНОФЕНОЛА МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ В РЕЖИМЕ PEAKFORCE QNM

Миннеахметов Д.И., Остальцова А.Д.,
Муллагалиев И.Н., Сафаргалин И.Н.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Электропроводящие полимеры на основе полианилина (ПАНИ) и его сополимеров представляют особый интерес для современных исследований в области материаловедения благодаря уникальному сочетанию электропроводности, химической стойкости и относительной простоты синтеза [1]. Введение орто-аминофенола (ОАФ) в полимерную цепь в процессе сополимеризации с анилином (при соотношении10:1) позволяет существенно модифицировать морфологическую структуру и электрохимические характеристики получаемых материалов [2,3].

Исследования проводились на сканирующем зондовом микроскопе NT-MDT NTEGRA II в режиме PeakForce QNM. В качестве зонда использовался кантилевер NSG01/AI/AM (NT-MDT) – кремниевый зонд с алюминиевым отражающим покрытием, номинальной жесткостью 5–11 Н/м и резонансной частотой ~150 кГц. Такой выбор обеспечил надежность при работе с мягкими полимерными пленками: достаточная жесткость гарантирует стабильность, а высокая чувствительность позволяет точно измерять силу адгезии и деформацию материала.

Анализ поверхности (рис.1) выявило характерную глобулярную морфологию пленки сополимера. Поверхность образована плотно упакованными агрегатами с характерным размером 200–500 нм. Такая морфология типична для плёнок, полученных методом вакуумного напыления. Возвышения высотой 150-200 нм формируют гранулярную структуру с высокой удельной поверхностью, что важно для электрохимических и сенсорных устройств.

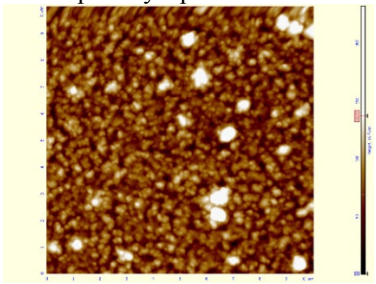


Рис. 1. Топография поверхности пленки сополимера анилин/ОАФ (10:1). Шкала высот: 0-200 нм

Карта жесткости, представленная на рис. 2, демонстрирует распределение упругих свойств по поверхности пленки. Жесткость контакта S определяется как производная силы по перемещению в точке контакта:

$$S = \frac{dF}{d\delta}\Big|_{contact} = 2E \cdot \sqrt{R\delta} \#(1)$$

Значения жесткости варьируются в диапазоне 15-35×10^{-3} нН/нм. Относительно однородное распределение этого параметра свидетельствует о формировании сплошной полимерной сети по всей площади исследования.

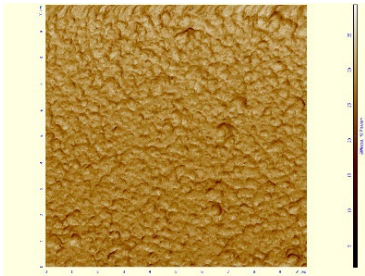


Рис. 2. Карта жесткости поверхности пленки сополимера анилин/ОАФ (10:1). Шкала 0-35×10^{-3} нН/нм

Сопоставление полученных карт топографии и жесткости позволяет сделать вывод о том, что пленка сополимера анилина и орто-аминофенола представляет собой иерархическую структуру пленки, в которой гранулы с повышенной жесткостью разделены рыхлыми областями, что обеспечивает сочетание механической стабильности и развитой поверхности для электрохимических устройств.

АСМ исследования были проведены в ИФМК УФИЦ РАН на сканирующем зондовом микроскопе NT-MDT NTEGRA II.

Литература

1. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Mullagaliev, I.N. // Vestnik Bashkirskogo Universiteta, 2024, V. 29(2), pp. 75–79.

2. Байбулова, Г.Ш., Карамов, Д.Д., Галиев, А.Ф., Чеботарева, А.Б., Шапошникова, В.В. // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук, 2026, № 1, С. 19–25.

3. Yakhin A.R., Yusupov A.R., Galiev A.F., Mikhailova A.V., Karamov D.D. // Materials Letters, 2026, V. 404, P. 139600.

© Миннеахметов Д.И., Остальцова А.Д., Муллагалиев И.Н, Сафаргалин И.Н., 2026

УДК 621.396.6:004.75

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Сабиров Д.А., Муллагалиев И.Н.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Развитие «Интернет вещей» (IoT) требует создания микропроцессорных систем для сбора данных, которые после однократной зарядки могут работать нескольких лет без замены батарей [1,2]. Активно создаются системы мониторинга температуры и влажности [3]

Для беспроводных сенсорных сетей усреднённое энергопотребление устройства за определённый период времени P_{avg} [4]:

$$P_{avg} = D \times P_{act} + (1 - D) \times P_{son} \quad (1)$$

где $D = t_{act}/T$ — это коэффициент заполнения (duty cycle), где t_{act} - фактическое время работы узла за период T, а P_{act} и P_{son} - энергопотребление в рабочем и спящем режимах.

$$T_{авт} = \frac{C \times U}{P} \quad (2)$$

где $T_{авт}$ - время автономной работы узла, C - ёмкость источника питания, а U - напряжение. Меры: адаптировать параметр D к динамическим изменениям контролируемого процесса, использовать энергоэффективный микроконтроллер с быстрым переходом в спящий режим и задействовать энергию окружающей среды.

Данные формулы были применены для созданных автономных систем мониторинга температуры и влажности помещения. Благодаря сравнению расчетов и экспериментальных данных удалось увеличить автономность систем на 30%.

Литература

1. Adegbija T., Rogacs A., Patel C., Gordon-Ross A. // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2018, v. 37, №. 1, pp. 7–20.

2. Салихов Р.Б., Муллагалиев И.Н., Миннеахметов Д. И., Баджассилона Б. Г. // Тезисы докладов XVI Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании», 2025, с. 108–110.

3. Permana A. F., Kuncoro C. B. D. //2021 5th International Conference on Informatics and Computational Sciences, 2021, pp. 272-276.

4. Bader S., Ma X., Oelmann B. //Journal of Sensor and Actuator Networks, 2014, v. 3, №. 3, pp. 207-223.

© Сабиров Д.А., Муллагалиев И.Н., 2026

УДК 621.398

АРХИТЕКТУРА И РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБКОГО ЗВУКОВОГО ИНТЕРФЕЙСА С МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ НА БАЗЕ ADAU1467

Шарафутдинов В.М., Шарипов Т.И.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

С прогрессом в сфере микроэлектроники современные DSP-устройства (средства цифровой обработки сигналов) всё активнее применяются при создании индивидуальных аудиорешений — их доступность для проектирования заметно растёт. Модульный принцип построения, в противовес типовым потребительским звуковым картам, даёт возможность сконструировать узкоспециализированное устройство, оптимально подходящее для профессионального мониторинга, моделирования пространственного аудио и проведения лабораторных исследований звуковых полей [1–3].

ADAU1467 представляет собой высокопроизводительный 32-битный аудиопроцессор на базе архитектуры SigmaDSP с обширными возможностями маршрутизации. Он служит ключевым элементом системы, организует обмен данными между USB-транспортом Reflex 3.0 и многоканальными кодеками AD1938 и PCM5242 (см. Рис. 1), а также выполняет в реальном времени высокоточные математические вычисления**.** Важное преимущество платформы — аппаратная обработка сигналов в режиме реального времени, благодаря чему её можно применять в различных областях, в том числе в образовательном процессе и профессиональной звукозаписи.

В рамках исследования особый акцент сделан на обеспечении помехоустойчивости аналогового тракта**.** На этапе проектирования были проведены расчеты режимов работы дифференциальных каскадов для сведения к минимуму синфазных наводок, в результате чего все интерфейсы ввода-вывода выполнены по полностью балансной (симметричной) схеме с применением разъёмов TRS 6.3 мм. Выравнивание уровней реализовано за счёт активных буферных каскадов на операционных усилителях, функционирующих в дифференциальном режиме. Такой подход позволил в полной мере задействовать функционал кодека AD1938 для обработки дифференциальных сигналов, сохранив при этом весь динамический диапазон.

Задача исследования — создать модульный учебный стенд в виде аудиоинтерфейса на базе процессора ADAU1467, оснащённого балансными входными и выходными трактами. Стенд предназначен для изучения физических процессов**,** математической обработки результатов

измерений, освоения алгоритмов фильтрации и работы с цифровыми аудиопотоками высокого разрешения.

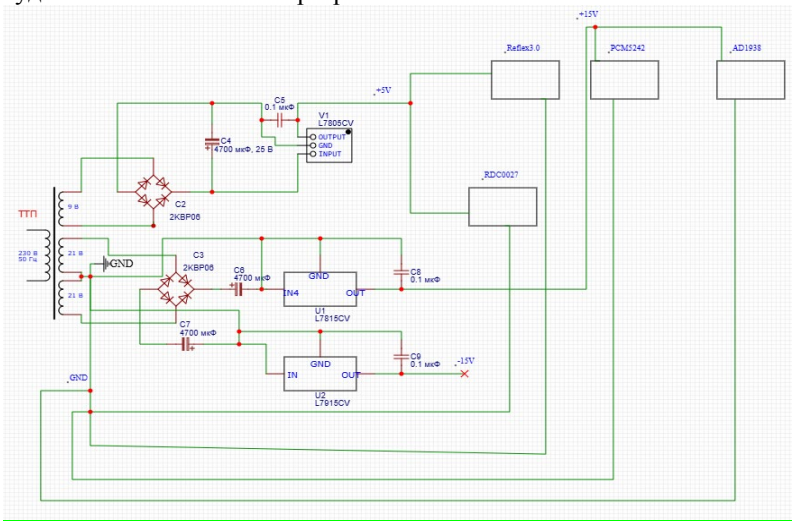


Рис. 1. Принципиальная схема согласования плат с блоком питания

В ближайшее время будет разработан модульный прототип: плата RDC функционирует как Master-модуль, остальные — в режиме Slave. Синхронизация плат будет реализована по линиям BCLK, MCLK и LRCLK. В корпусе объединены процессорный узел, кодеки и линейный блок питания.

На основе моделирования тепловых и нагрузочных режимов для аналоговых каскадов рассчитан двухполярный источник ±12 В. Это обеспечит линейность тракта при работе с сигналами стандарта +4 dBu. Дюралюминиевый корпус эффективно экранирует систему от помех и обеспечивает отвод тепла.

Литература

1. Глиэр А. А. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие / А. А. Глиэр. – М.: Техносфера, 2021.

2. Полухин Р.В., Шарипов Т.И. Физико-акустический анализ музыки и ее волновых свойств // Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2025»: тезисы докладов XVI Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Уфа: Уфимский университет, 2025. С. 79.

3. Ричард Л. Принципы построения высококачественных аудиоинтерфейсов / Л. Ричард. – СПб. : БХВ-Петербург, 2020.

© Шарафутдинов В.М., Шарипов Т.И., 2026

УДК 621.373.1:519.6

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ DDS-ГЕНЕРАТОРА ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА

Теляубаев Т.Ю., Шайхитдинов Р.З.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Точность формирования частоты в генераторах зондирующего сигнала на основе прямого цифрового синтеза (DDS) определяется структурой фазового аккумулятора: его состояние описывается рекуррентным соотношением $\varphi[n+1] = (\varphi[n] + M) \bmod 2^N$, где N — разрядность аккумулятора, M — код приращения частоты. Таблицу синуса адресуют только W старших разрядов фазы (W < N), что вносит периодическую фазовую ошибку и порождает паразитные спектральные составляющие (спуры) в выходном сигнале.

В применяемой микросхеме AD9835 N = 32, W = 12 при 10-разрядном ЦАП. По теории Николаса и Самуэли [1] наихудший уровень спура от усечения фазы не зависит от N и равен ≈6,02·W дБн; при W = 12 это даёт −72,2 дБн — практически совпадает с паспортным узкополосным SFDR микросхемы −72 дБн [2].

Модель проверена численно: выполнено рекуррентное вычисление фазы, усечение до 12 бит и БПФ с окном Блэкмана в рабочей точке f_{MCLK} = 6,25 МГц, $f_{out} \approx 2{,}11$ МГц (рис. 1). Наихудший спур в смоделированном спектре составил −72,25 дБн — расхождение с теорией менее 0,01 дБ. В широкой полосе паспортный SFDR ниже (−50 дБн [2]) из-за нелинейности ЦАП. Спектральная чистота сигнала ограничена прежде всего разрядностью усечения фазы DDS и может быть улучшена фазовым дизерингом [1] без изменения аппаратной части генератора.

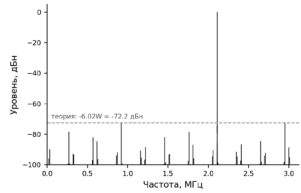


Рис. 1. Смоделированный спектр DDS (N = 32, W = 12) и теоретический уровень худшего спура −6,02·W дБн

Литература

1. Nicholas, H.T., Samueli, H. // 42nd IEEE Freq. Control Symp., 1988, pp. 357–363.

2. Analog Devices. AD9835 Datasheet. Rev. A, 2011. 28 p.

© Теляубаев Т.Ю., Шайхитдинов Р.З., 2026

УДК 51-7.

РАСЧЁТ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДОВ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Гузеев Н.А., Муллагалиев И.Н.
Уфимский университет науки и технологий, г.Уфа, Россия

Подвижность носителей заряда в полевых транзисторах на основе фуллерена С60 является предметом активных исследований, так как этот материал представляет собой классический n-тип органического полупроводника. Согласно данным из актуальных научных публикаций и обзоров транспортных свойств пленок С60 значения подвижности зависят от морфологии слоя и архитектуры прибора. [1]

В наших экспериментах с тонкоплёночными транзисторами четырёх образцов на основе фуллерена были получены их подвижности зарядов по формуле 1[2]:

$$\mu = \frac{I_{DS}L}{[V_{DS}WC_i(V_{GS}-V_{th})]} \quad (1)$$

Формула состоит из тока (сток-исток), длины канала, напряжения (сток-исток), ширины канала, ёмкости подзатворного диэлектрика, напряжения затвора и порогового напряжения. Пороговое напряжение определяется по передаточным характеристикам, берётся корень тока и строится линия тренда до пересечения линий осей OX. Значения тока (сток-истока) берётся из выходных характеристик при определённых напряжениях (сток-истока) и затвора.

Благодаря этой формуле были рассчитаны подвижности носителей зарядов для плёнок на основе производных фуллерена, равные μ_1=0,001064 $см^2 \cdot В^{-1} \cdot с^{-1}$ и μ_2=0,000486 $см^2 \cdot В^{-1} \cdot с^{-1}$. Данные значения подвижностей уступают встречающимся работам, это связано с параметрами создания плёнки. Дальнейшее исследование отработка методов создания плёнок с более высокой подвижностью зарядов.

Литература

1. Fishchuk, I.I., Kadasnchuk A., Novikov S.V., Ullah M., Genoe J., Sariciftci N.S., Sitter H., Bassler H. // Molecular Crystals and Liquid Crystals, 2014, v. 589, pp. 18–28.

2. Demeyu L., Stafström S., Bekele M. Monte Carlo simulations of charge carrier mobility in semiconducting polymer field-effect transistors // Physical Review B—Condensed Matter and Materials Physics, 2007, v. 76(15), Art. № 155202.

© Гузеев Н.А., Муллагалиев И.Н., 2026

УДК 621.396.61

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ УЗЛОВ LORAWAN НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32 С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА LZW

Абдрахманов В.Х., Сафиуллин Т.Э.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В сетях LoRaWAN основным потребителем энергии автономных узлов является радиопередатчик. Одним из методов снижения времени работы передатчика в эфире (Time-on-Air) и затрат батареи выступает предварительное сжатие данных. Согласно исследованиям, применение алгоритмов сжатия на базе нейросетей создает высокую нагрузку на процессор и увеличивает расход энергии. Алгоритм Лемпеля — Зива — Велча (LZW) с фиксированным словарем на 256 записей обеспечивает снижение расхода энергии на передачу пакетов до 7,41% при коэффициенте расширения спектра SF12 за счет низкого расхода оперативной памяти и отсутствия необходимости передавать таблицы частот, обязательные для алгоритма Хаффмана [1]. На основе паспортных характеристик выполнена аналитическая оценка энергоэффективности микроконтроллера [2] STM32L412 и радиомодуля SX1276 при использовании LZW. Словарь алгоритма размещается в статическом буфере SRAM объемом 1,5 КБ, что исключает динамическое выделение памяти и фрагментацию ОЗУ. При тактовой частоте 80 МГц время сжатия 51-байтного пакета на ядре Cortex-M4 составляет t_c = 0,64 мс, а энергозатраты на обработку равны E_m = 0,02 мДж. Сжатие пакета данных сокращает расчетную длительность радиопередачи в эфире с t_1 = 1,41 с до t_2 = 1,24 с. Относительная экономия энергии η вычисляется по формуле:

$$\eta = \frac{P_t(t_1 - t_2) - E_m}{P_t t_1} * 100\%, \quad (1)$$

где P_t – потребляемая мощность радиомодуля. Для трансивера SX1276 при выходной мощности +17 дБм (P_t = 297 мВт) расчетная экономия составляет 12,1% в режиме SF12. Полученные данные подтверждают эффективность словарного сжатия для продления времени автономной работы устройств в сетях LoRaWAN.

Литература

1. Dias, R.L., Vilas Boas, E.C., P. de Figueiredo, F.A., Mafra, S.B., Ouameur, M.A. // Sensors, 2026, v. 26(5), p. 1414.

2. Салихов, Р.Б., Абдрахманов, В.Х., Остальцова, А.Д. // В сборнике: Компьютерное проектирование в электронике. Минск, 2024, с 172-175.

© Абдрахманов В.Х., Сафиуллин Т.Э., 2026

УДК 539.61

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТОДАМИ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Лямин И.Б., Шарипов Т.И.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Адгезия - это явление возникновения и сохранения связи между поверхностями двух разнородных тел при их контакте, обусловленное действием межмолекулярных и химических сил, которое проявляется в сопротивлении их разделению. Для локальной оценки адгезии широко применяются методы зондовой микроскопии, прежде всего атомно-силовая микроскопия (АСМ). В основе АСМ лежит регистрация сил взаимодействия между зондом (кантилевером) и поверхностью образца. В зависимости от расстояния между зондом и образцом и характера действующих сил выделяют три основных режима: контактный режим, полуконтактный режим, режим силовой спектроскопии [1, 2].

Режим силовой спектроскопии в сканирующей зондовой микроскопии - это метод измерения и анализа зависимости силы взаимодействия между зондом и поверхностью образца от расстояния между ними. Чтобы получить численные значения адгезии необходимо перевести исходный сигнал детектора в физическую силу отрыва.

После получения результатов необходимо использовать их математическую обработку при помощи специализированных программ.

Достоинства метода: метод позволяет напрямую измерять жёсткость, модуль Юнга (эластичность), адгезию и вязкоупругость образца на наноуровне. Силу можно измерить в конкретных точках поверхности с точностью до нескольких нанометров.

Другими словами, для исследования локальных адгезионных свойств наиболее эффективным является режим силовой спектроскопии; полуконтактный режим лучше подходит для случаев, требующих неразрушающей визуализации рельефа.

Литература

1. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: учеб. пособие / В.Л. Миронов. - М.: Техносфера, 2009. – 144 с.

2. Полухин Р.В., Шарипов Т.И. Адгезионные свойства биологических поверхностей, исследуемые методом атомно-силовой микроскопии // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XII Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: Уфимский университет, 2026. – С. 193-194.

© Лямин И.Б., Шарипов Т.И., 2026

УДК 621.382

НАГРЕВАТЕЛЬ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКОЙ ЗАДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO

Аюпов А.Р., Бочкарева В.А, Муллагалиев И.Н.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Обеспечение стабильной температуры является важной задачей при проведении лабораторных и технологических процессов [1]. Автоматическая поддержка температуры может применяться при подготовке подложек перед нанесением тонких органических и полимерных покрытий [2].

В рамках выпускной квалификационной работы была разработана система нагрева с автоматической поддержкой заданной температуры на базе микроконтроллера Arduino Uno R3.

Математическое обеспечение системы базируется на дискретном пропорционально-интегрально-дифференцирующем (ПИД) алгоритме, реализующем широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) мощности нагревательного элемента. Вычислительное ядро ATmega328P осуществляет аналого-цифровое преобразование сигнала уставки, линеаризацию показаний термопары К-типа через табличную аппроксимацию SPI-интерфейса модуля MAX6675 и циклический расчет управляющего воздействия по закону обратной связи.

Преобразование потенциометра (аналогово-цифровое преобразователь) в Arduino Uno R3 используется (1).

$$V_{in} = ADC_{value} \cdot \frac{V_{CC}}{1023} \quad (1)$$

где ADC_{value} — число от 0 до 1023, возвращаемое функцией analogRead ().

Были проведены расчёты напряжения и кода и проведены сравнения с измерениями вольтметра, значения совпали с погрешность менее 10 %.

Литература

1. Печерская Е.А., Семенов А.Д., Зинченко Т.О., Данилов А.А., Тузова Д.Е. // Измерительная техника, 2024, Т. 73, № 5, С. 41–47.

2. Салихов Р.Б., Юмалин, Т.Т., Остальцова, А.Д., Салихов, Т.Р., Муллагалиев, И.Н. //Вестник Башкирского университета, 2025, Т. 30, №. 1, С. 13-18.

© Аюпов А.Р., Бочкарева.В.А., Муллагалиев И.Н., 2026

УДК 577.32

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СВОЙСТВ БИОМОЛЕКУЛ

Дуньяш Л.М., Шарипов Т.И.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Изучение свойств биологических объектов с помощью сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) является важным аспектом для понимания структуры и функций живых систем на микро- и наноуровнях. Ключевыми методами в этом направлении являются сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) и атомная силовая микроскопия (АСМ), которые изменили подход к микроскопии и стали стандартом в физических науках, открыв путь для создания новых типов сканирующих зондовых микроскопов.

Одним из важнейших этапов исследования является выбор подложки и метод иммобилизации биологических образцов. Чаще всего используется физическая адсорбция из раствора, где силы притяжения удерживают образец на твердой основе, включая ван-дер-ваальсовы силы.

Для изучения структурно-функциональных взаимосвязей биологических объектов важно получать изображения высокого разрешения с высоким отношением сигнал/шум в молекулярном и субмолекулярном диапазонах. Кроме того, возможность работы в водной среде позволяет наблюдать динамические молекулярные процессы в реальном времени.

Целью работы являлось углубленное изучение теории об исследованиях свойств биологических объектов с помощью СЗМ. После изучения литературы было решено выбрать между олигонуклеотидами dT_{12}, dA_{12}, dC_{12} или dG_{12} – это олигонуклеотиды, которые представляют собой последовательности только одного типа нуклеотидов (аденин, тимин, гуанин или цитозин) [2-3].

Природная молекула ДНК не позволяет эффективно исследовать свойства нуклеотидов, из которых она состоит, поскольку порядок расположения ATGC является случайным, а длина таких молекул может достигать нескольких миллиардов единиц. А олигонуклеотиды позволяют нам сделать однозначные выводы о природе проведения электрического тока через последовательности соединений.

Перед началом эксперимента мы смоделировали гомоолигонуклеотид dT_{12} в программе MolView.

На рис. 1 (а, б) представлен результат моделирования. На схеме цепочки из двух фрагментов мы можем увидеть тимин – азотистые основания, имеющие однокольцевую структуру, дизоксерибозы и фосфатные группы.

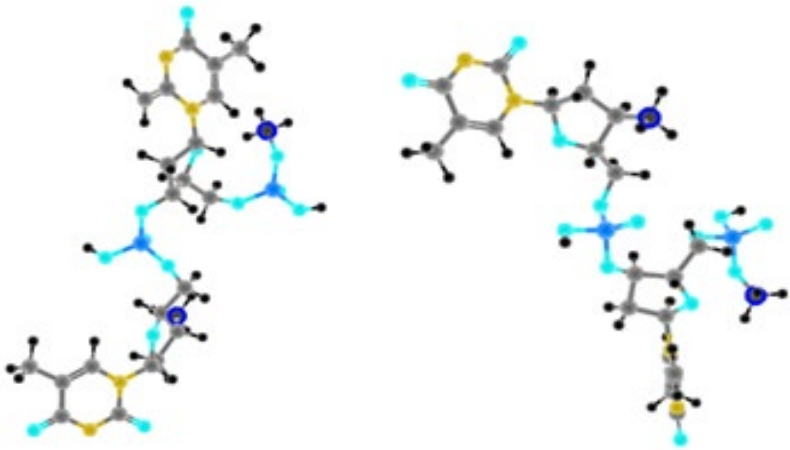


Рис. 1. Модель фрагмента гомоолигонуклеотида

Литература

1. P. Wagner. Immobilization strategies for biological scanning probe microscopy. // FEBS Letters, 1998, v.430, p. 112-115.
2. T. I. Sharipov, A. K. Mishra, and R. R. Garafutdinov. Electrical Resistance of Some Types of Homooligonucleotides. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2025, Vol. 89, No. 3, pp. 391-395.
3. Татлыбаев Д.Д., Шарипов Т.И. Морфология и электропроводность гомогенных полинуклеотидных цепочек ДНК dT_{12} и dG_{12}: СТМ-исследования // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XII Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: Уфимский университет, 2026. – С. 174-176.

© Дуньяш Л.М., Шарипов Т.И., 2026

СЕКЦИЯ «ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИСЛЕДОВАНИЯ В ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКЕ И ГЕОФИЗИКЕ»

УДК 532.61.08

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ

Фаррахетдинова А.И., Усманов Б.А., Мусин А.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Актуальность автоматизации физического эксперимента обусловлена стремительным развитием технологий и, как следствие, ростом требований к точности и оперативности измерений. Это предполагает использование дополнительных цифровых инструментов, позволяющих производить рутинные действия, значительно повышая уровень качества и ускоряя процесс обработки измерений. Среди таких измерений особое место занимает исследование поверхностного натяжения как одного из ключевых факторов, влияющих на поведение жидкостей на границе раздела фаз. Результаты исследований, в свою очередь, применяются в различных областях промышленности, таких как нефтегазовая, пищевая и фармацевтическая. В рамках данной работы разработано программное обеспечение, позволяющее принимать, обрабатывать и анализировать данные для вычисления поверхностного натяжения. В разработанной программе были реализованы семь экспериментальных методов.

Программное обеспечение представляет собой пользовательский интерфейс со множеством вкладок, соответствующих экспериментальным методикам, а также расчету итогового значения с учетом ошибок измерений. В каждом разделе метода имеется возможность внесения экспериментальных данных в таблицу и учета приборной погрешности, а также раздел оснащен справочной информацией о проведении эксперимента выбранным методом. В разделе «Результаты» выводится доверительный интервал измерений; кроме того, в данном разделе реализованы возможность визуального сравнения точности методов между собой и формирование отчета об эксперименте.

Программное обеспечение разработано на языке Python с применением набора библиотек PyQt5 для создания кроссплатформенных десктопных приложений.

© Фаррахетдинова А.И., Усманов Б.А., Мусин А.А., 2026

УДК 550.8:51-7

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТОРОВ СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ГАММА-СПЕКТРОВ КЕРНА И КЛАСТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ГИС

Алимова М.Р., Втюрина А.Д., Вахитова Г.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Каширо-подольские отложения Волго-Уральской провинции характеризуются высокой литологической изменчивостью, наличием вторичных пустот и техногенных изменений, что делает стандартные методы интерпретации недостаточно надёжными. Построение достоверной петрофизической модели карбонатных резервуаров напрямую влияет на эффективность освоения трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) в связи с этим работа является актуальной [1].

В настоящей работе предлагается подход, объединяющий лабораторные измерения на керне и алгоритмы машинного обучения для обработки данных ГИС. Лабораторный этап включает определение удельной активности Ra-226, Th-232, K-40 и Cs-137 на гамма-радиометре РГК-АТ1320С. Эти данные формируют эталонную базу для калибровки скважинных интерпретаций. На следующем этапе выполняется кластерный анализ многомерных кривых ГИС (ГК, НГК, АК, ГГК, ПС, ДС) с применением методов K-means, DBSCAN и t-SNE. Полученные кластеры сопоставляются с результатами лабораторных исследований, что позволяет выделить устойчивые петротипы и отделить продуктивные интервалы от плотных микропористых разностей, не являющихся коллекторами [2-4].

Цель работы — создание петрофизической модели, в которой каждый кластер имеет не только статистическое описание, но и физически обоснованную характеристику, подтверждённую данными керна.

Предполагается, что результаты работы позволят повысить достоверность прогноза коллекторских свойств в межскважинном пространстве, оптимизировать геомеханическое моделирование и обеспечить экологическую безопасность при дальнейшей разработке месторождения.

Литература

1. Г.Р. Вахитова, М.Р. Алимова // Экспериментальное исследование удельной гамма-активности природных радионуклидов // Геология. Известия Отделения наук и Земле и природных ресурсов. – 2025. – №3. – С. 12-26. DOI 10/24412/2949-4052-2025-3-12-26

2. Привалова О.Р. Кластеризация карбонатных коллекторов по геофизическим данным при планировании геолого-технологических мероприятий //Экспозиция Нефть Газ. 2025. № 7. С. 88-94.

3. Пожитков Н.Д., Ступак И.А., Денисов В.В., Швецова Н.Н., Вагизов А.М., Кузин И.Г., Баширов И.Р., Сулейманов А.А. Эволюция подходов к моделированию каширо-подольских отложений Арланского месторождения Республики Башкортостан // Нефтегазовое дело. 2022. Т. 20, № 5. С. 45–54. https://doi.org/10.17122/ngdelo-2022-5-45-54.

4. Г.Р. Вахитова, Р.А. Галимов, А.И. Гумерова, Г.Ф. Шайбекова 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., Втюрина А.Д., Вахитова Г.Р., 2026

УДК 621.039.84

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ РЕАКТОРА ВВР-СМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОНУКЛИДА ИРИДИЯ-192

Буканов Б.Б., Ашрапов У.Т., Маликов Ш.Р., Юлдашев М.Б.
Институт ядерной физики АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Для определения плотности потока тепловых нейтронов и их распределения вдоль вертикального облучательного канала был использованы образцы мониторов сопровождения ^{59}Co в форме диска-фольги (Ø=3,0 мм, h=0,2мм, m=3,0мг), содержащие сплав алюминия с кобальтом Al–^{59}Co (0.01%). Результаты полученных значений кадмиевых отношений (от 8,1 до 12,7) для радионуклида ^{192}Ir показали, что нейтронная активация природного иридия по ядерной реакции ^{191}Ir(n,γ)^{192}Ir происходит при облучение иридиевых дисков тепловыми нейтронами (E_n=0,025 эВ) реактора. Плотность потока тепловых нейтронов определяли по формуле:

$$\Phi_T = \frac{A \cdot M}{0{,}6 \cdot m \cdot E\text{эфф} \cdot \sigma \cdot \theta \cdot (1-e^{-\lambda \cdot t_1}) \cdot (e^{-\lambda \cdot t_2})},$$

где $\Phi_т$ – плотность потока тепловых нейтронов н/см^2 с; M – атомный вес ^{59}Co; A – интенсивность излучения монитора ^{60}Co, имп/с; m – масса монитора, г; Eэфф – эффективность регистрации детектора гамма-излучения монитора ^{60}Co; σ – сечение активации ^{60}Co, барн; θ –

коэффициент равный 1 (распространенность изотопа Co-59); t_1 – время облучения монитора, час; t_2 – время задержки монитора, час.

В таблице ниже показаны значения плотности потоков тепловых нейтронов в вертикальных облучательских каналах реактора.

Масса монитора, мг	Время облучения, ч	Вертикальный канал	Плотность потока тепл. нейтронов, н/см^{2}сек
1,7	48	2-4	$1{,}3 \cdot 10^{13}$
3,1	50	5-5	$4{,}3 \cdot 10^{13}$
2,1	50	2-5	$2{,}3 \cdot 10^{13}$

Результаты измерения разности потенциалов с термонейтронным датчиком (ТНД-2) и мониторирования нейтронного поля показали, что максимальные значения плотностей потоков тепловых нейтронов наблюдаются на расстоянии 35–45 см вниз от головки ТВС ИРТ-4М [1].

Литература

1. U.T. Ashrapov, S.S. Khujaev, I.I. Sadikov, M.Y. Tashmetov, and Y.A. Isaev. Manufacturing of an Iridium-192 Ionizing Radiation Source for Nondestructive Testing. // Journal of Physics of Atomic Nuclei, 2021, v. 84 (9), pp. 1540–1549.

© Буканов Б.Б, Ашрапов У.Т., Маликов Ш.Р., Юлдашев М.Б., 2026

УДК 550.8.23

ОЦЕНКА АБСОЛЮТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПО ДАННЫМ КЕРНА С УЧЁТОМ КАПИЛЛЯРНЫХ СВОЙСТВ И ФАЦИАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ

Старовойтов Д.А.[1,2], Федоров К.М.[2], Кадочникова Л.М.[2]
[1]Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия
[2]ГК «Газпромнефть НТЦ», г. Санкт-Петербург, Россия

Определение абсолютной проницаемости при переходе от масштаба лабораторного керна (масштаб Дарси) к макромасштабу гидродинамических моделей и исследований скважин (ГДИС) является фундаментальной проблемой физики пласта. В данной работе проанализировано влияние открытой пористости и водонасыщенности, определённой по капиллярометрии при опорных давлениях 50, 100, 200 и 2000 кПа, на точность прогноза абсолютной проницаемости по одному из месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа. На основе керновых исследований по данному месторождению были построены

модели Козени-Кармана и Тимура. Кривые капиллярного давления были аппроксимированы функцией Брукса-Кори, а коэффициенты модели Тимура калиброваны методом множественной логарифмической регрессии. Установлено, что наибольшая прогностическая точность модели достигается при минимальном капиллярном давлении $P_c = 50$ кПа: средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) составляет 34.7%, а коэффициент детерминации $R^2 = 0.95$. При увеличении P_c до 2000 кПа качество прогноза ухудшается и MAPE возрастает до 76.0%, что вызвано смещением процесса фильтрации в субкапиллярную область.

Показано, что предварительное выделение однородных петрофизических фаций обеспечивает нормализацию статистических распределений пористости и проницаемости, а также снижает ошибку прогноза до 19.6%. Обоснована необходимость использования калиброванных многомерных моделей в комплексе с безразмерными критериями подобия для корректного масштабного перехода.

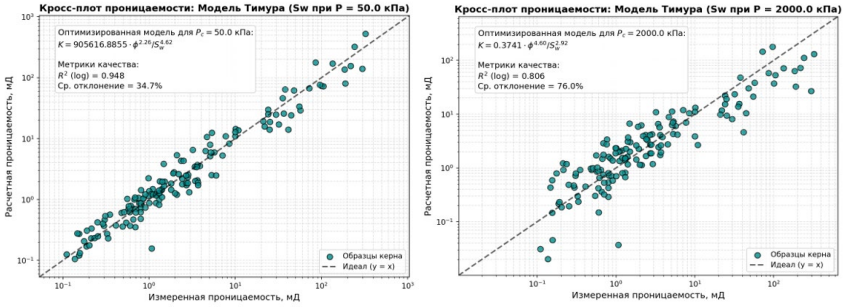


Рис. 1. Сопоставление измеренной и расчетной проницаемости по модели Тимура при давлениях $P_c = 50$ и 2000 кПа

© Старовойтов Д.А., Федоров К.М., Кадочникова Л.М., 2026

УДК 532.5.032

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПО РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ПАРОВОДЯНОЙ СМЕСИ В СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ

Буйдина Д.С., Гильманов А.Я.
Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Истощение запасов маловязкой нефти по всему миру вынуждает применять технологии повышения нефтеотдачи, направленные на разработку тяжелых и сверхвязких залежей. Одним из наиболее действенных термических методов повышения добычи труднодобываемого сырья является пароциклическая обработка (ПЦО) пласта. В качестве теплоносителя используется насыщенный пар, при конденсации которого породе и содержащейся в ней нефти передается значительное количество теплоты. В итоге призабойная зона разогревается и вязкость нефти снижается, облегчая дальнейшую добычу. Также при движении пароводяной смеси в стволе скважины происходят неизбежные тепловые потери, вследствие теплообмена с окружающими породами. Успех применения ПЦО определяется количеством тепловой энергии, поступившей в продуктивный пласт. В работе предложен замкнутый подход определения коэффициента теплоотдачи пароводяной смеси из решения обратной задачи тепломассопереноса. Для установления распределения температуры в стволе скважины используются данные кратковременных динамических исследований (КДТИ), которые получены в процессе исследования скважины. Это позволит при моделировании процесса ПЦО учитывать тепловые процессы, как в стволе скважины, так и в окружающих ее породах. Такой подход повысит точность расчетов за счет отказа от известных критериальных уравнений, справедливых для ограниченных температурных диапазонов. А определение коэффициентов критериального уравнения по полученному коэффициенту теплоотдачи с помощью численных методов позволит откалибровать эмпирические зависимости под индивидуальные особенности скважины.

Литература

1. Савчик М.Б., Ганеева Д.В., Распопов А.В. Повышение эффективности пароциклических обработок скважин верхнепермской залежи Усинского месторождения на основе гидродинамической модели // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2020 Т. 20, № 2 С. 137-149. https://doi.org/10.15593/2224-9923/2020.2.4

© Буйдина Д.С., Гильманов А.Я., 2026

УДК 004.942

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ НА ПРОГРЕВ ПЛАСТА

Погребинская Э.А., Гильманов А.Я.
Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

В условиях сокращения запасов «легкой» нефти и ухудшения качества остаточной, становится необходимым применение технологий, направленных на увеличения добычи трудноизвлекаемых запасов, таких как тепловые третичные методы увеличения нефтеотдачи (МУН), на которые в России приходится до 70% от всей добычи за счет МУН [1]. Одним из них является пароциклическая обработка (ПЦО) скважин, суть которой заключается в циклической тепловой обработке пласта с помощью закачки водяного пара в добывающую скважину, что способствует снижению вязкости нефти, и, как следствие, – повышению дебита. Эффективность ПЦО напрямую зависит от тепловых процессов, происходящих в призабойной зоне пласта: теплопроводности, вынужденной и естественной конвекции. Цель данной работы – определить преобладающий тип конвекции и ее влияние на температурное поле в призабойной зоне. Для оценки вклада каждого из механизмов теплопередачи используются соответствующие комплексы, полученные из обезразмеренного уравнения теплопроводности, записанного в цилиндрической системе координат. Количественный анализ величин безразмерных комплексов позволяет сделать вывод о том, стоит ли учитывать тот или иной механизм при заданных параметрах теплоносителя. Также для определения теплового фронта использовалось математическое моделирование на основе уравнения теплопроводности, численное решение которого получено при помощи явной конечно-разностной схемы. Полученное решение подтвердило корректность выводов по значениям безразмерных комплексов, то есть реализованная модель может быть использована для прогнозирования положения и формы теплового фронта с целью повышения эффективности прогрева призабойной зоны пласта.

Литература

1. Грушевенко Е. Перспективы развития третичных МУН в мире и в России. Москва: Центр энергетики Московской школы управления Сколково, 2021. 40 с.

© Погребинская Э.А., Гильманов А.Я., 2026

УДК 532.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ ПОЛЯ НА ЭМУЛЬСИЮ ТИПА «ВОДА В МАСЛЕ»

Камалтдинов Р.М., Ковалева Л.А., Мишаков М.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Актуальность исследования процессов разрушения эмульсий типа «вода в масле» обусловлена их широким распространением в нефтяной промышленности. Такие эмульсии образуются на различных этапах добычи, подготовки и транспортировки углеводородного сырья и характеризуются высокой устойчивостью, обусловленной наличием природных стабилизаторов, а также поверхностно-активных веществ. Эффективное разделение водонефтяных эмульсий является важной технологической задачей, поскольку их наличие повышает вязкость транспортируемой среды, осложняет процессы подготовки сырья и способствует развитию коррозионных процессов. Традиционные методы деэмульсации, основанные на термическом, химическом и электростатическом воздействии, обладают рядом ограничений, связанных с продолжительностью процесса, энергозатратами и необходимостью подбора химических реагентов [1].

В связи с этим настоящее исследование посвящено изучению возможности применения СВЧ электромагнитного поля для интенсификации процесса разделения эмульсии. Для проведения экспериментов разработана установка, позволяющая осуществлять обработку эмульсии в статическом и динамическом режимах. В динамическом режиме основными элементами установки служат система термического нагрева типа «труба в трубе» с использованием термостата и СВЧ-модуль с расположенной внутри радиопрозрачной трубкой для протекания эмульсии.

В ходе экспериментов получены зависимости объёмной доли отслоившейся воды от времени для различных концентраций ПАВ, режимов обработки и мощностей СВЧ-излучения. Установлено, что СВЧ при равных температурах обеспечивает небольшое преимущество перед термическим нагревом. При этом использование СВЧ обработки в динамическом режиме позволяет снизить энергозатраты примерно в 5 раз по сравнению с термическим нагревом исследуемой системы.

Литература

1. Ковалева Л.А., Зиннатуллин Р.Р., Камалтдинов Р.М. / Технология разделения водонефтяной эмульсии, образованной в результате зачистки РВС // Трубопроводный транспорт, 2024, т. 1, с.161–163.

© Камалтдинов Р.М., Ковалева Л.А., Мишаков М.А., 2026

УДК 532.546

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЁХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗИРОВАННОЙ НЕФТИ И ВОДЫ

Сухорослова А.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

При вытеснении газированной нефти водой в пласте возникают сложные трёхфазные течения. Для их описания и прогнозирования обводнения пластов необходима физически адекватная математическая модель, а также устойчивый и сходящийся численный алгоритм. Данная работа посвящена исследованию сходимости численной схемы, реализующей равновесную трёхфазную трёхкомпонентную изотермическую модель фильтрации. Рассматривается одномерное радиальное течение трёх фаз: нефти (1), воды (2) и газа (3). Приняты допущения: газ растворяется в нефти и не растворяется в воде; компоненты 1 и 2 не покидают своих фаз; движение фаз подчиняется обобщённому закону Дарси; капиллярные и гравитационные эффекты пренебрежимо малы; вязкости фаз постоянны. Система уравнений неразрывности для рассматриваемой физической модели записывается в виде:

$$\mathrm{m}\frac{\partial}{\partial \mathrm{t}}(\rho_1 S_1[1-C_{13}]) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}[r\rho_1[1-C_{13}]\frac{k_1(S_1)}{\mu_1}\frac{\partial P}{\partial r}]$$

$$m\frac{\partial}{\partial t}(\rho_2 S_2) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}[r\rho_2\frac{k_2(S_2)}{\mu_2}\frac{\partial P}{\partial r}]$$

$$m\frac{\partial}{\partial t}(\rho_1 S_1 + \rho_2 S_2 + \rho_3 S_3) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}[r(\rho_1\frac{k_1(S_1)}{\mu_1} + \rho_2\frac{k_2(S_2)}{\mu_2} + \rho_3\frac{k_3(S_3)}{\mu_3})\frac{\partial P}{\partial r}]$$

Система замыкается начальными и граничными условиями, уравнениями состояния, относительными проницаемостями и условием нормировки насыщенностей:

$$S_1 + S_2 + S_3 = 1, \qquad C_{11} + C_{12} = 1, \qquad C_{22} = 1, \qquad C_{33} = 1$$

Давление рассчитывается по неявной схеме методом контрольного объёма с использованием метода прогонки. Насыщенности фаз определяются по явной схеме на основе найденного поля давления. Такое расщепление позволяет упростить алгоритм и снизить вычислительные затраты на каждом временном шаге. Сходимость и устойчивость численной схемы по насыщенности для выбранных условий обеспечивался при выполнении шага по времени меньше 5 секунд.

Литература

1. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. В. Патанкар ; пер. с англ. под ред. В. Д. Виленского. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 150 с. : ил. — 21 см.

© Сухорослова А.А., 2026

УДК 532.546:536.2

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО ПЛАСТА С УЧЕТОМ ТЕПЛОТЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В работе исследуется формирование температурного поля в призабойной зоне скважины при фильтрации газоконденсатной смеси. Актуальность исследования обусловлена необходимостью учета неизотермических эффектов при интерпретации промыслово-геофизических данных и прогнозировании образования конденсатных пробок, снижающих продуктивность скважин.

Основной целью работы является построение аналитической модели стационарного температурного поля, учитывающей конкурирующие термодинамические эффекты: дроссельное охлаждение газа (эффект Джоуля-Томсона) и выделение скрытой теплоты при ретроградной конденсации тяжелых углеводородов.

Математическая модель основана на уравнении сохранения энергии для радиально-симметричного потока в однородном изотропном пласте. В стационарном приближении ($\partial T/\partial t = 0$) уравнение теплопереноса сводится к балансу конвективного переноса энтальпии, теплопроводности и источников тепла. Ключевой особенностью модели является введение члена, описывающего источник теплоты за счет фазового перехода $Q = q_{cond} \cdot J$, где q_{cond} - удельная теплота конденсации, а J - интенсивность перехода массы из газовой фазы в жидкую. Интенсивность конденсации определяется через закон Генри и изменение давления по радиусу, описываемое с использованием понятия псевдодавления.

Аналитическое решение для распределения температуры $T(r)$ получено интегрированием уравнения энергии от контура питания до произвольного радиуса r. Полученное выражение позволяет разделить температурную аномалию на две составляющие: отрицательную, обусловленную эффектом Джоуля-Томсона, и положительную, связанную с выделением теплоты конденсации.

Проведен анализ влияния ключевых параметров на температурный профиль. Показано, что знак и величина температурной аномалии на забое существенно зависят от соотношения пластового давления и давления начала конденсации (точки росы). Если пластовое давление близко к давлению насыщения, вклад теплоты конденсации становится доминирующим, что приводит к локальному разогреву призабойной зоны

($\Delta T > 0$). При значительном перепаде давлений преобладает эффект Джоуля-Томсона, вызывая охлаждение флюида.

Численные оценки, выполненные для характерных параметров газоконденсатных месторождений (пластовое давление 22 - 24 МПа, температура 350 К), демонстрируют, что учет теплоты фазового перехода может изменить прогноз температуры на забое на несколько градусов. Например, при увеличении удельной теплоты конденсации с 350 до 1500 кДж/кг характер температурного поля меняется с небольшого охлаждения ($\Delta T \approx -0.3$ К) на интенсивный нагрев ($\Delta T \approx +7.8$ К).

Результаты работы показывают, что игнорирование тепловых эффектов фазовых переходов приводит к погрешностям при интерпретации данных термометрии скважин. Разработанная аналитическая модель может быть использована для экспресс-оценки термодинамического состояния пласта и оптимизации режимов эксплуатации газоконденсатных скважин.

Литература

1. Шарафутдинов Р.Ф., Канафин И.В., Буджогра С. Исследование температурного поля в газоконденсатных пластах с учетом термодинамических эффектов // Научная статья. – 2023.

2. Брусиловский А. И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. – М.: Недра, 1992.

3. Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф. Исследование фильтрации газоконденсата с образованием газоконденсатной пробки // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. – Уфа, 2025. – С. 156–159.

© Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф., 2026

УДК 532; 519.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В МИКРОТЕПЛООБМЕННИКАХ

Булатова А.З.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Развитие технологий интеграции электронных компонентов обусловлено постоянным увеличением скоростей обработки и передачи данных, а также стремлением к созданию более компактных и высокоинтегрированных электронных систем. Одновременно возрастает плотность тепловыделения, что делает разработку эффективных методов отвода тепла ключевой задачей для обеспечения стабильной работы и

долговечности устройств; одним из наиболее перспективных направлений при этом считается внедрение микрожидкостных систем охлаждения непосредственно в архитектуру микросхем, включая решения для термостабилизации интегральных схем, микроэлектромеханических систем (МЭМС), радиочастотных модулей и биомедицинских имплантатов. Миниатюризация элементов теплоотвода увеличивает отношение площади поверхности к объёму и способствует интенсификации теплообмена, однако одновременно приводит к росту гидравлического сопротивления и усложняет процессы изготовления. Геометрия микроканала оказывает существенное влияние на гидродинамические характеристики потока, интенсивность перемешивания, распределение скоростей и температур, а также на эффективность теплоотдачи, поэтому её оптимальный выбор имеет принципиальное значение при проектировании микрожидкостных систем охлаждения [1–2]. Одним из эффективных решений является применение микроканалов, оснащённых массивами цилиндрических пинов, которые увеличивают площадь теплообмена и способствуют перемешиванию потока, однако могут одновременно повышать гидравлическое сопротивление [3-4]. Особый интерес представляет концепция микроканалов открытого типа, в которых высота пинов меньше полной высоты канала, благодаря чему между их вершинами и верхней стенкой образуется заполненный жидкостью зазор, снижающий гидравлическое сопротивление, увеличивающий количество центров зарождения пузырьков при кипении и уменьшающий нестабильность фазового перехода, что обычно повышает интенсивность теплоотдачи при одновременном снижении перепада давления.

В данной работе проведено численное исследование влияния высоты цилиндрических структур (пинов) диаметром d=50 мкм, расположенных в микроканале, на гидродинамические характеристики и процессы теплопереноса жидкости. Высота структур варьировалась от 50 до 100% полной высоты основного канала. Все расчеты проводились в программной среде Ansys Fluent. Получены поля продольной, поперечной и вертикальной компонент скорости в нескольких плоскостях, а также их профили в осевых сечениях. Кроме того, определены температурные поля, зависимости расхода жидкости Q и коэффициента гидравлического трения f. На основе интегрального теплового баланса рассчитан средний коэффициент теплоотдачи, после чего определено число Нуссельта Nu с использованием характерного размера канала. Для комплексной оценки эффективности применялся показатель PEC, отражающий соотношение между усилением теплоотдачи и ростом гидравлических потерь. Полученные зависимости позволяют сравнивать различные варианты геометрии микроструктуры и выбирать оптимальные параметры.

Результаты исследования дают более глубокое понимание процессов теплопереноса в микроканалах открытого типа и могут служить основой для разработки высокоэффективных систем охлаждения миниатюрных электронных устройств.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00697, https://rscf.ru/project/24-19-00697/.

Литература

1. Фаткуллина Н.Б., Курбанова С.С., Солнышкина О.А., Влияние пространственного распределения элементов внутренней структуры микроканала на гидродинамические характеристики потока жидкости// Письма в Журнал технической физики. – 2024. – Т. 50, № 23. – С. 46-49.

2. Булатова А. З., Туйгунова Д. М., Солнышкина О. А. Трехмерное моделирование течений в микроканалах с системой детерминированного бокового смещения методом граничных элементов //Письма в Журнал технической физики. – 2024. – Т. 50. – №. 23. – С. 42-45.

3. Solnyshkina O.A., Bikkinina N.B., Galieva K.A., Bulatova A.Z., Garifullin I.Sh., Mass Transfer Analysis in Microchannels with Singleand Dual Scale Pin Fin Array Configurations //Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. – 2026. – Т. 19. – №. 1. – С. 129-138.

4. А. Д. Низамова, К. А. Галиева, О. А. Солнышкина Исследование течения жидкости в микроканале с массивом пинов с учетом теплообмена// Письма в Журнал технической физики. – 2025. – Т. 51, № 24. – С. 37-40.

© Булатова А.З., 2026

УДК 622.276

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЗАРЕЗКИ БОКОВОГО СТВОЛА НА ЗРЕЛОМ НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Гильманов Р.Я.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Зарезка боковых стволов является одним из эффективных способов вовлечения в разработку остаточных запасов на зрелых нефтяных месторождениях. Актуальность применения данной технологии обусловлена высокой степенью разбуренности месторождений Западной Сибири, ростом обводнённости продукции и неравномерностью выработки запасов. Использование существующего фонда скважин позволяет снизить объём нового строительства и направленно воздействовать на ранее недренируемые участки продуктивных пластов.

Целью исследования является сравнительная оценка технологий зарезки боковых стволов и выбор оптимального решения для строительства горизонтального ответвления из обсаженной колонны на N-ном месторождении.

В работе рассмотрена условная инженерная модель скважины, соответствующая характерным условиям зрелого терригенного месторождения Западной Сибири. Основная инженерная задача заключается в формировании окна в эксплуатационной колонне на глубине 2450 м и бурении управляемого бокового горизонтального ствола длиной 500 м в недренируемую зону.

Для сравнения рассмотрены четыре технологических варианта: одно-рейсовый клин-отклонитель, поэтапное фрезерование окна, секционное вырезание обсадной колонны и многоствольное соединение TAML 2–3.

Для выбора оптимального решения применён метод анализа иерархий Саати. Оценка выполнена по семи критериям: стоимость, технологическая сложность, вероятность успешной реализации, аварийный риск, продолжительность работ, ожидаемый добычной эффект и применимость технологии. Наибольший интегральный показатель получен для одно-рейсового клин-отклонителя — 4,38 балла. Для поэтапного фрезерования показатель составил 3,43, для секционного вырезания — 3,35, для TAML 2–3 — 2,81 балла.

Технико-экономическая оценка показала высокую эффективность рассмотренных вариантов. Для одно-рейсового клин-отклонителя расчётный CAPEX составил 175 млн руб., ожидаемый начальный прирост добычи — 26 т/сут, NPV — 834,1 млн руб., PI — 5,77, IRR — 213,9 %, срок окупаемости — 0,43 года. Несмотря на более высокий абсолютный NPV варианта TAML 2–3, его повышенные стоимость, продолжительность и технологическая сложность делают его менее предпочтительным для рассматриваемой задачи.

По результатам исследования одно-рейсовый клин-отклонитель выбран в качестве оптимальной технологии по совокупности технологических, риск-ориентированных и экономических критериев. Полученная методика может быть адаптирована к конкретной скважине при уточнении геологических, технических и экономических исходных данных.

Литература

1. Булатов А. И., Проселков Ю. М., Шаманов С. А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин. М.: Недра, 2003

2. А. В. Кустышев, Ю. В. Ваганов, В. А. Долгушин. Организация капитального ремонта скважин в современных условиях разработки нефтяных и газовых месторождений // Нефть и газ, № 6, 2015, с.19-25

© Гильманов Р.Я., 2026

УДК 550.8.08:550.832.6

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ЗАКОЛОННОГО ПЕРЕТОКА

Муртазин Т.А., Валиуллин Р.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Контроль технического состояния скважин и наблюдение за разработкой нефтяных и газовых месторождений являются важными задачами промысловой геофизики. Особое место занимает выявление заколонных перетоков - движения флюида в пространстве между обсадной колонной и стенкой скважины либо между интервалами, разделёнными цементным камнем. Такие перетоки могут приводить к обводнению продукции, потерям закачиваемого агента в нагнетательных скважинах, межпластовым перетокам и нарушению проектного режима разработки месторождения [1].

Одним из наиболее информативных методов является термометрия, поскольку температурное поле чувствительно к движению флюида. Перемещаясь за колонной, жидкость переносит тепло и изменяет распределение температуры вдоль ствола скважины и по её периметру, формируя температурные аномалии в интервалах перетока [1].

Практическая значимость работы заключается в разработке физической модели, измерительной системы и методики измерений, которые могут использоваться для лабораторного исследования тепловых признаков заколонного перетока, отработки интерпретации термограмм и подготовки специалистов в области геофизических исследований скважин.

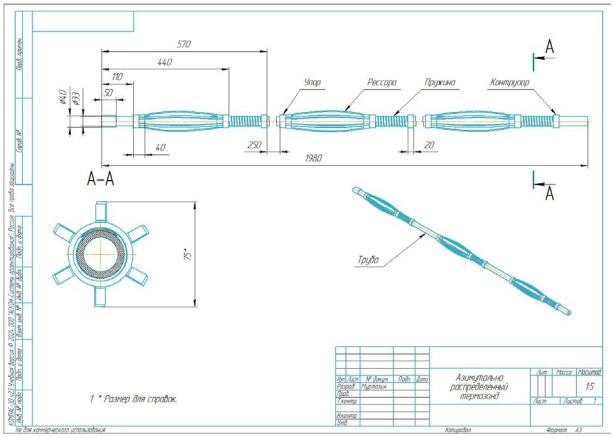


Рис. 1. Чертёж измерительного прибора

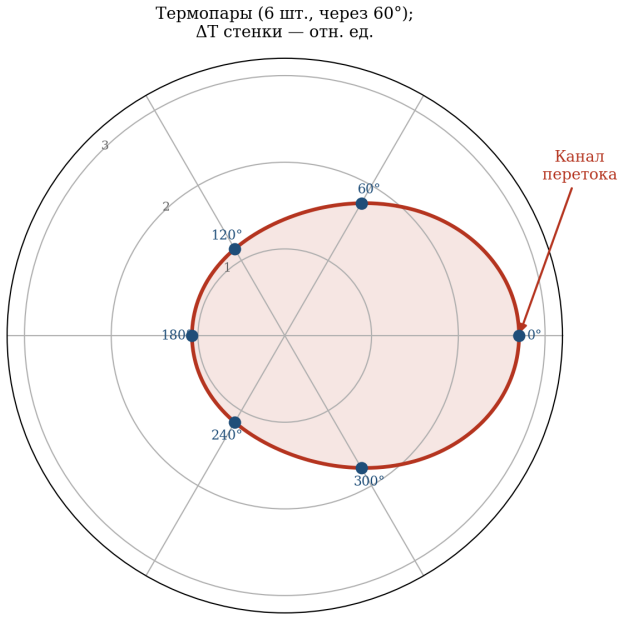


Рис. 2. Азимутальное распределение температуры стенки колонны при локализованном канале перетока

На рисунках 1 и 2 представлены измерительный прибор и результат эксперимента в ходе исследований.

Исследование подобных процессов непосредственно в реальных скважинах затруднено, поэтому эффективным инструментом является физическое моделирование. Оно позволяет в контролируемых условиях воспроизводить тепловые признаки заколонного перетока, исследовать особенности температурного поля и совершенствовать методику его регистрации.

Литература

1. Валиуллин Р.А., Кнеллер Л.Е. Геофизические исследования и работы в скважинах. В 7 томах. Том 1. Промысловая геофизика – Уфа: Информреклама, 2010. – 172 с.

© Муртазин Т.А., Валиуллин Р.А., 2026

УДК 532.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРЁХФАЗНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Ильясов И.А., Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Зиннатуллин Р.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В нефтяной промышленности исследование расслоения дисперсных систем особенно важно, поскольку на разных этапах добычи нефти и производства нефтепродуктов образуются высокоустойчивые системы – водонефтяные эмульсии и суспензии. Они могут осложнять процессы подготовки нефти на установках подготовки нефти, утилизации нефтяныхотходов, очистки сточных вод и т.д. Данная работа посвящена изучению влияния параметров электромагнитного поля на динамику расслоения трёхфазных дисперсных систем.

Для того чтобы изолировать влияние внешних факторов и получить воспроизводимые результаты, в качестве объектов исследования была использована модельная трехфазная эмульсия, а не реальная нефть, состав которой постоянно меняется. Система состояла из трансформаторного масла, дистиллированной воды и механических примесей, в роли которых выступали микрочастицы глины. В качестве стабилизатора использовалось поверхностно-активное вещество Span 80.

Для проведения исследования была собрана экспериментальная установка, основной частью которой являлась ячейка с вытравленными на токопроводящих стеклах электродами. В ходе экспериментов варьировались три ключевых параметра: частота электромагнитного поля (ЭМП), приложенное напряжение и величина межэлектродного зазора.

Обобщая результаты по всем сочетаниям зазора, частоты и напряжения, методом цифровой обработки изображений в Matlab и математического моделирования в Python была построена карта режимов электромагнитного воздействия поля. В результате исследований обнаружено, что абсолютный максимум выхода чистой воды достигается при межэлектродном зазоре 300 мкм, частоте ЭМП 1 кГц и напряжении 100 В.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №25-27-00181, https://rscf.ru/project/25-27-00181/).

© Ильясов И.А., Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Зиннатуллин Р.Р., 2026

УДК 532, 519.6

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТОВ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ МИКРОТЕПЛООБМЕННИКОВ НА ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОФАЗНОГО ПОТОКА

Галиева К.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Подбор оптимальной геометрии внутренней структуры рабоче области микроканальных теплообменников является актуальной задачей, решение которой позволит повысить эффективность систем охлаждения. Настоящая работа посвящена исследованию влияния изменения формы пинов на пропускную способность и тепловые характеристики однофазного потока в микроканале высотой 50 мкм. Расчет проведен в программном комплексе для вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent (2021R2) при заданном перепаде давления в диапазоне от 2 до 10 кПа. Более подробно используемая модель и постановка задачи описаны в работах [1, 2]. Получены распределения температурных полей для трех вариантов форм пинов – круглого поперечного сечения, каплевидные пины в двух вариациях расположения по направлению к потоку. Построены кривые изменения числа Нуссельта, коэффициента гидродинамического сопротивления и максимальной температуры подложки при увеличении перепада давления на участке микроканала. Результаты многопараметрических расчетов показали, что форма пинов влияет на термогидродинамические характеристики системы и наиболее эффективной является каплевидная форма, расположенная широкой стороной по направлению к потоку охлаждающей жидкости.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00697, https://rscf.ru/project/24-19-00697/

Литература

1. Низамова, А.Д., Галиева, К.А., Солнышкина, О.А. // Исследование течения жидкости в микроканале с массивом пинов с учетом теплообмена. Письма в Журнал технической физики, 2025, т. 51(24), с. 37–40.

2. Solnyshkina, O.A., Bikkinina, N.B., Galieva, K.A., Bulatova, A.Z., Garifullin, I.S. // Mass Transfer Analysis in Microchannels with Single and Dual Scale Pin Fin Array Configurations, 2026.

© Галиева К.А., 2026

УДК 536.24, 532.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В ШЕРОХОВАТЫХ КРЕМНИЕВЫХ МИКРОКАНАЛАХ

Галиева К.А., Солнышкина О.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Развитие электроники требует эффективного отвода тепла в микроканальных системах. Искусственная шероховатость разрушает ламинарный подслой, повышая число Нуссельта и интенсивность теплообмена, но одновременно увеличивает гидродинамическое сопротивление и энергозатраты. Настоящее исследование посвящено изучению гидродинамических и тепловых характеристик потока в изготовленных методами мягкой литографии, химического травления и анодного склеивания плоских кремниевых микроканалах, подверженных постобработке в установке плазмо-химического травления в режиме одного генератора для создания искусственной трехмерной шероховатости. Определенная методами спектрометрии высота каналов составила 15 мкм с погрешностью 500 нм.

Было рассмотрено влияние изменения мощности основного генератора в установке плазмо-химического травления на морфологические параметры поверхности кремния. Для 6 микроканалов в ходе эксперимента по определению пропускной способности были получены зависимости объемного расхода рабочей жидкости, в качестве которой выступала дегазированная дистиллированная вода, от заданного перепада давления. Более подробно с методикой подобного эксперимента можно ознакомиться в [1-3].

Также была проведена серия расчетов течения вязкой несжимаемой жидкости в микроканалах, геометрия которых соответствовала используемым в эксперименте структурам. Расчеты для стационарного течения жидкости были выполнены с использованием программного обеспечения ANSYS Fluent (2021R2). Результаты изменения объемного расхода при варьировании перепада давления совпадают с полученными в результате эксперимента для гладкого канала без постобработки.

Кроме того, в ходе эксперимента по определению тепловых параметров были определены зависимости перепада температур на входе и выходе из системы, а также теплового потока, выносимого из устройства, от заданного объемного расхода флюида. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Так, по полученным в ходе эксперимента зависимостям можно судить о двойственном влиянии шероховатости на процесс отвода тепла: более шероховатые каналы действительно способны отводить большие тепловые

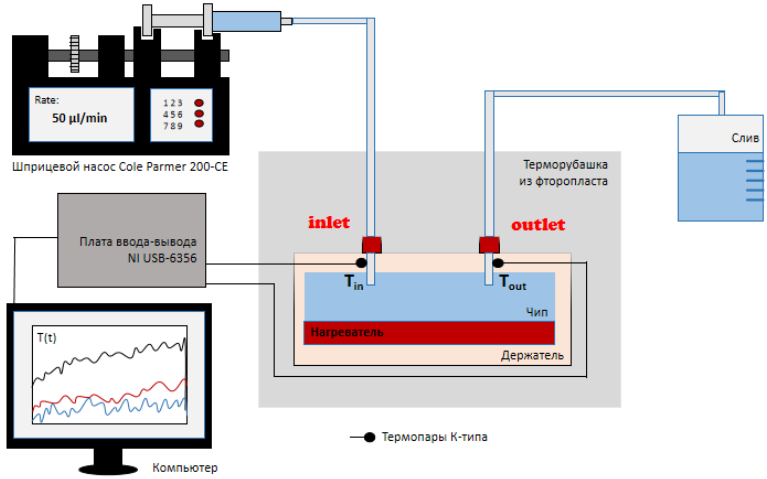


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения тепловых характеристик системы

потоки, но в то же время они являются причиной повышенного расхода теплоносителя.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00697, https://rscf.ru/project/24-19-00697/

Литература

1. Galieva, K., Garifullin, I., Batyrshin, E., Solnyshkina, O. // Experimental analysis of fluid dynamics in microchannels featuring two-scale fin pin arrays. In EPJ Web of Conferences, 2025, v. 321, p. 01006. EDP Sciences.

2. Solnyshkina, O.A., Bikkinina, N.B., Galieva, K.A., Bulatova, A.Z., Garifullin, I.S. // Mass Transfer Analysis in Microchannels with Single and Dual Scale Pin Fin Array Configurations, 2026.

3. Батыршин, Э.С., Солнышкина, О.А., Питюк, Ю.А. // Изучение особенностей пропитки сред с двумя масштабами пористости. Журнал технической физики, 2021, т. 91(4), с. 553–557.

© Галиева К.А., Солнышкина О.А., 2026

УДК 622.276:004.89:519.254

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Хаматдинов М.Ф.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящее время при разработке нефтегазовых месторождений широко распространено использование нагнетательных скважин, в ходе эксплуатации которых проводятся промыслово-геофизические исследования (ПГИ). В задачи ПГИ традиционно входит определение поинтервального расхода закачиваемой жидкости, для решения этой задачи самым информативным и доступным способом является термометрия [1].

В данной работе для определения поинтервального расхода флюида выполнены разработка и развитие свёрточной нейросети для решения обратной задачи выделения интервалов поглощения флюида (рис. 1) в связке с симулятором термогидродинамических процессов «ISim» для определения количественных характеристик в нагнетательных скважинах (рис. 2).

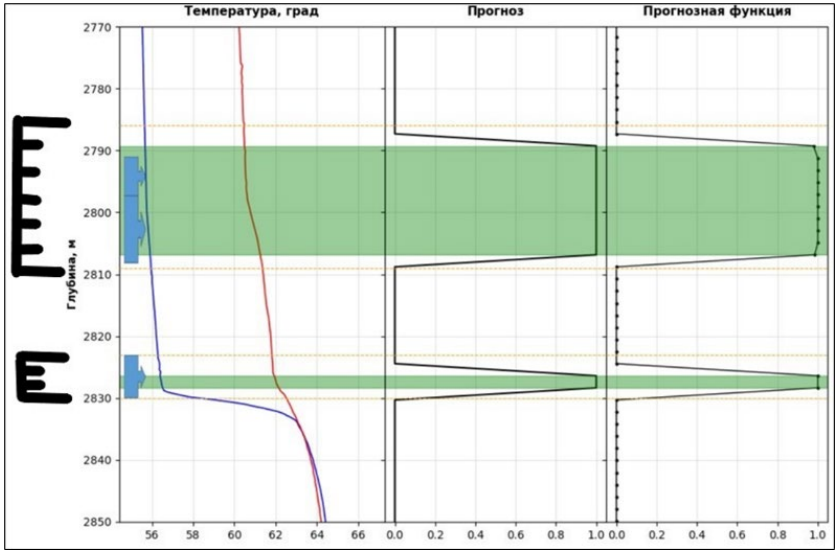


Рис. 1. Пример валидации обученной нейросети

На рис. 1 представлен пример валидации модернизированной модели свёрточной нейросети на полевых данных. Сходимость результатов обработки нейросетью с фактическими интервалами поглощения определялась по метрике «индекса Жаккарда», уточнённой для условий развития методологий обучения. Составной индекс сходимости на данном примере равен 81.5% от фактических интервалов поглощения, несмотря на отсутствие дифференциации на 2 выделяемых пласта в верхнем интервале перфорации.

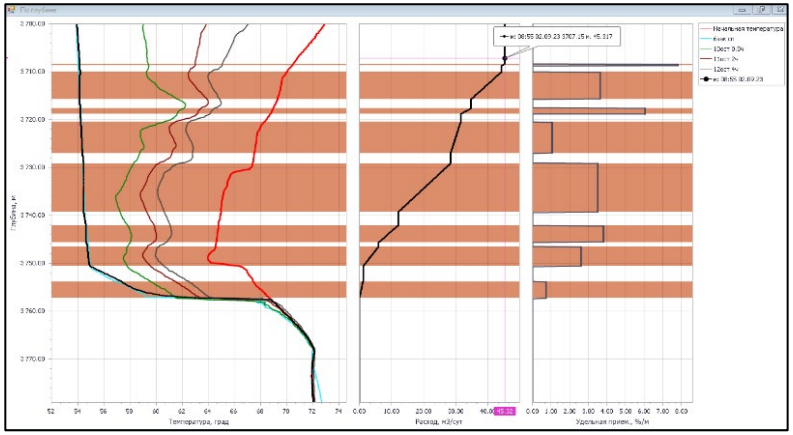


Рис. 2. Пример количественной интерпретации интервалов, выделенных свёрточной нейросетью

На рис. 2 представлен пример количественной интерпретации выделенных свёрточной нейросетью интервалов поглощения в термосимуляторе ISim. Составной индекс сходимости на данной скважине равен 68% от фактических интервалов поглощения, поэтому при восстановлении истории работы скважины и подборе проницаемостей принимающих интервалов удалось «приблизить» форму расчётной модельной кривой и полевой кривой без выхода на фактические значения расхода, равные 75 м3/сут. Это обусловлено влиянием непроницаемых интервалов, ошибочно выделенных нейросетью при обработке кривых.

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.

© Хаматдинов М.Ф., 2026

УДК 532.5, 536.2, 536.5

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В КРЕМНИЕВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С РАЗНОЙ СИСТЕМОЙ МИКРОКАНАЛОВ

Батыршин К.Э., Солнышкина О.А., Батыршин Э.С.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Для стабилизации работы микроэлектронных компонентов становится актуальным использование жидкостных систем охлаждения на основе мини- и микротеплообменников. Внутренняя структура таких систем играет главную роль в интенсификации теплообмена. Целью настоящей работы было проведение экспериментального и численного изучения однофазного течения в кремниевых микротеплообменниках с разной структурой каналов и сравнение их тепловых характеристик.

Для проведения экспериментов был изготовлен ряд микротеплообменников из кремния с несколькими вариантами пространственной упаковки цилиндрических пинов в рабочей области канала. Готовый образец устанавливался на нагреватель постоянной мощности. Подача жидкости осуществлялась с помощью шприцевого насоса, температуры подложки и жидкости на входе и выходе измерялись термопарами К-типа. Для обработки данных в режиме реального времени был разработан код в среде Matlab. Численное моделирование тепломассопереноса осуществлялось в ANSYS Fluent (2021R2). Граничные условия и особенности реализации представлены в [1]. Полученные зависимости разницы температуры жидкости на входе и выходе из микроканала от объемного расхода были сопоставлены с результатами эксперимента, получено хорошее согласование результатов. Кроме того, были получены и проанализированы зависимости коэффициента средней теплопередачи, числа Нуссельта и термического сопротивления.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ № 24-19-00697, https://rscf.ru/project/24-19-00697/).

Литература

1. А. Д. Низамова, К. А. Галиева, О. А. Солнышкина Исследование течения жидкости в микроканале с массивом пинов с учетом теплообмена// Письма в Журнал технической физики. – 2025. – Т. 51, № 24. – С. 37-40.

© Батыршин К.Э., Солнышкина О.А., Батыршин Э.С., 2026

УДК 532.5

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В МИКРОКАНАЛАХ С МАССИВОМ ПИНОВ НЕПОЛНОЙ ВЫСОТЫ

Сафина И.Ф., Солнышкина О.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Проведение трехмерного исследования течения в микроканалах со сложной внутренней структурой необходимо для корректного описания пространственного перераспределения скорости, формирования вторичных и рециркуляционных течений, а также связанных с ними локальных гидродинамических потерь, которые не могут быть адекватно учтены в двумерной постановке. Настоящая работа посвящена применению трехмерного ускоренного метода граничных элементов для исследования влияния изменения высоты пинов относительно высоты канала на интегральную пропускную способность участков микрофлюидного устройства и перераспределение полей скорости. Более подробно численная методика описана в работах [1-2]. Показано, что уменьшение высоты пинов со 100 до 50% высоты канала существенно увеличивает продольную и вертикальную компоненты скорости, тогда как поперечная компонента изменяется умеренно. Увеличение высоты пинов с 50 до 75% обеспечивает более значительный прирост пропускной способности канала, чем дальнейшее увеличение до 100%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00697, https://rscf.ru/project/24-19-00697/

Литература

1. Ю.А. Иткулова, О.А. Абрамова, Н.А. Гумеров, И.Ш. Ахатов Моделирование динамики пузырьков в трехмерных потенциальных течениях на гетерогенных вычислительных системах быстрым методом мультиполей и методом граничных элементов// Вычислительные методы и программирование. – 2014. – Т. 15, № 2. – С. 239-257.

2. О.А. Абрамова, Ю.А. Иткулова, Н.А. Гумеров, И.Ш. Ахатов Трехмерное моделирование динамики деформируемых капель эмульсии методом граничных элементов и быстрым методом мультиполей на гетерогенных вычислительных системах// Вычислительные методы и программирование. – 2013. – Т. 14, № 4. – С. 438-450.

© Сафина И.Ф., Солнышкина О.А., 2026

УДК 552.54:550.8.05

ЛИТОЛОГО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ПО КЛАССИФИКАЦИИ ДАНХЕМА НА ОСНОВЕ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ШЛИФОВ И ДАННЫХ ГИС

Абызбаева А.З.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Для прогноза нефтегазоносности карбонатных коллекторов необходимо понимание их фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС). Петрографические методы дают качественную картину, однако для интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС) нужна количественная литологическая типизация. Классификация Данхема связывает условия осадконакопления с вторичными изменениями и ФЕС [1]. В работе [1] показано, что её модифицированный вариант (с разделением пакстоунов на две группы) позволяет прогнозировать проницаемость по пористости при вычете вклада изолированных каверн.

Материалом послужили шлифы карбонатных пород из продуктивных интервалов скважин. Исследования проводились с использованием оптического микроскопа Saike Digital SK2009. Дополнительно применялся метод автоматизированной обработки изображений для оценки пористости. Для сопоставления использовались данные лабораторных исследований керна (пористость, проницаемость) и каротажные диаграммы: гамма-каротаж (ГК), нейтронный гамма-каротаж (НГК), акустический каротаж (АК).

В отличие от предыдущих работ авторов, где описывались отдельные образцы, в данном исследовании для изученного объекта выполнена комплексная типизация карбонатных пород по Данхему с привязкой к ГИС и ФЕС. Это позволяет выявить генетическую связь между условиями седиментации и вторичными преобразованиями, среди которых выделяются уплотнение, выщелачивание, окремнение и трещиноватость. Уплотнение и окремнение оказывают негативное влияние на ФЕС, снижая объём пустотного пространства и ухудшая сообщаемость пор, причём окремнение приводит к практически полной потере коллекторских свойств [2, 3]. Выщелачивание и трещиноватость, напротив, способствуют улучшению ФЕС за счёт формирования вторичных пустот и путей фильтрации. При этом вторичные процессы могут накладываться друг на друга, что необходимо учитывать при интерпретации. Учёт этих процессов при типизации по Данхему позволяет обосновать критерии выделения коллекторов по данным ГИС без отбора керна.

По предварительным данным, сопоставление выделенных литотипов с данными ГИС показывает, что породы с текстурой грейностоун и пакстоун характеризуются пониженными значениями естественной радиоактивности (ГК) и пониженными показаниями НГК. Это обусловлено тем, что данные разности сложены форменными скелетными элементами, менее подвержены уплотнению и обладают более высокой межзерновой пористостью, что снижает объёмную плотность и, соответственно, регистрируемый поток нейтронов. Напротив, микрозернистые разности — мадстоун и вакстоун — зачастую содержат рассеянное глинистое вещество, накапливающееся в спокойноводных условиях, и поэтому характеризуются относительно повышенными значениями ГК, хотя в целом карбонатный разрез отличается невысокой радиоактивностью. По НГК в этих интервалах также отмечается некоторое повышение, связанное с меньшим объёмом пустотного пространства и большей степенью уплотнения микрозернистого матрикса. Данные закономерности проявляются наиболее отчётливо при условии слабой доломитизации, поскольку доломитизация может вносить дополнительный вклад в показания НГК независимо от текстурного типа породы.

В результате работы выполнена типизация карбонатных пород по Данхему и установлена связь выделенных литотипов с данными ГК, НГК и АК. Грейностоун и пакстоун дают пониженные ГК и НГК, мадстоун и вакстоун — повышенные. Полученные результаты применимы для выделения коллекторов без отбора керна и обоснования зон с улучшенными ФЕС.

Литература

1. Lucia, F.J. Carbonate Reservoirs: Origin, Description, and Petrophysical Properties. — Springer, 2007. — 350 p.

2. Рясной, А.А., Савельева, Е.Н. Влияние вторичных процессов на коллекторские свойства карбонатных пород верейского нефтегазоносного комплекса (Северо-Запад Республики Башкортостан) // Региональная геология и металлогения. — 2019. — № 77.

3. Данилова, Е.М. Влияние вторичных преобразований на изменение фильтрационно-емкостных свойств карбонатного трещинно-кавернозного коллектора // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. — 2016. — № 2 (55).

© Абызбаева А.З., 2026

УДК 532.546, 519.633

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ПРОДУКТИВНОМ НЕФТЯНОМ ПЛАСТЕ В ПК «РН-КИМ»

Латыпов Т.Р., Латыпова А.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Низкопроницаемые коллекторы характеризуются нарушением линейного закона Дарси: фильтрация становится заметной лишь при превышении предельного градиента давления *Gi*. Игнорирование этого эффекта приводит к завышению прогнозных дебитов, переоценке радиусов дренирования и искажению локализации остаточных запасов. Для более адекватного моделирования реальных пластовых систем в уравнения фильтрации вводятся дополнительные зависимости, учитывающие нелинейные эффекты. Во многих публикациях изучается влияние предельного градиента на динамику разработки низкопроницаемых коллекторов. Для качественного понимания изучаемого процесса и для контроля правильности численных расчётов сохраняют актуальность исследования, сочетающие аналитические и численные подходы. В нашей работе с помощью Python-скриптов и ПК «РН-КИМ» реализована гибридная модель, динамически переключающаяся между линейным и нелинейным режимами течения в зависимости от текущего градиента давления. Вводится безразмерный коэффициент нелинейной фильтрации $a(G)=1-(G/Gi)(1-\exp(-G/Gi))$, по которому корректируется проводимость граней расчётных ячеек; ячейки LGR в трещинах ГРП не изменяются. С помощью предложенного алгоритма построены и проанализированы зависимости дебита нефти, пластового давления и остаточных запасов от времени в частных случаях: базовая линейная модель; гибридная модель при *Gi*=0,001; 0,01; 00,1 МПа/м. Показано, что при *Gi*=0,001 МПа/м различия незначительны, при *Gi*=0,01 МПа/м снижение дебита за 10 лет составляет 21,91 %, *Gi*=0,1 МПа/м — 60,21 %, при этом зона дренирования локализуется вблизи скважин и трещин ГРП [1].

Литература

1. Латыпов Т. Р. Моделирование нестационарной нелинейной фильтрации в продуктивном нефтяном пласте в ПК «РН-КИМ»: Выпускная квалификационная работа магистра / Т. Р. Латыпов; науч. рук. А. Я. Давлетбаев; Уфимский университет науки и технологий. — Уфа, 2026. — 71 с.

© Латыпов Т.Р., Латыпова А.Р., 2026

УДК 556.55 (282.247.411)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Рюков А.И.[1], Вахитова Г.Р.[2]
[1]Школа № 37 г. Уфы им. Героя Советского Союза В.Г. Недошивина, г. Уфа, Россия
[2]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Изменение уровня Каспийского моря в настоящее время приобретает особую важность. В открытых источниках отмечается устойчивое падения его уровня: к 2025 году отметка достигла −29,4 м, что ниже исторического минимума 1977 года, а площадь акватории с 1996 года сократилась на 28 644 км² (7,4%). Ученые обсуждают проблему преобладания внешних факторов — сокращение речного стока и рост испарения — над компенсирующим морфометрическим эффектом [1, 2, 3].

В связи с этим, актуальность темы заключается в обеспечении экологической безопасности и затрагивает пять прикаспийских государств. Несмотря на значительное число работ, посвящённых отдельным компонентам водного баланса, остаётся дискуссионным вопрос о количественном соотношении вкладов речного стока, испарения и атмосферной циркуляции в наблюдаемое падение уровня. Это и определяет необходимость обобщающего анализа динамики элементов водного баланса Каспийского моря.

Цель работы — на основе комплексного анализа систематизировать динамику изменения элементов водного баланса Каспийского моря, оценить относительный вклад речного стока, испарения и климатических факторов в падение уровня моря и выполнить прогноз состояния водоёма с применением алгоритмов искусственного интеллекта к 2050 году.

На данном этапе выполнения исследования собраны исходные данные среднегодовых значений элементов вводного баланса Каспийского моря за период 1948-2025 гг. Выполнен критический анализ математических моделей для прогноза изменения уровня моря. Это *модель водного баланса*, самая простая, позволяющая сделать ретроспективный анализ и определить вклады отдельных компонентов и определить, какой фактор (сток или испарение) доминировал в тот или иной период. Но для долгосрочного прогноза она не подходит. Лучший прогноз падения уровня Каспийского моря возможен при применении ансамблевого подхода, в котором важны физически обоснованные климатические проекции (CMIP6) *и* гибридные модели, сочетающие машинное обучение с уравнением водного баланса.

После подбора моделей рассчитывается водный баланс бассейна для каждой из них. Затем результаты усредняются по ансамблю. Именно такой подход будет более достоверным и позволит получить надежный прогноз изменения уровня Каспийского моря.

Литература

1. Костяной А. Г., Малинин В. Н., Фролов А. В. Основные причины изменения уровня Каспийского моря // Фундаментальная и прикладная климатология. 2025. Т. 11. № 3. С. 338-373. DOI: 10.21513/2410-8758-2025-3-338-373

2. Е.В. Островская, А.В. Павлова. Связь уровня и составляющих водного баланса Каспийского моря с индексами крупномасштабной атмосферной циркуляции (1950–2023 гг.) // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2026. № 1 (399). С. 102-122. DOI: https://doi.org/10.37162/2618-9631-2026-1-102-122

3. Морозова П.А., Кислов А.В. и др. Моделирование испарения с поверхности Каспийского моря // Водные ресурсы, 2021, 48(6)

© Рюков А.И., Вахитова Г.Р., 2026

УДК 550.8:539.3

АНАЛИЗ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ И ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ПРИ ПЕТРОУПРУГОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ГОРНЫХ ПОРОД СО СЛОЖНЫМ ТИПОМ ПОРИСТОСТИ

Кузябаев Р.В., Рахимьянова Г.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Карбонатные породы являются одним из главных объектов поисково-разведочных работ на углеводороды, занимая значительную долю в структуре мировых запасов нефти и газа. Карбонатные коллекторы отличаются разнообразием строения: они формируются в широком диапазоне седиментационных обстановок и впоследствии подвергаются интенсивным вторичным преобразованиям — выщелачиванию, доломитизации, перекристаллизации и трещинообразованию. В результате их пустотное пространство может представлять собой сложную комбинацию микропор, крупных каверн, трещин и межкристаллических пустот, что существенно затрудняет прогнозирование их коллекторских свойств по геофизическим данным. Решение данной проблемы возможно с помощью петроупругого моделирования.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ современных методов петроупругого моделирования, применяемых для

карбонатных горных пород, с выявлением их преимуществ, ограничений и областей эффективного использования.

Анализ эмпирических моделей показал, что, несмотря на их простоту и вычислительную эффективность, они имеют ограниченную применимость для карбонатных пород: эмпирические зависимости отвечают на вопрос «как», но не объясняют «почему», что существенно ограничивает их прогностическую ценность.

Эвристические подходы — модель критической пористости, модель двойной пористости и метод усреднения границ Мариона — оказались более гибкими, учитывающими структурное разнообразие карбонатных коллекторов. Их ценность особенно велика на этапе качественного анализа, когда требуется объяснить аномалии упругих свойств, а детальная информация о микроструктуре отсутствует.

Наиболее строгим физическим аппаратом является теория эффективных сред. В работе рассмотрены модели разного уровня сложности: от реперных границ Хашина-Штрикмана, задающих теоретический коридор возможных значений модулей, до специализированных подходов, учитывающих взаимодействие включений и анизотропию. Установлено, что модель Кастера-Токсёза применима лишь при невысоких значениях пористости (менее 10%), тогда как дифференциальная эффективная среда (DEM) и самосогласованная модель (SC) позволяют работать с более высокими значениями пористости, но требуют задания формы включений и дают разные результаты при одинаковых входных параметрах. Исследования показали, что DEM обеспечивает наилучшее соответствие лабораторным измерениям для плотных низкопористых карбонатов, что объясняется изолированным характером пор в таких породах. Для карбонатов со сложным пустотным пространством наиболее адекватными признаны модели двойной пористости, позволяющие разделить вклад различных типов пустот.

Таким образом, в работе показано, что эффективность прогнозов петроупругих свойств карбонатных коллекторов определяется обоснованным выбором модели. Дальнейшие исследования будут связаны с разработкой гибридных подходов, сочетающих сильные стороны различных моделей, а также с интеграцией петроупругого моделирования с современными методами машинного обучения для автоматизации выбора оптимальной модели на основе петрофизических данных.

Литература

1. Березина И.А. Петроупругое моделирование карбонатных пород: обзор некоторых методов теории эффективных сред и аспектов их применимости // Экспозиция Нефть Газ. – 2019. – № 2 (69). – С. 36–46.

2. Вахитова Г.Р., Кашанова Л.М., Сахаутдинов И.Р. Прогноз пород-коллекторов по результатам петроупругого моделирования терригенных и карбонатных отложений // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 12. – С. 52–58.

3. Васильев М.А., Гомонов А.А., Макухо Д.М., Козиков Д.В. Петроупругое моделирование как инструмент обоснования возможной ценности сейсмической инверсии на примере месторождения Восточной Сибири // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2023. – Т. 8, № 4. – С. 99–114.

© Кузябаев Р.В., Рахимьянова Г.Р., 2026

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПОПУЛЯЦИОННОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ГЕНЕТИКЕ»

УДК 575.174:599.9

ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТА rs2279343 ГЕНА CYP2B6 У ВЕПСОВ И КАРЕЛОВ

Джаубермезов М.А.[1,2], Куряев Б.Р.[1], Киль Е.Е.[1], Екомасова Н.В.[1,2], Габидуллина Л.Р.[1], Хуснутдинова Э.К.[1,2]

[1]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

[2]Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа, Россия

Цитохром Р450 2В6 (*CYP2B6*) — ген, относящийся к семейству цитохромов Р450, отвечающих за метаболизм различных медицинских препаратов, используемых в психиатрии, онкологии и кардиологии [1]. Ген расположен на 19-й хромосоме. Его экспрессия происходит преимущественно в печени. Кодируемый белок CYP2B6 является монооксигеназой, участвующей в метаболизме ксенобиотиков и различных лекарственных препаратов [2, 3]. Генетическая вариабельность *CYP2B6* может определять индивидуальные особенности активности фермента и, соответственно, метаболизма лекарственных средств, что делает изучение полиморфных вариантов данного гена актуальным направлением популяционно-генетических и фармакогенетических исследований.

В исследовании приняли участие 119 предположительно здоровых лиц 2 финно-угорских популяций с территорий Российской Федерации (вепсы и карелы). Отбор проб проводился в соответствии с этическими стандартами Комитета по биоэтике, разработанными Хельсинкской декларацией ВМА. ДНК была извлечена из периферической крови с использованием фенольно-хлороформного метода. Для генотипирования полиморфных локусов использовалась технология ПЦР в реальном времени TaqMan.

В результате проведённого исследования была изучена представленность полиморфного варианта rs2279343 гена *CYP2B6* в исследованных популяциях вепсов и карелов. Установлено наличие данного полиморфного варианта в обеих изученных популяциях. Полученные результаты свидетельствуют о наличии генетической вариабельности по исследуемому локусу и позволяют рассматривать его в качестве перспективного маркера для дальнейших популяционно-генетических и фармакогенетических исследований финно-угорских популяций.

На основании анализа частот генотипов и расчёта критерия χ^2 можно сделать вывод, что обе исследованные популяции не находятся в равновесии Харди–Вайнберга ($p<0,05$). Выявленные особенности распределения генотипов rs2279343 представляют интерес для дальнейшего изучения генетической структуры финно-угорских популяций и сопоставления полученных данных с другими популяциями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-03-2026-464/3.

Литература

1. Zhou S.F. // Clin. Pharmacokinet., 2009, v. 48(12), pp. 761–804.
2. Hiroi T, Imaoka S, Funae Y. Dopamine formation from tyramine by CYP2D6. Biochem Biophys Res Commun. 1998 Aug 28;249(3):838-43.
3. Yu AM, Idle JR, Byrd LG, Krausz KW, Küpfer A, Gonzalez FJ. Regeneration of serotonin from 5-methoxytryptamine by polymorphic human CYP2D6. Pharmacogenetics. 2003 Mar;13(3):173-81.

© Джаубермезов М.А., Куряев Б.Р., Киль Е.Е., Екомасова Н.В., Габидуллина Л.Р., Хуснутдинова Э.К., 2026

УДК 575.174:599.9

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ВАРИАНТА rs2279343 ГЕНА *CYP2B6* В ФИННО-УГОРСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ ВОЛГО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Киль Е.Е.[1], Джаубермезов М.А.[1,2], Куряев Б.Р.[1], Екомасова Н.В.[1,2], Габидуллина Л.Р.[1], Хуснутдинова Э.К.[1,2]
[1]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия
[2]Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа, Россия

Цитохром Р450 (CYP450) - это суперсемейство гемопротеинов, участвующих в I фазе биотрансформации ксенобиотиков. Эти ферменты играют ключевую роль в метаболизме широкого спектра соединений: лекарственных препаратов, гормонов, витаминов и др. Данные ферменты характеризуются высокой степенью полиморфизма, и в зависимости от генетического профиля человека их ферментативная активность может изменяться. В этой связи, анализ генетических вариантов генов данного семейства представляет ценность для проведения фармакогенетических исследований и оценки риска развития многофакторных заболеваний [1].

Ген *CYP2B6* — единственный представитель подсемейства *CYP2B* у человека, кодирующий функционально активный фермент. Он локализован на 19-й хромосоме (19q13.2), в непосредственной близости от близкородственного псевдогена *CYP2B7P*. Генетические вариации в локусе *CYP2B6* могут влиять на метаболизм и биоактивацию клинически значимых лекарственных препаратов [2]. Генетический вариант rs2279343 (c.785A>G в экзоне 5 гена *CYP2B6*) ассоциирован со снижением каталитической активности фермента и изменением метаболизма эфавиренза [3].

Материалом для исследования служили образцы ДНК, выделенные из цельной крови неродственных представителей популяций мордвы (N=92), коми (N=86), марийцев (N=55) и бесермян (N=91). 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».

Полученные результаты свидетельствуют о наличии генетической вариабельности по исследуемому локусу и позволяют рассматривать его в качестве перспективного маркера для дальнейших популяционно-генетических и фармакогенетических исследований финно-угорских популяций.

На основании анализа распределения генотипов и результатов расчёта критерия χ^2 установлено отклонение исследованных популяций от равновесия Харди–Вайнберга. Выявленные особенности распределения генотипов по полиморфному варианту rs2279343 свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения генетической структуры популяций Волго-Уральского региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-03-2026-464/3.

Литература

1. Kassogue Y. et al. // Medicine (Baltimore). 2021, v. 100(29), e26614.

2. Desta Z. et al. // Clin Pharmacol Ther. 2021, v. 110(1), p. 82-97.

3. Kassogue Y. et al. // Pharmacogenet Genomics. 2022, v. 32(6), p. 219-225.

© Киль Е.Е., Джаубермезов М.А., Куряев Б.Р., Екомасова Н.В., Габидуллина Л.Р., Хуснутдинова Э.К., 2026

УДК 577.29

ИЗУЧЕНИЕ АССОЦИАЦИИ ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА RS7069102/*SIRT1* С РИСКОМ РАЗВИТИЯ РАКА ЯИЧНИКОВ

Каримова Д.И.[1], Андреева Е.А.[2], Аминова Э.Т.[1], Фаисханова Р.Р.[3], Хуснутдинова Э.К.[1,4], Прокофьева Д.С.[1]

[1]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

[2]Уральский медицинский институт, г. Челябинск, Россия

[3]Республиканский клинический онкологический диспансер, г. Уфа, Россия

[4]Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра Российской академии наук, г. Уфа, Россия

Рак яичников (РЯ) вносит значительный вклад в структуру женской смертности. Одним из генов-кандидатов опухолевого роста является *SIRT1*. Белок, кодируемый этим геном, относится к классу I семейства сиртуинов и участвует в регуляции транскрипции. Интронный вариант rs7069102/SIRT1 может влиять на сплайсинг и, таким образом, являться потенциально значимым сайтом, ассоциированным с развитием злокачественных новообразований.

Целью исследования является поиск взаимосвязи варианта rs7069102/*SIRT1* с риском развития рака яичников.

Материалом для исследования послужили образцы ДНК, выделенные из венозной крови пациенток с раком яичников (n=215) и условно здоровых женщин (n=168). Генотипирование осуществлялось при помощи ПЦР в реальном времени.

Частота минорного аллеля *C* rs7069102/*SIRT1* составила 37,4% в группе больных РЯ и 43,8% в группе контроля. При анализе распределения частот аллелей и генотипов полиморфизма rs7069102/SIRT1 в общей выборке и при разделении с учетом клинико-патологических параметров (менопаузальный статус, степень злокачественности, стадия заболевания, наличие метастатического процесса) различия не достигли уровня статистической значимости ($p>0,05$).

Таким образом, вариабельный локус rs7069102/*SIRT1* не взаимосвязан с риском развития РЯ, а также прогнозом данного заболевания.

Работа выполнена по государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ (№ 075-03-2026-464 / 3).

© Каримова Д.И., Андреева Е.А., Аминова Э.Т., Фаисханова Р.Р., Хуснутдинова Э.К., Прокофьева Д.С., 2026

УДК 618.1-006.6:575.113

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МУТАЦИИ C.5266dupC В ГЕНЕ BRCA1 У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЭНДОМЕТРИЯ И ЗДОРОВЫХ ЖЕНЩИН: КЛИНИКО-МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ

Иванова Е.А.[1], Аминова Э.Т.[1], Федорова Ю.Ю.[1], Тяпова Д.С.[1], Загитов И.Р.[2], Прокофьева Д.С.[1], Хуснутдинова Э.К.[1]

[1]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

[2]ГАУЗ Республиканский клинический онкологический диспансер, г. Уфа, Россия

Мутация *BRCA1* c.5266dupC (5382insC) является одним из наиболее распространенных патогенных вариантов в восточноевропейских и славянских популяциях; однако ее вовлеченность в патогенез рака эндометрия (РЭ) оценивается неоднозначно. Цель данного исследования - определение частоты встречаемости герминальной мутации *BRCA1* c.5266dupC среди пациенток с раком эндометрия и здоровых женщин из Республики Башкортостан. Геномную ДНК участниц исследования (69 пациенток с РЭ и 182 здоровых женщины) выделяли из образцов периферической крови, а также (при наличии) из ткани эндометрия методом фенол-хлороформной экстракции. Для выявления мутации *BRCA1* c.5266dupC использовали ПЦР и анализ полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПДРФ). В результате исследования обнаружено гетерозиготное носительство герминальной мутации *BRCA1* c.5266dupC в группе пациенток с раком эндометрия в 4,3% случаев. В контрольной группе здоровых женщин данная мутация не выявлена. Также, при анализе репродуктивного анамнеза было установлено, что наличие абортов ассоциировано с повышенным риском развития рака эндометрия (OR = 2.55; 95% ДИ: 1.14–5.70; p = 0.02). Несмотря на современные популяционные данные о возможном снижении риска рака эндометрия за счет гестационных изменений на ранних сроках беременности, влияние абортов в литературе остается крайне противоречивым, поскольку в индивидуальных клинических случаях прерывание беременности может выступать триггером гормонального срыва и приводить к состоянию некомпенсированной гиперэстрогении.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ МНиВО РФ, соглашение № 075-03-2026-464/3 от 29.05.2026 г.

© Иванова Е.А., Аминова Э.Т., Федорова Ю.Ю. Тяпова Д.С., Загитов И.Р., Прокофьева Д.С., Хуснутдинова Э.К. 2026

УДК 575.174.599.9

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ВАРИАНТА RS8178521 ГЕНА *IL10RB* В ПОПУЛЯЦИЯХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Суфьянова З.Р.[1], Екомасова Н.В.[1,2], Джаубермезов М.А.[1,2], Габидуллина Л.Р.[1], Ахметшин А.А.[2], Карунас А.С.[1,2], Хуснутдинова Э.К.[1,2]

[1]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия
[2]Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Ген *IL10RB* кодирует вспомогательную субъединицу IL-10R2 (IL10RB) рецептора IL-10. Продукт данного гена участвует в передаче сигналов интерферона, наряду с геном *PLSCR1* (Kousathanas et al., 2022). Показано, что аллель T генетического варианта rs8178521 гена *IL10RB* связан с тяжелым течением при COVID-19 (Kousathanas et al., 2022; Pairo-Castineira et al., 2023). Предполагают, что данный генетический вариант ассоциирован с постковидным синдромом (long-COVID) в колумбийской популяции (Angulo-Aguado et al., 2024).

Выборка нашего исследования включает 531 образец ДНК предположительно здоровых лиц из субпопуляций башкир, татар и популяции мордвы из Волго-Уральского региона Северной Евразии. ДНК образцов была выделена методом фенол-хлороформной экстракции. По результатам молекулярно-генетического анализа установлены частоты генотипов и аллелей генетического варианта rs8178521 гена *IL10RB* в исследуемых субпопуляциях башкир, татар и популяции мордвы из Волго-Уральского региона Северной Евразии. Проведено сравнение выявленных частот аллелей и генотипов с литературными данными.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 075-03-2026-464/3.

Литература

1. Kousathanas A., Pairo-Castineira E., Rawlik K., et al. Whole-genome sequencing reveals host factors underlying critical COVID-19 // Nature, 2022, v. 607. (7917), pp. 97–103.

2. Pairo-Castineira E., Rawlik K., Bretherick A.D., et al. GWAS and meta-analysis identifies 49 genetic variants underlying critical COVID-19 // Nature, 2023, v. 617 (7962), pp. 764–768.

3. Angulo-Aguado M., Carrillo-Martinez J.C., Contreras-Bravo N.C., et al. Next-generation sequencing of host genetics risk factors associated with COVID-19 severity and long-COVID in Colombian population // Scientific reports, 2024, v. 14 (1), p. 8497.

© Суфьянова З.Р., Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Габидуллина Л.Р., Ахметшин А.А., Карунас А.С., Хуснутдинова Э.К., 2026

УДК 575.174.599.9

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА RS2279343 ГЕНА CYP2B6 В ПОПУЛЯЦИИ УДМУРТОВ

Маркелова С.А.[1], Павлова М.И.[1], Габидуллина Л.Р.[1], Екомасова Н.В.[1,2], Джаубермезов М.А.[1,2], Хуснутдинова Э.К.[1,2]

[1]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

[2]Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа, Россия

Ген CYP2B6 кодирует фермент цитохром, принадлежащий к суперсемейству P450. Экспрессируется преимущественно в печени. Ген CYP2B6 и с ним связанный псевдоген CYP2B7 расположены в пределах кластера генов CYP2 в 19 хромосоме. Данный цитохром катализирует многие реакции, участвующие в метаболизме лекарственных средств, таких как бупропион, циклофосфамид, эфавиренз, кетамин и метадон, а также имеет клиническое значение для ВИЧ-инфицированных пациентов [1].

В исследовании приняли участие 96 предположительно здоровых лиц из популяции удмуртов с территорий Российской Федерации. Отбор образцов выполнялся в соответствии с этическими стандартами. С использованием фенол-хлороформной экстракции ДНК была извлечена из периферической крови. Генотипирование полиморфных локусов проводилось при помощи метода ПЦР в реальном времени TaqMan.

По результатам молекулярно-генетического анализа установлены частоты генотипов и аллелей варианта rs2279343 гена CYP2B6 в исследуемой популяции удмуртов, проведено сравнение выявленных частот аллелей и генотипов с литературными данными.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 075-03-2026-464/3.

Литература

1. Zanger U. M., Klein K. Pharmacogenetics of cytochrome P450 2B6 (CYP2B6): advances on polymorphisms, mechanisms, and clinical relevance // Frontiers in genetics, 2013, v. 4(24), p. 12.

© Маркелова С.А., Павлова М.И., Габидуллина Л.Р., Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Хуснутдинова Э.К., 2026

УДК 57.575, 57.087

РОЛЬ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ МИКРОРНК В РАЗВИТИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГАСТРИТА

Галеева А.Р., Ерусланова А.С., Федорова Ю.Ю.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Полиморфные варианты в генах, кодирующих микроРНК, или в сайтах связывания микроРНК с мРНК-мишенями могут изменять эффективность регуляторных механизмов, тем самым модулируя активность воспалительных путей и ремоделирование тканей при хроническом гастрите (ХГ). [1]. В нашем исследовании проведен анализ ассоциации полиморфных локусов генов *MIR27A* (rs895819 T>C), *MIR365B* (rs121224 G>C) и *LET7E* (rs8111742 G>A) с риском развития ХГ в выборке отобранных пациентов и контроля из Республики Башкортостан. В качестве материала исследования использованы образцы ДНК 211 пациентов с ХГ и 285 индивидов контрольной группы в возрасте 18-50 лет, проживающих в Республике Башкортостан. Генотипирование выполнено с помощью метода ПЦР в режиме реального времени. Распределение генотипов в изученных группах соответствовало равновесию Харди-Вайнберга. Статистическая обработка включала расчет отношения шансов (OR) с доверительным интервалом и критерий χ^2 с поправкой Йетса для сравнения частот аллелей и генотипов. В результате анализа не выявлены статистически значимые ассоциации изучаемых полиморфизмов с риском развития хронического гастрита. Полученные данные позволяют глубже изучить механизмы и молекулярные основы патогенеза ХГ, а также идентифицировать важные молекулярно-генетические маркеры риска развития данной патологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке «Государственное задание Министерства науки и высшего образования №075-03-2026-464/3 от 29 мая 2026 г.»

Литература

1. Liu Q., Li D., Dai Y., et al. Functional gene polymorphisms and expression alteration of selected microRNAs and the risk of various gastric lesions in Helicobacter pylori-related gastric diseases. // Front Genet. 2023. Vol. 14. 1111956 P.

© Галеева А.Р., Ерусланова А.С., Федорова Ю.Ю., 2026

УДК 575.174:599.9

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА RS11549465 ГЕНА HIF1A В ПОПУЛЯЦИИ КАРАЧАЕВЦЕВ

Габидуллина Л.Р.[1], Хазимуллин И.Ф.[1], Джаубермезов М.А.[1,2], Екомасова Н.В.[1,2], Хуснутдинова Э.К.[1,2]

[1]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

[2]Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа, Россия

Ген HIF1A кодирует альфа-субъединицу транскрипционного фактора HIF-1, который играет ключевую роль в адаптации клеток к условиям пониженного содержания кислорода. Белок HIF-1α выступает в роли главного регулятора клеточного и системного гомеостаза в ответ на гипоксию. Он активирует транскрипцию многочисленных генов, продукты которых увеличивают доставку кислорода или способствуют адаптации к его дефициту [1]. Полиморфный вариант rs11549465 находится в экзоне 12 гена HIF1A на хромосоме 14. Он представляет собой транзицию цитозина (C) на тимин (T) в кодирующей последовательности (c.1744C>T), что приводит к замене пролина на серин в позиции 582 аминокислотной цепи HIF-1α (Pro582Ser). Пролин в позиции 582 находится в пределах кислород-зависимого деградационного домена белка HIF-1a. Повышенная транскрипционная активность аллеля Ser связана со стабильностью белка HIF1α и, следовательно, с устойчивостью клеток к гипоксии [2].

Материалом исследования служили образцы ДНК (N=90), выделенные из периферической венозной крови методом фенольно-хлороформной экстракции. Отбор образцов выполнялся в соответствии с этическими стандартами. Генотипирование полиморфного варианта rs11549465 гена HIF1A проводили методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени с использованием коммерческого набора реагентов производства компании «Синтол» (Россия).

По результатам анализа установлены частоты генотипов и аллелей варианта rs11549465 гена HIF1A в исследуемой популяции карачаевцев, проведено сравнение выявленных частот аллелей и генотипов с данными мировых популяций. Проведена оценка соответствия наблюдаемого распределения генотипов теоретически ожидаемому распределению при равновесии Харди-Вайнберга, расчетные значения критерия χ^2 не достигали статистически значимого уровня ($p>0,05$), что свидетельствует об отсутствии статистически значимых отклонений в распределении исследуемого полиморфного варианта.

Результаты исследования дополняют сведения о генетической вариабельности по исследуемому локусу и обосновывают необходимость дальнейшего изучения HIF1A в контексте адаптации человека к гипоксии

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-03-2026-464/3.

Литература

1. Агаджанян Н. А., Елфимов А. И. Функции организма в условиях гипоксии и гиперкапнии. — М.: Медицина, 1986. — 272 с.

2. Ipekoglu G, Cetin T, Apaydin N, Calcali T, Senel E. The Role of AGT, AMPD1, HIF1α, IL-6 Gene Polymorphisms in the Athletes' Power Status: A Meta-Analysis. Journal of Human Kinetics. 2023.

© Габидуллина Л.Р., Хазимуллин И.Ф., Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К., 2026

СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ, ИНФОРМАТИКИ И ФИЗИКИ»

УДК 538.913

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ VESTA ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ»

Полуденная О.А., Акманова Г.Р.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Дисциплина «Кристаллография» относится к числу сложных для восприятия студентами, поскольку требует развитого пространственного мышления и понимания абстрактных категорий симметрии. Помощь в освоении материала оказывают средства трехмерной визуализации кристаллических структур [1].

Программа VESTA (Visualization for Electronic and STructural Analysis) представляет собой бесплатный инструмент, предназначенный для трехмерной визуализации кристаллических структур и объемных данных [2]. Программа поддерживает более 30 форматов входных данных, включая широко используемый кристаллографический формат CIF.

При изучении кристаллографии программа VESTA позволяет решать следующие учебные задачи: пространственное моделирование (программа воспроизводит кристаллические структуры, заполнения пространства и полиэдров, что помогает визуализировать расположение атомов в элементарной ячейке), работа с симметрией: (студенты могут наглядно увидеть применение операций симметрии, исследовать координационные полиэдры и анализировать точечные группы); визуализация объемных данных (VESTA позволяет строить изоповерхности электронной плотности, что связывает кристаллографию с электронным строением вещества), межпредметные связи (при помощи дополнительных пакетов позволяет моделировать дифракционные картины и связывать теорию кристаллического строения с экспериментальными методами).

Литература

1. Леонюк Н.И., Копорулина Е.В., Волкова Е.А., Мальцев В.В. Кристаллография: зарождение, рост и морфология кристаллов: учебник для вузов. - М.: Юрайт, 2025, 152 с.

2. Momma K., Izumi F. // Journal of Applied Crystallography, 2011, v. 44. pp. 1272-1276.

© Полуденная О.А., Акманова Г.Р., 2026

УДК 372.853

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕЛЕСКОПОВ

Харипова Д.И., Ахтарьянова Г.Ф.
Башкирский государственных педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В работе рассматривается решение количественных (расчетных) задач по геометрической оптике из школьного курса физики, представляющие собой задачи, требующие проведения количественных расчетов с использованием математического аппарата. Для их решения необходимо применять основные формулы и законы, относящиеся к работе оптических систем. Однако, теоретические модели часто не полностью учитывают все физические явления, что может приводить к расхождению с тем, что наблюдается на практике. Решение данной проблемы основывается на экспериментальной проверке, что позволит повысить точность предсказаний и создать основу для формирования навыков научного исследования у школьников [1].

В ходе работы был проведен анализ наличия задач по геометрической оптике с применением телескопов в некоторых задачниках и пособиях для учителей, которых выявил их общую долю - 0,95%. Наибольшее количество задач данного типа представлено в сборнике Воронцова-Вельяминова [2].

Далее были предложены методические рекомендации к их решению:

1. Обсуждение принципов геометрической оптики, лежащих в основе явления.
2. Обсуждение проявления данного принципа при работе с конкретными телескопами.
3. Непосредственный расчёт и интерпретация полученного числа в контексте практических наблюдений.

Исследование подтвердило эффективность интеграции теории и эксперимента в изучении геометрической оптики, что способствует пониманию принципов работы оптических приборов и развитию исследовательских навыков учащихся.

Литература

1. Левитан Е.П. Современная концепция астрономического образования // Земля и Вселенная. – 2003. – № 1. – С. 54−61.
2. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии // Изд. «Наука». – 1977. – С. 272.

© Харипова Д.И., Ахтарьянова Г.Ф., 2026

УДК 372.853

ДОМАШНИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ДЕЙСТВИЙ

Косарев Н.Ф., Фазлыева Э.А.
Башкирский государственных педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Одной из основных задач современной педагогики становится развитие познавательных универсальных учебных действий (УУД). Познавательные УУД – это совокупность навыков и умений, направленных на активное изучение окружающей среды, в ходе которого учащийся выявляет общие закономерности, причины возникновения того или иного явления; прогнозирует результаты тех или иных действий, взаимодействуя и преобразуя действительность. Согласно федеральному государственному образовательному стандарту (ФГОС) познавательные УУД включают в себя: базовые логические и базовые исследовательские действия, а также работа с информацией [1]. Сюда относятся навыки, связанные с выявлением причинно-следственных связей; со способностью устанавливать признаки для той или иной классификации, с умением делать выводы и предположения в ходе исследования, самостоятельно проводить опыты; а также анализировать и синтезировать достоверную и ложную информацию и т.д. [1]. Одним из способов развития познавательных УУД может послужить создание комплекса домашних экспериментальных задач по физике. Решение экспериментальных задач способствует развитию исследовательских навыков у обучающихся. Так как предполагается, что в процессе решения задачи учащиеся самостоятельно собирают экспериментальную установку, проводят опыты, выдвигают гипотезы, анализируют и обобщают полученные результаты, что соответствует развитию познавательных УУД.

Литература

1. Приказ Минпросвещения России от 31.05.2021 N 287 (ред. от 18.06.2025) "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования" [Электронный ресурс] : [Зарегистрировано в Минюсте России 05.07.2021 N 64101] офиц. текст : электронный — URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389560/

© Косарев Н.Ф., Фазлыева Э.А., 2026

УДК 531, 372.853

О ГИРОСКОПАХ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Абдуллин А.У.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В своем докладе мы продолжаем обзор трудных мест курса общей физики [1-2]. Гироскопы – одна из самых наглядных тем в курсе механики. В лекционной демонстрации студенты сразу же видят замечательные свойства гироскопов: устойчивость оси вращения относительно малых воздействий и безынерционность воздействия внешних сил. Момент внешних сил вызывает не угловое ускорение, а сразу угловую скорость прецессии, и поэтому после снятия внешнего момента вращение мгновенно прекращается. В лабораторном практикуме студенты исследуют зависимости угловой скорости прецессии от величины приложенного момента силы и от частоты вращения ротора гироскопа. На решении задач много времени уделить этой интереснейшей теме не получается, но навык расчета силы Кориолиса студенты получают. К тому же, это первый пример гироскопических сил, с которым приходится сталкиваться студентам (силы, зависящие от скорости и направленные всегда перпендикулярно скорости). Дальше, например, сила Лоренца в электричестве. Особое удивление у студентов вызывает тот факт, что гироскопический эффект помимо прокладки курса кораблей и самолетов работает и в их смартфонах (правда, там вместо вращающихся деталей установлены микроскопические осцилляторы).

К сожалению, с некоторых пор из-за сокращения часов на лекциях излагается только приближенная теория гироскопов, без уравнений Эйлера. Отсюда возникает типичная ошибка студентов: «свободный гироскоп не прецессирует». Здесь нужна важная оговорка: «если ось вращения ротора гироскопа совпадает с геометрической осью гироскопа». В противном случае и свободный гироскоп прецессирует, такое движение называется регулярной прецессией (в отличие от псевдорегулярной под действием постоянного момента силы тяжести).

Литература

1. Абдуллин А.У. О механике несжимаемой жидкости в курсе общей физики. // Тезисы докладов XVI Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании», Уфа, 2025. С.216-217.

2. Абдуллин А.У. Зрение как дифракция на зрачке. // Тезисы докладов XV Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании», Уфа, 2024. С.214.

© Абдуллин А.У., 2026

УДК 37.016:004.946

ВОСПРИЯТИЕ И ГОТОВНОСТЬ СТУДЕНТОВ КОЛЛЕДЖА К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ, ФИЗИКЕ, ИНФОРМАТИКЕ

Байназарова Ю.Б., Ахтарьянова Г.Ф.
Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В условиях цифровой трансформации образования актуальным является поиск технологий, повышающих наглядность и интерактивность обучения. Одним из перспективных направлений выступает виртуальная реальность (VR), позволяющая создавать моделируемое пространство для взаимодействия с изучаемыми объектами. VR особенно значима при изучении сложных и пространственных понятий, так как позволяет визуализировать процессы, недоступные для физической реализации.

В целях изучения восприятия и готовности студентов к использованию VR-технологий было проведено анкетирование 50 студентов колледжа БГПУ им. М. Акмуллы в сервисе Яндекс Формы. Опрос выявлял уровень осведомлённости о VR, интерес к их применению, готовность использовать оборудование, а также представления о преимуществах и ограничениях внедрения технологий в образовательный процесс.

Результаты показали высокую распространённость представлений о VR: лишь 6% опрошенных указали на полное отсутствие знаний, тогда как 94% обладают хотя бы базовым представлением о технологии. Наибольший образовательный потенциал VR студенты связывают с визуализацией абстрактных и пространственных объектов и процессов. В целом обучающиеся положительно воспринимают возможность использования VR при изучении математики, физики и информатики и демонстрируют высокий уровень готовности к их применению.

Отдельное внимание уделено барьерам внедрения. Наибольшую озабоченность вызывает высокая стоимость оборудования — её отметили 66% респондентов. По 12% указали на техническую сложность настройки и использования, а также на риск для здоровья (утомление глаз). Таким образом, несмотря на положительное восприятие технологии, существуют объективные ограничения, требующие учёта при планировании внедрения.

Проведённое исследование позволяет сделать вывод о наличии благоприятных предпосылок для внедрения VR-технологий в образовательный процесс при условии решения вопросов стоимости оборудования и технической подготовки преподавателей.

© Байназарова Ю.Б., Ахтарьянова Г.Ф., 2026

УДК 372.853

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОЙ РАБОТЫ ПО АСТРОНОМИИ В РАМКАХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

Современное дополнительное образование в большей степени ориентируется на деятельностные форматы, среди которых проектное обучение занимает ведущее место. При этом астрономия, располагающая богатым потенциалом для межпредметной интеграции, на практике редко выходит за рамки теоретического изложения материала. В работе рассматривается организация проектной деятельности по астрономии в системе дополнительного образования для учащихся 10 класса. На основе системно-деятельностного, личностно-ориентированного и других подходов были предложены методические рекомендации по организации проектной работы с угломерными приборами.

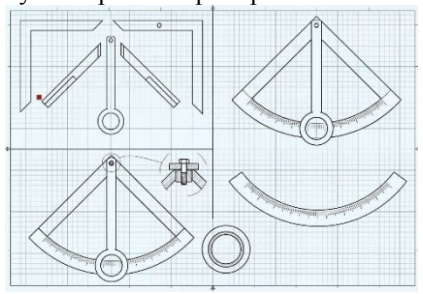


Рис. 1. Рабочие схемы проекта «Модель квадранта» - конечный продукт

Рассмотрим пример проекта «Модель квадранта» (рис.1), для которого поэтапно расписан процесс создания квадранта. К примеру, *технологический этап*, включающий проектирование в векторном редакторе, лазерную резку по дереву, сборку и калибровку прибора. Использование векторного редактора и технологий лазерной резки позволяет модернизировать классические методики изготовления астрономических инструментов. На *исследовательском этапе* проведены необходимые измерения и осуществлён расчёт высоты удалённого объекта с помощью тригонометрии.

Исследование показало, что интеграция теоретических знаний и практических измерений способствует формированию исследовательских компетенций, метапредметных умений и повышению мотивации учащихся к изучению астрономии.

© Хрычёва М. А., Измаилов Р. Н., 2026 г.

УДК 378.147:004.94

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ СИСТЕМНОГО МЫШЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ СРЕДСТВАМИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Абдувасиев С.Б.
Джизакский государственный педагогический университет
им. Абдуллы Кадыри, г. Джизак, Узбекистан

Введение. Развитие системного мышления — важная задача высшего педагогического образования. Использование VR-технологий позволяет визуализировать сложные физические процессы в трехмерном пространстве. Цель исследования — разработать диагностическую модель для комплексной оценки системного мышления студентов при использовании средств VR.

Диагностическая модель. Разработанная модель включает целевой, содержательный, технологический, диагностический и результативный блоки. Структура балльной оценки представлена в таблице 1.

Таблица 1. Структура балльной оценки компонентов

Компонент	Макс. балл
Мотивационный	20
Когнитивный	25
Операционально-деятельностный	25
Рефлексивный	15
VR-компетентность	15
Итого	**100**

Оценка проводится с помощью специальных VR-заданий («Модель Солнечной системы», «Электромагнитная индукция», «Фотоэффект»), экспертного оценивания (3–5 экспертов) и рефлексивных отчетов. Выделены 5 уровней развития системного мышления: высокий (86–100 баллов), выше среднего (71–85), средний (56–70), низкий (41–55), очень низкий (0–40).

Педагогический эксперимент рассчитан на 16 недель (2 часа VR в неделю). Проводится сравнение экспериментальной и контрольной групп с применением статистических критериев (Колмогорова–Смирнова, t-критерия Стьюдента / Манна–Уитни, d Коэна и α Кронбаха).

Заключение. Модель позволяет объективно оценивать динамику системного мышления и методически обосновать эффективность применения VR в обучении физике.

Литература

1. Авлиёкулов Н.Х. Педагогические технологии и педагогическое мастерство. Ташкент: Фан, 2018. 288 с.

2. Senge P. The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization. New York: Doubleday, 2006. 445 p.

© Абдувасиев С.Б., 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Екомасов Е.Г., Хабибуллин Б.Н., Габдрахманова Л.А., Закирьянов Ф.К.
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЕ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ. ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА СОВМЕСТНЫХ МОЛОДЕЖНЫХ НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ ФИЗИКОВ И МАТЕМАТИКОВ……. 3

Балапанов М.Х., Латыпова А.Р.
НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА Р. А. ЯКШИБАЕВА……. 7

Дмитриев С.В., Сугоняко И.С., Таров Д.В.
ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ……... 12

Иудин Д.И.
МОЛНИЯ КАК АСИММЕТРИЧНАЯ ФРАКТАЛЬНАЯ СЕТЬ…….. 14

Кузьмин Д.А., Бычков И.В., Екомасов Е.Г., Шарафуллин И.Ф.
ОТ УРАВНЕНИЯ ЛАНДАУ–ЛИФШИЦА–ГИЛЬБЕРТА К МАГНОННЫМ ЛОГИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТАМ: НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ЦЕПОЧЕК МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ……. 17

СЕКЦИЯ «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОПЕРАТОРОВ»

Юсупов Р., Белова А.С.
ДИНАМИКА СИСТЕМЫ ГАРНЬЕ ДВУХ СВЯЗАННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ…….. 19

Матвеева Ю.А., Белова А.С.
ДИНАМИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА С МЕДЛЕННО ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ДЛИНОЙ…… 20

Черданцев И.Ю. Шандала А.М.
МАТРИЧНЫЙ АНАЛОГ УРАВНЕНИЯ ПЕНЛЕВЕ I……. 21

Ямалетдинов И.Р.
УРАВНЕНИЯ ЛУРЬЕ В ТЕОРИИ ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ.. 22

Ахметшина А.Д.
О БАЗИСНОСТИ ПО АБЕЛЮ СИСТЕМЫ КОРНЕВЫХ ВЕКТОРОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА НА КРИВОЙ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ……. 23

Мавлютова Р.Р.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИЗООТИИ БЕШЕНСТВА ДИКИХ ЛИСИЦ НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ФИШЕРА-КОЛМОГОРОВА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ…….. 24

Ветлина А.А.
ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОЖЕСТВА МАНДЕЛЬБРОТА 25
Ахмадиева Р.Д.
ТОЧКИ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМАХ «РЕАКЦИЯ – ДИФФУЗИЯ»... 26

СЕКЦИЯ «МЕХАНИКА»

Камалетдинов Н.Х., Зиннатуллин Р.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ-НАГРЕВА ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ С ДОБАВЛЕНИЕМ МАГНИТНЫХ МИКРОЧАСТИЦ……..…… 28
Шигапов А.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УДАРНЫХ ВОЛН НА ПЛАТФОРМЕ OPENFOAM С НОВЫМИ ПРОГРАММНЫМИ МОДУЛЯМИ ПО ОБРАБОТКЕ ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ…….. 29
Харисова И.И., Гареева Д.Ф. Зиннатуллин Р.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ……. 30
Загирова Л.З., Зиннатуллин Р.Р.
ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕОДНОРОДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАТНОЙ ВОДОМАСЛЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ…….. 31
Ямлихина И.Н., Моисеев К.В.
РАЗРАБОТКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАНОВЛЕНИЯ РУДОНОСНЫХ ИНТРУЗИЙ И ЭФФФУЗИВНЫХ ПОТОКОВ…… 32

СЕКЦИЯ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТАТИСТИКА»

Пшеничнюк Г.С., Асфандиаров Н.Л., Пшеничнюк С.А., Терещенко О.Е.
РАСЧЁТ СТРУКТУРЫ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО ИОНА ПЕНТАГЕЛИЦЕНА ДЛЯ ОБЪЯСНЕНИЯ АНОМАЛЬНОГО РОСТА ВРЕМЕНИ АВТООТЩЕПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА……..... 35
Фазлетдинов С.У.
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ КЕРНА…….. 36

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА», ПОСВЯЩЁННАЯ 105-ЛЕТИЮ М.М. ФАРЗТДИНОВА И 80-ЛЕТИЮ М.А. ШАМСУТДИНОВА

Харисов А.Т., Сабитов Р.М., Вахитов Р.М., Екомасов Е.Г., Филиппов М.А.
ФАРЗТДИНОВУ МИРКАШИРУ МИНИГАЛИЕВИЧУ 105 ЛЕТ….. 37
Харисов А.Т., Сабитов Р.М., Вахитов Р.М., Екомасов Е.Г., Закирьянов Ф.К., Филиппов М.А.
ШАМСУТДИНОВУ МИНИАХАТУ АСГАТОВИЧУ 80 ЛЕТ…… 38
Кудашев В.С.
ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРНОСТИ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ НА СВЯЗАННУЮ ДИНАМИКУ В СПИН-ТРАНСФЕРНОМ НАНООСЦИЛЛЯТОРЕ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА..... 39
Шарипов Р.А.
ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ УПРУГИХ СРЕД…… 40
Латыпова А.Р., Латыпов Т.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ И ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ФРУСТРИРОВАННЫХ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВЕРХРЕШЕТКАХ…….. 41
Фазуллин А.З., Вахрамеев Г.Р.
ДВИЖЕНИЕ ВИХРЕВЫХ КОЛЕЦ В ВОЗДУХЕ……. 43
Волкова Е.А., Соколовский В.В.
ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА Ni_2MnSn ПО ДАННЫМ ПЕРВОПРИНЦИПНЫХ РАСЧЁТОВ…….. 45
Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф.
МАГНОННЫЕ МОДЫ И ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ В ГЕЛИМАГНЕТИКЕ……. 46
Нугуманов Р.Р., Абдрахманов Д.И., Шарафуллин И.Ф.
УСТОЙЧИВОСТЬ РЕШЁТКИ СКИРМИОНОВ В ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПЛЁНКЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ……. 48
Бострем И.Г., Екомасов Е.Г., Овчинников А.С., Синицын Вл.Е., Павлов С.И.
ДВИЖУЩИЕСЯ МАГНИТНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ В ГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОЙ СПИНОВОЙ ЦЕПОЧКЕ С АНТИСИММЕТРИЧНЫМ ОБМЕНОМ…… 49

Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.
КОЛЕБАНИЕ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ В МУЛЬТИСЛОЙНОЙ ФЕРРОМАГНИТНОЙ СТРУКТУРЕ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕНЕРАТОРА СПИНОВЫХ ВОЛН…… 50
Дугина А.Д.
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ НА ЭЛЕКТРОННЫЙ СПЕКТР И СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В PD_2YSN 51
Харипова Д.И., Каримов Р.Х.
СЛАБОЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРОЙ С НЕЛИНЕЙНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКОМ…… 52
Попов А.В., Кабанов. Д.К., Екомасов Е.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ БРИЗЕРОВ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ДВУМЯ ПРОТЯЖЕННЫМИ ПРИМЕСЯМИ……. 53
Эразо Веласко И., Кузьмин Д.А.
ИНДУЦИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ И НАВЕДЁННОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬЮ МАЙОРАНОВСКИЕ НУЛЕВЫЕ МОДЫ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ… 54
Фатеев А.Н., Бычков И.В., Кузьмин Д.А.
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОРМОЗНЫХ И ВОЗБУЖДАЮЩИХ НЕЙРОНОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДВУХ ИНТЕРФЕРИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ…… 55
Гафаров Д.Р., Фахретдинов М.И.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИНКОВ ТЕОРИИ ФИ-4 С ЛОКАЛИЗОВАННЫМИ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ПРИМЕСЯМИ…….. 56
Япаров С.В., Фахретдинов М.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СОЛИТОНОВ УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ…… 57
Демидова В.А., Юмагузин А.Р., Вахитов Р.М.
ЗАВИСИМОСТЬ ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ (210)-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНОК И ПРИЛОЖЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ……. 58
Пересторонина А.В., Гареева З.В.
ДИНАМИКА ВЕКТОРА НЕЕЛЯ ПРИ СПИН-ФЛОП ПЕРЕХОДЕ В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ MN_2AU……. 59

Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., Филиппов М.А. 60
МИКРОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ kπ-СКИРМИОНОВ
НА КОЛУМНАРНЫХ ДЕФЕКТАХ ТИПА
«ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА»…….…….
Артамонов И.А., Пугач Н.Г., Туркин Я.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
НЕОДНОРОДНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ
В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ ФЕРРОМАГНЕТИК –
СВЕРХПРОВОДНИК……... 61
Кузовникова Т.А., Гильманов А.Я., Шевелёв А.П.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ
КОНДЕНСАТОРНОЙ ЧАСТИ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРА……... 63
Юлдашева А.Р., Трочина А.М., Шарафуллин И.Ф.
ЧАСТИЧНЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В ФРУСТРИРОВАННЫХ
ФЕРРОМАГНИТНО-СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СВЕРХРЕШЁТКАХ……. 64
Юсупова Р.М., Измаилов Р.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНОЙ
АККРЕЦИИ НА РЕГУЛЯРНУЮ ЗАРЯЖЕННУЮ ЧЕРНУЮ ДЫРУ 65
Демьянов С.Ю., Туркин Я.В., Пугач Н.Г.
НЕОДНОРОДНЫЕ МАГНИТНЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В ТОНКИХ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ, ПОКРЫТЫХ СЛОЕМ
СВЕРХПРОВОДНИКА…… 66
Хидиров У.К.
ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ
НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ВБЛИЗИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЧЁРНОЙ
ДЫРЫ……..... 67
Закирьянов Ф.К., Шангареева В.Н., Юсупова В.С.
ПРИБЛИЖЕННЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ
КОМБИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ МОЛЕКУЛЫ ДНК…….. 68
Филиппов М.А., Вахитов Р.М., Хакимуллина А.А.
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ДЕФЕКТА НА РАДИУС МАГНИТНОГО
СКИРМИОНА В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛЁНКАХ… 69

**СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ»**

**Сидельникова Е.А., Васенина Н.А., Аминева Г.Г.,
Баширова З.А., Гареев И.А.**
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ФРАКТАЛИЗАЦИЯ ГРАФИТОВОГО
ЭЛЕКТРОДА В ПРИСУТСТВИИ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ…….. 70

Наумова Д.М., Наумов Е.К., Дмитриев С.В.
ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ДВИЖУЩИХСЯ ДИСКРЕТНЫХ БРИЗЕРОВ ПРИ РАССМОТРЕНИИ КВАДРАТНОЙ РЕШЕТКИ ТИПА β -ФПУЦ…. 71
Куйкеев А.Б., Касмамытов Н.К., Кыдыралиев Э.М.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОШКООБРАЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ……. 72
Султанов Г.Р., Аминева Г.Г., Васенина Н.А., Сидельников А.В., Галина Г.К.
АНОДНОЕ РАСТВОРЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ: ФЛУКТУАЦИОННАЯ ДИНАМИКА И ПЕРЕХОД В НАНОСОСТОЯНИЕ…… 74
Лебедев К.О., Аминева Г.Г., Васенина Н.А., Сидельников А.В., Игнатьева Г.А.
АНОДНОЕ РАСТВОРЕНИЕ НИКЕЛЕВОЙ ПРОВОЛОКИ: ЧЕТЫРЕ СТАДИИ ПЕРЕХОДА В НАНОСОСТОЯНИЕ…… 75
Корнилова А.А., Никонова С.И., Гиззатова Э.Р.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДЕСТРУКЦИИ ПАРАФИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ…… 76
Батисова А.А., Альмухаметов Р.Ф.
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СОЕДИНЕНИЯ $Cu_{1.8}Na_{0.2}$ S……. 77
Павлухина О.О., Зотов И.С., Соколовский В.В., Бучельников В.Д.
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ, ТРАНСПОРТНЫХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ СПЛАВА $FeRhGa_{0.5}As_{0.5}$ 78
Ермилов Н.В., Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р., Курбангулов А.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ДЛЯ PbS И PbS С ЛИГАНДОМ Cl…….. 79
Корнилова А.А., Корнилов Д.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ АНАЛИЗА КИНЕТИКИ ТВЕРДОФАЗНОЙ РЕАКЦИИ ДИЛЬСА-АЛЬДЕРА…….. 80
Степанченко Д.А., Васенина А.Р., Мустафин А.Г., Сидельников А.В.
ДИАГНОСТИКА СТАДИЙ ЭЛЕКТРОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПОЛИАНИЛИНА МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА……. 81

Галиев Д.М., Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф.
ИЗУЧЕНИЕ ПРОФИЛЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ ЛИНИЙ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КОБАЛЬТА…… 82
Юмакаев Д. С., Васенина Н.А., Аминева Г.Г., Мансурова В.Р.
КОМБИНАТОРНЫЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННОГО НОСА 83
Кулакова Е.А., Грешняков В.А.
ГРАФЕНОВЫЕ НАНОСВИТКИ: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ……... 84
Павлик В.В., Грешняков В.А.
КУБИЧЕСКИЕ КАРБИНОИДЫ: СПОСОБЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ 85
Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.
ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И ТЕРМО-Э.Д.С. в $K_{0.09}Cu_{1.93}S$…….. 86
Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПОЗИТА $K_{0.09}Cu_{1.93}S$……. 87
Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.
ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИТА $K_{0.09}Cu_{1.93}S$……... 88

СЕКЦИЯ «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

Салихов Т.Р., Остальцова А.Д.
ОРГАНИЧЕСКИЙ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ФОТОРЕЗИСТОР НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНОВОГО ПОКРЫТИЯ С НАНОЧАСТИЦАМИ ЙОДИДА СЕРЕБРА……. 89
Сафаргалин И.Н., Баджассилона Б.Г.
ПАССИВНОЕ РАДИОВИДЕНИЕ И МОНИТОРИНГ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ WI-FI CSI……... 91
Габбасов Б.А., Шарипов Т.И.
СКАНИРУЮЩИЙ ТУННЕЛЬНЫЙ МИКРОСКОП КАК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВАХ…… 93
Хадыев Т.Э., Шарипов Т.И.
НАБЛЮДЕНИЕ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ, ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА ЗОЛОТОЙ ПОДЛОЖКЕ……...……... 94

Краилов Д.А., Муллагалиев И.Н.
АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ХАОТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ…….. 96
Хадыев Т.Э., Шарипов Т.И.
ПЕРВИЧНАЯ КАЛИБРОВКА АСМ И АНАЛИЗ АГРЕГИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ НАТИВНЫХ МОЛЕКУЛ ДНК……... 98
Маслак С.А.
ОЦЕНКА ГРАФИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ: КРИТЕРИИ ВЫБОРА И СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ……..... 100
Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И.
СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ……... 101
Золотых Я.В
МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛОКЧЕЙН-СИСТЕМ В СЕТЯХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ: МЕТОДЫ И ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК 102
Салихов Т.Р., Чебаева Т.В.
ХИТОЗАН-СОДЕРЖАЩИЕ ПОКРЫТИЯ С НАНОЧАСТИЦАМИ ЙОДИДА СЕРЕБРА КАК ОСНОВА ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ФОТОРЕЗИСТА……. 103
Салихов Т.Р., Остальцова А.Д.
ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ОРГАНИЧЕСКИЙ ФОТОРЕЗИСТОР НА ХИТОЗАНОВОМ ПОКРЫТИИ С ДОБАВКОЙ НАНОЧАСТИЦ ЙОДИДА СЕРЕБРА……. 105
Салихов Т.Р., Сафаргалин И.Н., Остальцова А.Д.
ОРГАНИЧЕСКИЙ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ФОТОРЕЗИСТОР НА БАЗЕ ХИТОЗАНА С НАНОЧАСТИЦАМИ AGI…….. 107
Амакасов А.А., Муллагалиев И.Н.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ…… 108
Мичник В.С., Миннеахметов Д.И., Муллагалиев И.Н.
АППРОКСИМАЦИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНОЙ ФУЛЛЕРЕНА……. 110
Салихов Т.Р., Баджассилона Б.Г.
ОРГАНИЧЕСКИЕ ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ БЛИЖНЕГО УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИАНИЛИНА…….. 111

Муллагалиев И.Н., Цейзер О.Е.
РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ НАПЫЛЯЕМЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ……... 113
Миннеахметов Д.И., Остальцова А.Д., Муллагалиев И.Н, Сафаргалин И.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И НАНОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕНКИ СОПОЛИМЕРА АНИЛИНА И ОРТО-АМИНОФЕНОЛА МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ В РЕЖИМЕ PEAKFORCE QNM……. 114
Сабиров Д.А., Муллагалиев И.Н.
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ……... 116
Шарафутдинов В.М., Шарипов Т.И.
АРХИТЕКТУРА И РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБКОГО ЗВУКОВОГО ИНТЕРФЕЙСА С МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ НА БАЗЕ ADAU1467……. 116
Теляубаев Т.Ю., Шайхитдинов Р.З.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ DDS-ГЕНЕРАТОРА ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА…….. 119
Гузеев Н.А., Муллагалиев И.Н.
РАСЧЁТ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДОВ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ……. 120
Абдрахманов В.Х., Сафиуллин Т.Э.
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ УЗЛОВ LORAWAN НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32 С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА LZW…….. 121
Лямин И.Б., Шарипов Т.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТОДАМИ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ…….. 122
Аюпов А.Р., Бочкарева.В.А, Муллагалиев И.Н.
НАГРЕВАТЕЛЬ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКОЙ ЗАДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO…… 123
Дуньяш Л.М., Шарипов Т.И.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СВОЙСТВ БИОМОЛЕКУЛ…… 124

СЕКЦИЯ «ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКЕ И ГЕОФИЗИКЕ»

Фаррахетдинова А.И., Усманов Б.А., Мусин А.А.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ…… 126

Алимова М.Р., Втюрина А.Д., Вахитова Г.Р.
ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТОРОВ СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ГАММА-СПЕКТРОВ КЕРНА И КЛАСТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ГИС…… 127

Буканов Б.Б., Ашрапов У.Т., Маликов Ш.Р., Юлдашев М.Б.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ РЕАКТОРА ВВР-СМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОНУКЛИДА ИРИДИЯ-192 128

Старовойтов Д.А., Федоров К.М., Кадочникова Л.М.
ОЦЕНКА АБСОЛЮТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПО ДАННЫМ КЕРНА С УЧЁТОМ КАПИЛЛЯРНЫХ СВОЙСТВ И ФАЦИАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ……..… 129

Буйдина Д.С., Гильманов А.Я.
РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПО РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ПАРОВОДЯНОЙ СМЕСИ В СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ……..…. 131

Погребинская Э.А., Гильманов А.Я.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ НА ПРОГРЕВ ПЛАСТА…… 132

Камалтдинов Р.М., Ковалева Л.А., Мишаков М.А.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ ПОЛЯ НА ЭМУЛЬСИЮ ТИПА «ВОДА В МАСЛЕ»……. 133

Сухорослова А.А.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЁХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗИРОВАННОЙ НЕФТИ И ВОДЫ……..... 134

Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф.
АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО ПЛАСТА С УЧЕТОМ ТЕПЛОТЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА…… 135

Булатова А.З.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В МИКРОТЕПЛООБМЕННИКАХ……..... 136

Гильманов Р.Я.
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЗАРЕЗКИ БОКОВОГО СТВОЛА НА ЗРЕЛОМ НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ…… 138
Муртазин Т.А., Валиуллин Р.А.
ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ЗАКОЛОННОГО ПЕРЕТОКА……. 140
Ильясов И.А., Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Зиннатуллин Р.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРЁХФАЗНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ……... 142
Галиева К.А.
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТОВ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ МИКРОТЕПЛООБМЕННИКОВ НА ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОФАЗНОГО ПОТОКА…….. 143
Галиева К.А., Солнышкина О.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В ШЕРОХОВАТЫХ КРЕМНИЕВЫХ МИКРОКАНАЛАХ……. 144
Хаматдинов М.Ф.
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ……... 146
Батыршин К.Э., Солнышкина О.А., Батыршин Э.С.
ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В КРЕМНИЕВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С РАЗНОЙ СИСТЕМОЙ МИКРОКАНАЛОВ……..… 148
Сафина И.Ф., Солнышкина О.А.
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В МИКРОКАНАЛАХ С МАССИВОМ ПИНОВ НЕПОЛНОЙ ВЫСОТЫ……...……. 149
Абызбаева А.З.
ЛИТОЛОГО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ПО КЛАССИФИКАЦИИ ДАНХЕМА НА ОСНОВЕ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ШЛИФОВ И ДАННЫХ ГИС……. 150
Латыпов Т.Р., Латыпова А.Р.
МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ПРОДУКТИВНОМ НЕФТЯНОМ ПЛАСТЕ В ПК «РН-КИМ»…….. 152

Рюков А.И., Вахитова Г.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА КАСПИЙСКОГО МОРЯ……. 153
Кузябаев Р.В, Рахимьянова Г.Р.
АНАЛИЗ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ И ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ПРИ ПЕТРОУПРУГОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ГОРНЫХ ПОРОД СО СЛОЖНЫМ ТИПОМ ПОРИСТОСТИ……..... 154

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПОПУЛЯЦИОННОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ГЕНЕТИКЕ»

Джаубермезов М.А., Куряев Б.Р., Киль Е.Е., Екомасова Н.В., Габидуллина Л.Р., Хуснутдинова Э.К.
ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТА rs2279343 ГЕНА CYP2B6 У ВЕПСОВ И КАРЕЛОВ…… 157
Киль Е.Е., Джаубермезов М.А., Куряев Б.Р., Екомасова Н.В., Габидуллина Л.Р., Хуснутдинова Э.К.
ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ВАРИАНТА rs2279343 ГЕНА *CYP2B6* В ФИННО-УГОРСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ ВОЛГО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА…….. 158
Каримова Д.И., Андреева Е.А., Аминова Э.Т., Фаисханова Р.Р., Хуснутдинова Э.К., Прокофьева Д.С.
ИЗУЧЕНИЕ АССОЦИАЦИИ ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА RS7069102/*SIRT1* С РИСКОМ РАЗВИТИЯ РАКА ЯИЧНИКОВ…… 160
Иванова Е.А., Аминова Э.Т., Федорова Ю.Ю., Тяпова Д.С., Загитов И.Р., Прокофьева Д.С., Хуснутдинова Э.К.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МУТАЦИИ C.5266dupC В ГЕНЕ BRCA1 У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЭНДОМЕТРИЯ И ЗДОРОВЫХ ЖЕНЩИН: КЛИНИКО-МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ…….. 161
Суфьянова З.Р., Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Габидуллина Л.Р., Ахметшин А.А., Карунас А.С., Хуснутдинова Э.К.
АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ВАРИАНТА RS8178521 ГЕНА *IL10RB* В ПОПУЛЯЦИЯХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ…….. 162
Маркелова С.А., Павлова М.И., Габидуллина Л.Р., Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Хуснутдинова Э.К.
АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА RS2279343 ГЕНА CYP2B6 В ПОПУЛЯЦИИ УДМУРТОВ…….. 163

Галеева А.Р., Ерусланова А.С., Федорова Ю.Ю.
РОЛЬ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ МИКРОРНК
В РАЗВИТИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГАСТРИТА……. 164
Габидуллина Л.Р., Хазимуллин И.Ф., Джаубермезом М.А., Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К.
АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА
RS11549465 ГЕНА HIF1A В ПОПУЛЯЦИИ КАРАЧАЕВЦЕВ……... 165

СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ, ИНФОРМАТИКИ И ФИЗИКИ»

Полуденная О.А., Акманова Г.Р.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ VESTA ПРИ ИЗУЧЕНИИ
ДИСЦИПЛИНЫ «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ»…….. 167
Харипова Д.И., Ахтарьянова Г.Ф.
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКЕ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕЛЕСКОПОВ…….. 168
Косарев Н.Ф., Фазлыева Э.А.
ДОМАШНИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ КАК СРЕДСТВО
РАЗВИТИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ
УЧЕБНЫХ ДЕЙСТВИЙ……...……... 169
Абдуллин А.У.
О ГИРОСКОПАХ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ……..…… 170
Байназарова Ю.Б., Ахтарьянова Г.Ф.
ВОСПРИЯТИЕ И ГОТОВНОСТЬ СТУДЕНТОВ КОЛЛЕДЖА К
ИСПОЛЬЗОВАНИЮ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ
МАТЕМАТИКЕ, ФИЗИКЕ, ИНФОРМАТИКЕ……...….. 171
Хрычёва М. А.
ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОЙ РАБОТЫ ПО АСТРОНОМИИ
В РАМКАХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ……... 172
Абдувасиев С.Б.
ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ СИСТЕМНОГО
МЫШЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ СРЕДСТВАМИ ВИРТУАЛЬНОЙ
РЕАЛЬНОСТИ…….. 173

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-2026»

Материалы
XVII Международной школы-конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
(г. Уфа, 30 сентября – 3 октября 2026 г.)

Электронное издание сетевого доступа

За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.
Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 22.10.2026 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 4,26 Мб.
Заказ 328.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: red@uust.ru