

**Теоретические и экспериментальные
исследования нелинейных
процессов
в конденсированных средах**

**Материалы
XII Межрегиональной школы-конференции
молодых ученых**



Уфа, 28-29 апреля 2026 года

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий»

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ
В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ**

*Материалы
XII Межрегиональной школы-конференции
молодых ученых
(г. Уфа, 28–29 апреля 2026 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2026

УДК 53
ББК 22.3
Т33

*Публикуется по решению кафедры теоретической физики
Физико-технического института УУНиТ.
Протокол № 6 от 30.04.2026 г.*

Редакционная коллегия:

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**

Т33 Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XII Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 28–29 апреля 2026 г.) / отв. ред. Ф. К. Закирьянов [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2026. – 378 с. – URL: <https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2025/099.pdf> – Загл. с титула экрана.
ISBN 978-5-7477-6385-2

В представленных материалах конференции детально обсуждаются новейшие результаты и открытые проблемы теоретической физики, медицинской физики и биофизики, физической электроники и нанофизики, материаловедения и наноматериалов, геофизики и прикладной физики, также проблемы радиотехники и связи.

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

Тезисы докладов воспроизводятся с представленных авторами оригиналов.

УДК 53
ББК 22.3

ISBN 978-5-7477-6385-2

© Уфимский университет, 2026

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

УДК 538.94

Фадеева Е.О.,
маг. 2 г. об. КФУ им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Науч. рук.: Фридман Ю.А.,
д.ф.-м.н., проф. КФУ им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОГО ФЕРРИМАГНЕТИКА ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Современное развитие спинтроники стимулирует активный поиск магнитоупорядоченных сред, пригодных для генерации, передачи и детектирования спиновых токов в терагерцовом диапазоне частот. Особое место среди таких материалов занимают скомпенсированные магнетики, в первую очередь антиферромагнетики, которым присущ эффект обменного усиления, обеспечивающий высокие резонансные частоты [1]. Однако высокая чувствительность антиферромагнетиков к дефектам кристаллической структуры ограничивает их практическое применение. Альтернативой могут служить ферримагнетики в окрестности точки компенсации магнитных подрешеток. В этой области суммарная намагниченность системы обращается в ноль, а динамические характеристики приобретают черты, характерные для антиферромагнетиков, включая обменное усиление спектров [2]. При этом ферримагнетики менее требовательны к структурному совершенству кристаллов, что делает их перспективными для устройств терагерцовой спинтроники и сверхбыстрого перемагничивания.

Важным аспектом, определяющим поведение таких систем, является наличие высших спиновых инвариантов в обменном гамильтониане и анизотропии различного происхождения. Так, в редкоземельных магнетиках и соединениях переходных металлов существенную роль играет биквадратичное обменное взаимодействие, которое совместно с анизотропией индуцируют нетривиальные фазовые состояния, характеризующиеся не только дипольным, но и тензорным порядком [3].

В работе исследуется двухподрешеточный ферримагнетик во внешнем магнитном поле. Гамильтониан системы имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
H = & -\frac{1}{2} \sum_{nn'} J(n-n') (\mathbf{S}_n \mathbf{S}_{n'}) - \frac{1}{2} \sum_{nn'} K(n-n') (\mathbf{S}_n \mathbf{S}_{n'})^2 \\
& - \frac{1}{2} \sum_{mm'} \tilde{J}(m-m') \{ \sigma_m^z \sigma_{m'}^z + \Delta (\sigma_m^x \sigma_{m'}^x + \sigma_m^y \sigma_{m'}^y) \} \\
& + \sum_{mn} A(m-n) (\boldsymbol{\sigma}_m \mathbf{S}_n) - H \sum_n S_n^z \\
& - H \sum_m \sigma_m^z \quad (1)
\end{aligned}$$

Подрешетка со спином $S = 1$ описывается изотропным билинейным и биквадратичным обменом, а подрешетка со спином $\sigma = \frac{1}{2}$ включает в себя анизотропию. $J > 0, K > 0$ – константы билинейного и биквадратичного обмена в первой подрешетке; $\tilde{J} > 0$ – обмен во второй подрешетке; Δ – параметр анизотропии; $A > 0$ – межподрешеточное взаимодействие; H – внешнее магнитное поле.

В зависимости от соотношения обменных параметров J, K , межподрешеточного взаимодействия A и внешнего поля H в системе реализуются два типа фазовых состояний:

Ферримагнитная фаза, в которой среднее значение спина $\langle S^z \rangle = 1$. Реализуется при $J > K$.

Нематическая фаза, ($K > J$), характеризующаяся наличием тензорных параметров порядка. В нематической фазе обнаружена линия компенсации спинов подрешеток, задаваемая условием $2H + A = K - J$.

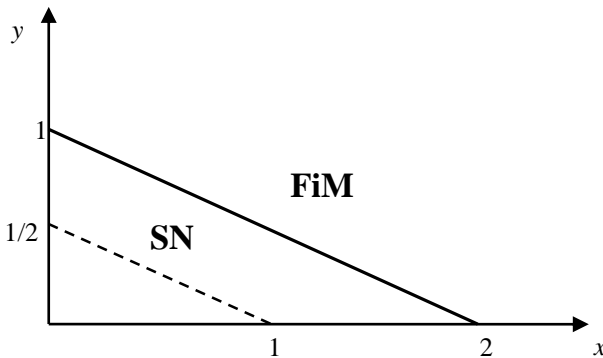


Рис. 1. Фазовая диаграмма двухподрешеточного ферримагнетика с $S = 1$ и $\sigma = 1/2$ во внешнем поле.

Здесь $y = H / (K_0 - J_0)$, $x = A_0 / (K_0 - J_0)$

Показано, что положение линии компенсации существенно зависит от величины внешнего магнитного поля и материальных констант.

На рис.1 Приведена фазовая диаграмма исследуемой системы. Сплошная линия – линия фазового перехода второго рода, пунктирная линия – линия компенсации спинов подрешеток.

Литература

1. В.В. Вальков, С.Г. Овчинников. Квазичастицы в сильно коррелированных системах. Новосибирск: Изд-во СО РАН (2001).
2. О.А. Космачев, Я.Ю. Матюнина, Ю.А. Фридман. ЖЭТФ, 162. 406 (2022).
3. А.Ф. Андреев, В.И. Марченко УФН, 130. 39 (1980).

© Фадеева Е.О., Фридман Ю.А., 2026

УДК 517.9, 519.633

Филиппова В.В.,
асп. 3 г. об. ИФМК УФИЦ РАН, г. Уфа
Науч. рук.: Гареева З.В.,
д.ф.-м.н., проф. ИФМК УФИЦ РАН, г. Уфа

МАГНИТНЫЕ СОСТОЯНИЯ В МНОГОСЛОЙНОЙ ФЕРРИТО-ГРАНАТОВОЙ ПЛЕНКЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Внимание исследователей привлекают низкоразмерные структуры, в которых возможна реализация микромагнитных состояний вихревого типа, представляющих интерес как для фундаментальных исследований, так и для практических приложений [1, 2]. Наноразмеры, наличие нескольких параметров порядка, высокочастотные динамические характеристики магнитных вихрей обеспечивают возможность реализации эффектов масштабирования и создания многоуровневых логических схем на их основе.

Основной целью работы является изучение условий, необходимых для реализации магнитных структур нетривиальной топологии в наноразмерной ферромагнитной пленке, состоящей из двух связанных бислоя с магнитной анизотропией типа «легкая плоскость» – «легкая ось» (ЛП-ЛЮ). Также в одном из бислоев присутствует взаимодействие Дзялошинского-Мории (вДМ).

Моделирование проводилось с использованием программы OOMMF, основа алгоритма которого является решение уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта.

В данной работе рассматривалась ферромагнитная структура, состоящая из двух би-слоев с различным типом магнитной анизотропии вида ЛП-ЛО. В качестве материала были выбраны пленки ферритогранатов с параметрами: $M_s=50$ кА/м, $A_{1,4} = 2.9 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $A_{2,3} = 4 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $K_{1,4} = -7 \cdot 10^5$ Дж/м³, $K_2 = 2 \cdot 10^5$ Дж/м³, $K_3 = 2 \cdot 10^3$ Дж/м³, $J_{12,34} = 3.5 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $J_{23} = 0.2 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $a = 200$ нм, $h = 24$ нм (для одного слоя) или 96 нм (для всей пленки), $|D_{inner}| = (1 \div 9) \cdot 10^{-4}$ Дж/м², $J_{12,34}$ - обозначение межслойного обменного взаимодействия между 1 и 2, 3 и 4 слоями.

Исследование показало, что вДМ оказывает существенное влияние на процессы намагничивания и формирование топологических структур в многослойных ферромагнитных системах: в процессе намагничивания и перемагничивания таких систем образуются состояния вида «точек Блоха», конусные скирмионы, кл-скирмионные трубки, бобберы. Вид и структура топологических объектов зависит от величины и знака константы вДМ (D), а также от величины константы магнитной анизотропии вида «легкая плоскость» 4-го слоя.

Литература

1. Lang M., Beg M., Novorka O., Fangohr H. Sci. Rep. 13, 6910, (2023).
2. Göbel B., Mertig I., Tretiakov O. A. Phys. Rep., 895, 1, (2021).

© Филиппова В.В., Гареева З.В., 2026

УДК 538.945

Исмаэль Эрасо Веласко,
асп. 1 г. об. ЧелГУ, г. Челябинск
Науч. рук.: Кузьмин Д.А.,
д.ф.-м.н., проф. ЧелГУ, г. Челябинск

УПРАВЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬЮ И МАЙОРАНОВСКИМИ НУЛЕВЫМИ МОДАМИ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ГЕОМЕТРИИ

В настоящей работе исследуется возможность реализации топологической сверхпроводящей фазы и майорановских нулевых мод в металлических углеродных нанотрубках с учётом геометрии системы. В отличие от стандартных одномерных моделей, где химический потенциал рассматривается как независимый параметр, в нанотрубках он приобретает эффективную форму, зависящую от радиуса R и продольного магнитного поля $B_{||}$.

Низкоэнергетическое описание строится на основе эффективной теории графена с учётом кривизны, спин-орбитального взаимодействия и зеемановского расщепления. После сведения полной модели к одномерной системе получен эффективный гамильтониан типа Рашбы–Зеемана, который при учёте наведённой сверхпроводимости приводит к гамильтониану Боголюбова–де Жена.

Эффективный химический потенциал имеет вид:

$$\mu_{eff}(R, B_{\parallel}) = \mu - aR + \frac{b}{R} \quad (1)$$

где μ — химический потенциал плоского графена (без учёта кривизны и поля), а коэффициенты $a = B_{\parallel} \hbar v_F \pi / \phi_0$, $b = C_{\alpha}$ имеют ясную физическую интерпретацию. Здесь $\phi_0 = h/e$ — квант магнитного потока, v_F — скорость Ферми в графене, C_{α} — константа, определяемая интенсивностью спин-орбитального взаимодействия, индуцированного кривизной [2, 3]. Член aR описывает орбитальный вклад (эффект Ааронова–Бома), а член b/R соответствует спин-орбитальному взаимодействию, вызванному кривизной нанотрубки.

Показано, что условие топологического перехода

$$V_z^2 > \Delta_{ind}^2 + \mu_{eff}^2 \quad (2)$$

где $V_z = \frac{1}{2} g \mu_B B$ — зеемановская энергия (с учётом полного магнитного поля, включая поперечную компоненту), а Δ_{ind} — индуцированная сверхпроводящая щель (например, за счёт близости с s -волновым сверхпроводником), приводит к появлению конечного интервала радиусов $R_{min} < R < R_{max}$, в котором система находится в топологической фазе.

Физический смысл этого результата заключается в том, что геометрия нанотрубки позволяет «настраивать» эффективный химический потенциал μ_{eff} в широких пределах, просто изменяя радиус и прикладывая магнитное поле. В стандартных полупроводниковых нанопроволоках для достижения топологической фазы требуется точная подстройка химического потенциала (например, с помощью напряжения на затворе), а диапазон параметров, где фаза существует, часто узок. В углеродных нанотрубках, благодаря конкуренции линейного по R орбитального вклада и обратно пропорционального R спин-орбитального вклада, можно достичь условия $\mu_{eff} \approx 0$ при разумных значениях поля и радиуса (обычно $R \sim 1-10$ нм, $B \sim 1-3$ Тл). Именно в этой точке условие выполняется наиболее легко, а майорановские моды становятся максимально устойчивыми к беспорядку и флуктуациям параметров.

Максимальная устойчивость майорановских мод достигается при $\mu_{eff} \approx 0$, что соответствует компенсации геометрических вкладов (орбитального и спин-орбитального).

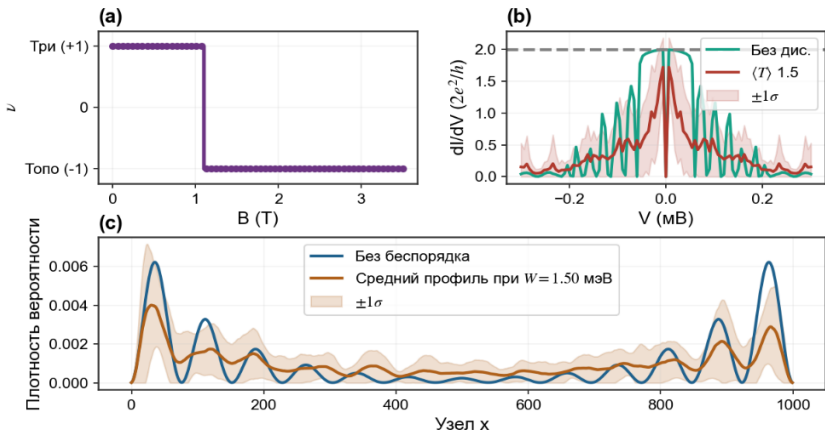


Рис. 1. (a) Топологический инвариант Пфаффиана как функция магнитного поля и радиуса; (b) дифференциальная проводимость dI/dV при нулевом смещении (пик свидетельствует о наличии майорановской моды) и её устойчивость к беспорядку (амплитуда беспорядка до $0.2\Delta_{\text{ind}}$); (c) пространственная локализация плотности вероятности на концах системы — характерный признак майорановских нулевых мод

Численное моделирование выполнено на основе дискретизированного гамильтониана Боголюбова–де Жена с использованием пакета Kwant. Рассматривались металлические нанотрубки типа armchair длиной до 1 мкм (~ 4000 узлов) с открытыми граничными условиями. Анализ включает вычисление спектра, топологического инварианта Пфаффиана, пространственной локализации состояний и транспортных характеристик. Установлено, что переход сопровождается закрытием и повторным открытием энергетической щели, изменением инварианта ν и появлением состояний, локализованных на концах системы.

На рисунке 1 представлена совокупная картина перехода: (a) изменение топологического инварианта, (b) появление пика дифференциальной проводимости при нулевом смещении и его устойчивость к беспорядку, (c) пространственная локализация плотности вероятности на концах системы. Согласованность этих наблюдений указывает на формирование майорановских нулевых мод.

Показано, что критическое магнитное поле B_c возрастает с увеличением радиуса нанотрубки, что ограничивает диапазон геометрий, доступных при экспериментальных условиях. Таким образом, геометрия нанотрубки выступает в качестве активного параметра, определяющего условия возникновения топологической фазы и устойчивости майорановских состояний.

С практической точки зрения, полученные результаты открывают путь к созданию масштабируемых майорановских платформ на основе углеродной электроники. В отличие от гетероструктур на основе полупроводниковых нанопроволок (InAs, InSb), углеродные нанотрубки обладают малым спин-орбитным взаимодействием в объёме, однако, как показано в работе, кривизна индуцирует необходимый спин-орбитальный вклад, управляемый геометрией. Это позволяет обойтись без сложного молекулярно-лучевого выращивания гетероструктур. Кроме того, малый диаметр нанотрубок (единицы нанометров) обеспечивает сильную локализацию магнитного потока, что снижает требуемые токи для генерации поля и делает систему совместимой с существующими КМОП-технологиями. В перспективе на основе предложенной системы могут быть созданы элементы квантовых компьютеров на майорановских кубитах (топологически защищённые логические вентили), а также высокочувствительные детекторы одиночных электронов и спиновые интерферометры, работающие при температуре жидкого гелия (4.2 К) и выше за счёт подавления дефазировки топологической защитой.

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации № 075-01391-22-00.

Литература

1. R. M. Lutchyn, J. D. Sau, у S. Das Sarma, Phys. Rev. Lett. 105, 077001 (2010).
2. W. Izumida, R. Saito, у S. Fujita, Phys. Rev. B 80, 235427 (2009).
3. T. Ando, J. Phys. Soc. Jpn. 69, 1757 (2000).

© Исмаэль Эрасо Веласко, Кузьмин Д.А., 2026

УДК 514.822

Шарипов Р.А.,
к.ф.-м.н., доц. ИИМРТ УУНиТ, г. Уфа

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ В ЛАГРАНЖЕВЫХ ТЕОРИЯХ ПОЛЯ

Лагранжевы теории поля строятся на основе принципа наименьшего действия. Обычно этот принцип применяется к гладким конфигурациям полей и даёт дифференциальные уравнения для полей. Однако иногда в прикладных задачах возникают границы раздела. Например, граница между металлами в биметаллической пластине. На таких границах поля теряют гладкость. Сами они или их производные могут испытывать разрыв. Для таких случаев в работе [1] принцип наименьшего действия

был расширен и применён к полям вблизи границ разрыва. В результате этого были выведены граничные условия для полей. Обычно в таких задачах граничные условия для полей выписываются на основе законов физики и физической интуиции. Подход, который применён в работе [1], использует только плотности лагранжианов по разные стороны от границы разрыва. Он позволяет выписывать граничные условия для полей даже для релятивистских сред и в случае сред в новых нестандартных теориях, когда выработанная в классической физике интуиция даёт сбой, а новая интуиция ещё пока не выработана.

Такой нестандартной теорией, для которой готовится метод из работы [1], является неэйнштейновская теория гравитации, названная «Модель вселенной как 3D-браны», см. [2]. В рамках этой теории планируется изучить гравитационный коллапс упругой среды, которая не теряет свойства упругости при сжатии вплоть до сколь угодно высоких плотностей. В реальности таких сред не существует. Однако хорошим приближением таких сред может быть материал нейтронных и кварковых звёзд.

Литература

1. Sharipov R.A., *Boundary conditions in Lagrangian field theories*, 2025, ResearchGate, publication № 393645020, DOI: 10.13140/RG.2.2.14737.34403
2. Шарипов Р.А., Модель вселенной как 3D-браны, Уфа, 2024, ISBN 978-5-600-04170-7.

© Шарипов Р.А., 2026

УДК 530.182.1

Япаров С.В.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Фахретдинов М.И.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СОЛИТОНОВ УРАВНЕНИЙ КЛЕЙНА-ГОРДОНА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЛОКАЛЬНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

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 (магнетики, кристаллические решетки, длинные джозефсоновские переходы)

движение солитонов осложняется взаимодействием с примесями и дефектами структуры.

В данной работе исследуется динамика кинков в рамках классических моделей: уравнения синус-Гордона и ϕ^4 при взаимодействии с примесями. Основное внимание уделено сценарию, при котором солитон изначально находится в состоянии покоя ($v_0 = 0$) на некотором удалении x_0 от центра локализованного дефекта. Дефект моделируется как прямоугольное изменение параметра потенциала $K(x)$:

$$K(x) = \begin{cases} 1 - \Delta K, & -W/2 \leq x \leq W/2 \\ 1, & x > W/2, x < -W/2 \end{cases},$$

где W – ширина дефекта, а ΔK – глубина дефекта [1,2]. В ходе исследования численными методами решалась задача определения зависимости приобретенной скорости кинка от начального расстояния до дефекта и его геометрических параметров (ширины и глубины).

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

Литература

1. M.I. Fakhretdinov et al., Rus. J. Nonlin. Dyn., 19, 303 (2023).

2. M.I. Fakhretdinov et al., Rus. J. Nonlin. Dyn., 20, 15 (2024).

© Япаров С.В., Фахретдинов М.И., 2026

УДК 538.913

Юлдашева А.Р.,
ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Самигуллина А.И.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарафуллин И.Ф.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЧАСТИЧНЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ТОНКИХ СВЕРХРЕШЕТКАХ ГЕЛИМАГНЕТИК/ФЕРРОЭЛЕКТРИК

Гелимагнетики представляют собой тип магнитных кристаллов, в которых упорядочение спинов сопровождается поворотом на определенный угол для каждого узла кристаллической решетки по одному или нескольким направлениям в масштабах, много больших размеров

элементарной ячейки [1]. Причиной столь такого поворота является, например, конкуренция между ферро-и антиферромагнитным обменными взаимодействиями в случае фрустрированной решетки спинов. Это представляет собой перспективную основу для создания приборов спиновой электроники, в которых проводящие гелимагнетики будут выступать в качестве основных функциональных компонентов [2].

В данной работе нами рассмотрена модель магнитоэлектрической сверхрешетки, состоящей из тонкой гелимагнитной плёнки из слоёв с гейзенберговскими спинами на узлах простой кубической решетки и ферроэлектрической пленки с векторами поляризации моментами на узлах квадратной решетки.

Гамильтониан системы имеет вид:

$$H = H_{mag} + H_{fe} + H_{mfe}$$

$$H_{mag} = -J_1 \sum_{\langle i,j \rangle} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j - J_2 \sum_{\langle\langle i,l \rangle\rangle} S_i \cdot S_l - h \sum_i S_i^z$$

$\langle i,j \rangle$ – суммирование по ближайшим соседним спинам \vec{S}_i и \vec{S}_j , взаимодействующими между собой ферромагнитно $J_1 > 0$, $\langle\langle i,l \rangle\rangle$ – суммирование по спинам \vec{S}_i и \vec{S}_l , расположенных на узлах следующих за ближайшим соседним спином, \vec{S}_i и \vec{S}_l взаимодействуют между собой антиферромагнитно $J_2 < 0$. h - напряженность внешнего магнитного поля, приложенного перпендикулярно плоскости пленки.

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

$\langle i,j \rangle$ – суммирование по ближайшим соседним векторам поляризации \vec{P}_i и \vec{P}_j , параметр взаимодействия между которыми $J_{fe} > 0$. Магнитоэлектрическое взаимодействие между гелимагнитной и сегнетоэлектрической пленками определим гамильтонианом:

$$H_{mfe} = -J_{mfe} \sum_{\langle i,j,k \rangle} P_k^z (S_i^x S_j^y - S_i^y S_j^x)$$

где $J_{mfe} < 0$ – параметр магнитоэлектрического взаимодействия. Учет конкурирующих взаимодействий J_2 и J_{mfe} приводит к формированию спирального основного состояния вдоль всех трех направлений.

Для рассмотренной модели магнитоэлектрической связи между магнитной пленкой и сегнетоэлектрической пленкой в сверхрешетке, то

есть между дипольным моментом сегнетоэлектрической пленки и спинами в плоскости магнитной пленки на границе раздела сверхрешетки мультиферроика показано что в основном состоянии в магнитном поверхностном слое возникают однородные неколлинеарные спиновые конфигурации в отсутствие внешнего магнитного поля, при включении внешнего магнитного поля направленного перпендикулярно плоскости пленки происходит переход таких конфигураций в скирмионы. С помощью метода Монте-Карло моделирования наблюдалось сильное отклонение вида температурной зависимости поверхностной намагниченности по сравнению с намагниченностью внутренних слоев. Происходит изменение температуры перехода на поверхностном слое при изменении поверхностного обменного взаимодействия, то есть разрушается упорядоченность на поверхностных слоях при более низких температурах чем внутриплоскостных магнитных слоях. В случае сильного магнитоэлектрического взаимодействия на интерфейсе оно расположит спины только в плоскости xy магнитного слоя, несмотря на действие внешнее магнитное поле. При увеличении температуры в сверхрешетке наблюдается переход первого рода, поскольку рассматриваемая система является фрустрированной из-за наличия сильных конкурирующих взаимодействий. При этом фазовый переход в магнитной пленке при сильных магнитоэлектрических взаимодействиях происходит только после фазового перехода в сегнетоэлектрической пленке, то есть при потере сегнетоэлектрического упорядочения при $T \approx 2.3$ (в энергетических единицах). Обратим внимание, что при $H = 0$ на интерфейсе не формируются скирмионы и спиновая конфигурация является спиральной в основном состоянии, при этом эта конфигурация разрушается также при $T \approx 2.3$, при одновременном разрушении коллинеарного сегнетоэлектрического упорядочения.

Литература

1. Чижиков В. А. Анизотропия магнитных фаз кубических гелимагнетиков // ЖЭТФ. 2021.Т. 159. С. 656.
2. Устинов В. В., Ясюлевич И. А. Хиральная спинтроника гелимагнетиков // Успехи физических наук. 2025. Т. 195. №. 10. С. 1062-1093. Уфа, 2024. С. 51.

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

Самигуллина А.И.,
 маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа,
 Юлдашева А.Р.,
 ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
 Науч. рук.: Шарафуллин И.Ф.,
 д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ В ГЕЛИКОИДАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПЛЁНКАХ

В настоящее время одним из наиболее динамично развивающихся направлений квантовой электроники является хиральная спинтроника, предметом изучения которой служат спин-транспортные явления в материалах с хиральной симметрией [1]. Наличие геликоидальной структуры намагниченности, возникающей вследствие конкуренции обменных взаимодействий Гейзенберга, взаимодействия Дзялошинского-Мории и анизотропии, определяет уникальные свойства элементарных возбуждений магнитной подсистемы – спиновых волн.

Изучение спектра элементарных возбуждений в геликоидальных магнитных материалах представляет собой нетривиальную задачу, поскольку периодическая спиральная структура выступает в роли эффективного потенциала, приводя к формированию спектра. Понимание закономерностей распространения, спектральных характеристик и механизмов возбуждения спиновых волн в них является важной задачей для разработки функциональных устройств нового поколения, таких как наноосцилляторы и элементы логики на основе магнитных спиралей.

В работе изучается модель тонких плёнок с гейзенберговскими спинами, расположенными на узлах объёмно-центрированной кубической (ОЦК) решётки, состоящая из 6 магнитных слоёв и двух сегнетоэлектрических слоёв (верхнего и нижнего). В этой модели спиральный порядок формируется вдоль оси z, которая направлена перпендикулярно поверхности слоёв. Гамильтониан системы имеет следующий вид:

$$H = -J_1 \sum_{i,j} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j - J_2 \sum_{i,i'} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_{i'} - \vec{h} \sum_i \vec{S}_i - J_{mf} \sum_{i,j,l} [\vec{S}_i \times \vec{S}_j] \vec{P}_l - J_f \sum_{i,j} \vec{P}_i \vec{P}_j, \quad (1)$$

где первое слагаемое в гамильтониане описывает ферромагнитное взаимодействие между ближайшими соседними спинами (NN), второе слагаемое – антиферромагнитное взаимодействие между следующими ближайшими соседними спинами (NNN) вдоль оси, перпендикулярной

плоскости пленок, внешнее магнитное поле направлено также вдоль оси z , четвертое слагаемое – магнитоэлектрическое взаимодействие между z -компонентой вектора поляризации сегнетоэлектрической пленки и спинами магнитной пленки, четвёртое слагаемое – обменный параметр в сегнетоэлектрическом слое.

Существование спирально-упорядоченной структуры в ОЦК-решётке возможно лишь при выполнении условия $|J_2| \geq J_1$. Для определения классической спиновой конфигурации основного состояния на поверхности было проанализировано выражение для энергии спинов в направлении оси z .

На основе найденной конфигурации основного состояния проведён расчёт спектра спиновых волн с применением метода двухвременных температурных функций Грина. Аналитическое дисперсионное уравнение получено после диагонализации линейного преобразования, благодаря чему становится возможным вычисление частот спиновых мод для каждой пары волновых чисел (рис. 1).

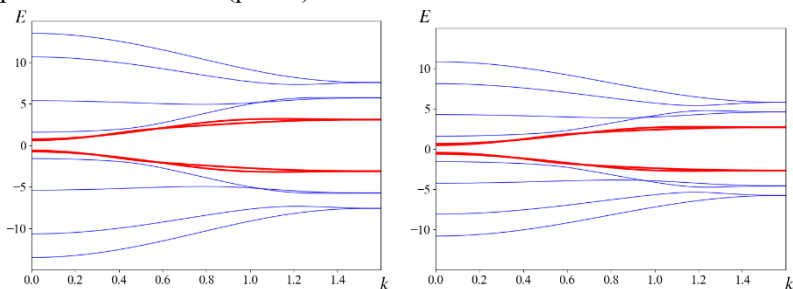


Рис. 1. Кривые для пленки с $N_z = 6$ магнитными слоями и 2 сегнетоэлектрическими слоями ($I = 0.1$). Расчет выполнен для $J_2/J_1 = -1.4$: а) $J_{mf} = -0.1$, б) $J_{mf} = -1.0$. Поверхностные ветви спектра выделены красным цветом, локализованные у границ с сегнетоэлектриками

При $J_{mf} = -0.1$ спектр имеет чётко выраженную структуру с максимальными энергиями возбуждений. Повышение J_{mf} до -1.0 приводит к общему понижению частот всех ветвей; сужению запрещённых зон и сближению ветвей, что является сигналом фазового перехода в парамагнитное состояние; небольшому изменению формы дисперсии поверхностных мод.

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

Литература

1. S. El. Hog, I. F. Sharafullin, H. T. Diep et al., Journal of Magnetism and Magnetic Materials 563, 169920 (2022).

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

Демидова В.А.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Юмагузин А.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Вахитов Р.М.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОСОБЕННОСТИ ЗАРОЖДЕНИЯ 0° - ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В (111)- ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ С УЧЕТОМ ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Интерес к исследованию ферритов-гранатов вызван обнаружением в них ряда уникальных физических свойств, перспективных для разработки энергосберегающих компонентов спинтроники. К числу таких явлений, имеющих фундаментальное значение для развития систем записи и обработки информации, относится флексомагнитоэлектрический (ФМЭ) эффект [1], который заключается в смещении доменной границы (ДГ) под действием электрического поля.

Переходные области между доменами представляют собой зоны, где вектор намагниченности плавно поворачивается от направления одного домена к другому. Таким образом, ДГ являются магнитными спиралями-солитонами и по симметрии напоминают циклоиду. Поскольку, благодаря ФМЭ, с циклоидами может быть связана электрическая поляризация, то это открывает возможность управлять микромагнитной структурой с помощью электрического поля.

Проявление флексомагнитоэлектрического эффекта, как выяснилось, зависит от ориентации подложки: в (111)-ориентированных плёнках он отсутствовал, тогда как в плёнках (011) и (210) фиксировался в разной степени. Согласно теоретическому анализу [3], под воздействием электрического поля на (111)-ориентированную плёнку ферритов-гранатов, в области 180° ДГ происходит разделение электрических зарядов. Однако благодаря симметрии магнитной системы эти заряды распределяются так, что создаваемое ими электрическое поле практически полностью экранируется. Приведённые расчеты проводились для случая 180° ДГ с квазиблочковой структурой [3]. В то же время, показано, что ДГ стремятся закрепиться на дефектах, чтобы уменьшить энергию стенки. При малых полях границы «застревают» на дефектах и для преодоления дефектов требуется энергия внешнего поля, причем размеры ДГ будут коррелировать со значениями внешнего поля. Зародышами новой фазы могут являться 0° -ДГ [2]. Результаты численного решения уравнений Эйлера–Лагранжа для рассматриваемой плёнки показывают, что при

некоторых соотношениях материальных параметров пластины и значений электрического поля (λ) существуют решения в виде 0^0 -ДГ с квазиблоховской структурой.

Таким образом, актуальным становится исследование ФМЭ-эффекта в (111)-плёнках при условии, что доменные границы представлены в виде 0^0 -ДГ.

Показано, что при увеличении величины электрического поля траектория намагниченности 0^0 -ДГ заметно изменяется, что приводит к увеличению величины интегральной поляризации и при некотором значении поля характеристики для 0^0 -ДГ скачком изменяются. Из полученных расчетов следует, что с увеличением кубической анизотропии происходит ослабление ФМЭ эффекта, что коррелирует с результатами, полученными в работе [3] для 180^0 -ДГ.

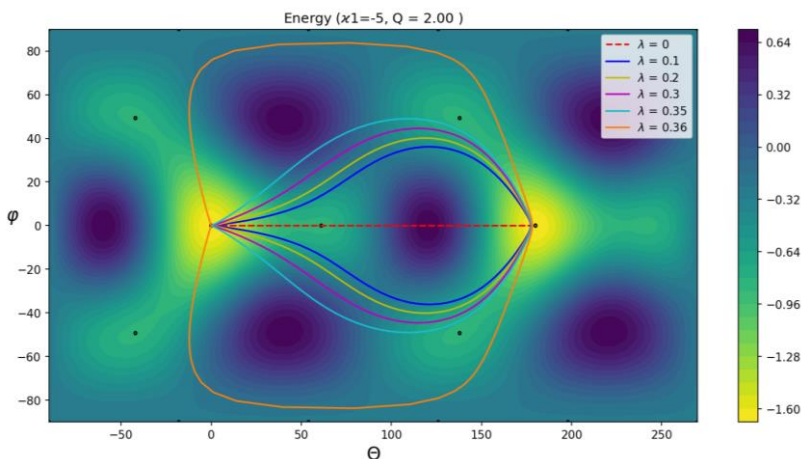


Рис. 1. Различные траектории вектора намагниченности в плоскости равных энергий для 0^0 -ДГ при различных значениях внешнего электрического поля и одинаковых материальных параметрах пленки ($Q=2$, $\alpha_1 = -5$)

Литература

1. Пятаков А.П., Сергеев А.С., Николаева Е.П., Косых Т.Б., Николаев А.В., Звездин А.К. // УФН. 2015. Т.185, 1077–1088.
2. Вахитов Р. М., Юмагузин А.Р. //ЖТФ. 2001. Т.71(5), 47-52
3. Vakhitov R.M., Yumaguzin A.R. and Gridneva G.T. // Phys. Scr. 2023. 98, 125988.

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

ОСОБЕННОСТИ СПИН-ФЛОП ПЕРЕХОДОВ В ПРОВОДЯЩИХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ

В последние годы проводящие антиферромагнетики (АФМ) привлекают значительное внимание в связи с развитием спинтроники [1], поскольку они позволяют создавать энергоэффективные устройства с терагерцовыми частотами переключения, свободные от полей рассеяния.

Исследованы нелинейные динамические эффекты, сопровождающие спин-флоп переходы (СФП) в проводящих АФМ тетрагональной симметрии вида CuMnAs . Данные материалы характеризуются анизотропией типа «легкая плоскость» с осью легкого намагничивания (ОЛН), ориентированной по направлению $[110]$, ортогональному направлению главной оси симметрии кристалла $C_4 \parallel [001]$. Классические статические исследования СФП в постоянных магнитных полях хорошо изучены в различных антиферромагнетиках [2].

В данной работе рассматривается динамическая задача об отклике антиферромагнетика на переменное магнитное поле $H(t)$, направленное вдоль ОЛН, которая решается на основе использования формализма Лагранжа. Функция Лагранжа и диссипативной функция Рэлея имеют вид:

$$L = \sum_{i=1}^2 \frac{\vec{M}_i}{\gamma_i} (1 - \cos \theta_i) \dot{\varphi}_i - W_i, R = \frac{\alpha}{2} \sum_{i=1}^2 \dot{\vec{M}}_i^2, \quad (1)$$

где \vec{M}_i — вектора намагниченностей магнитных подрешеток ионов Mn^{2+} , занимающих неэквивалентные позиции в кристалле, α — параметр диссипации, γ — гиромангнитное отношение, θ_i, φ_i — полярные координаты вектора \vec{M}_i , W_i — энергия системы с учетом энергии Зеемана для геометрии $H(t) \parallel [110]$.

На основе численного решения динамических уравнений показано, что при адиабатическом прохождении точки СФП, в системе возникают затухающие высокочастотные спиновые осцилляции.

Обнаруженный эффект представляет собой новый механизм генерации терагерцового электромагнитного отклика в магнитных материалах, открывая перспективы для создания спиновых генераторов на основе АФМ с управляемой частотой.

Литература

1. P. Wadley et al., Science 351, 587 (2016)
2. Гуревич А.Г., Мелков Г. А. Магнитные колебания и волны. – М.: Физматлит, 1994., 464 с.

Филиппов М.А.,
асп. 3 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Хакимуллина А.А., студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Ахметова А.А., н.с. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитов Р.М.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ КОЛУМНАРНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ДВИЖЕНИЕ МАГНИТНЫХ СКИРМИОНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СПИН- ПОЛЯРИЗОВАННОГО ТОКА

Спинтронные устройства, использующие магнитные скирмионы (магнитные спиновые вихреподобные топологически устойчивые неоднородности [1]), обладают рядом преимуществ, таких как повышенная плотность и энергоэффективность хранения данных, благодаря наноразмерным параметрам и топологической защите скирмионов. Магнитные скирмионы могут управляться токами малой плотности и внешними магнитными полями, что также повышает их перспективность для приложений хранения информации и вычислений, особенно в нетрадиционных вычислительных методах (например, нейроморфные вычисления) [2, 3].

Ещё в 2013 году А. Ферг предложил использовать магнитные скирмионы как потенциальные носители информации в устройствах хранения данных типа «гоночного трека» [4]. В рамках памяти данного типа на основе скирмионов кодирование двоичных данных происходит по следующей схеме: наличие скирмиона обозначает «1», а его отсутствие – «0». Скирмионы образуются на одном краю устройства и перемещаются спин-поляризованным током к считывающему элементу, который может действовать на основе принципа туннельного магнетосопротивления. Проблема в работе таких устройств заключается в наличии скирмионного эффекта Холла [1], отклоняющего скирмионы от заданной траектории в поперечном направлении, что может приводить к потере данных на края плёнки при их движении.

Решением этой проблемы может стать применение цепочки колумнарных дефектов типа «потенциальная яма», в области которых скачком понижается величина перпендикулярной магнитной анизотропии, что позволяет скирмиону передвигаться без значительного отклонения к краям плёнки. В предыдущих исследованиях [5, 6] было показано, что на подобных дефектах скирмионы энергетически стабильнее, а также обладают повышенной устойчивостью к внешним воздействиям, например, магнитным полям.

Исследование движения магнитных скирмионов по наноструктурированной плёнке прямоугольной формы, в которую были внедрены круглые дефекты радиуса R_0 , в области которых величина перпендикулярной магнитной анизотропии K_{u2} имеет пониженное значение, чем в остальной плёнке K_{u1} ($K_{u1} > K_{u2}$), проводилось методом микромагнитного моделирования в пакете программ OOMMF [7]. При моделировании учитывались обменное взаимодействие, магнитная анизотропия, взаимодействие Дзялошинског-Мория и магнитостатическое взаимодействие, обусловленное конечностью плёнки. Параметры материальных плёнок соответствует плёнкам типа Co/Pt. Динамика намагниченности скирмиона под действием спин-поляризованного тока, направленного вдоль плоскости плёнки, описывалось приближением Жанга и Ли (Zhang-Li). В итоге было показано, что скирмион способен перемещаться между двумя и тремя дефектами без заметного отклонения от прямолинейного направления. Дефекты играют роль областей локализации, которые «притягивают» в себя скирмионы. При их отсутствии скирмион отклоняется к краю плёнки и аннигилируют в ходе такого движения. Таким образом, введение дефектов типа «потенциальная яма» позволяет избежать влияния скирмионного эффекта Холла, при этом сами дефекты могут служить ячейками памяти на плёнке, через которые скирмион, «перескакивая», обозначает состояние «0», а локализуясь – состояние «1».

Авторы благодарят за финансовую поддержку Государственное задание Российской Федерации на проведение научных исследований лабораториями (Теория, моделирование и получение тонкоплёночных, наноструктурированных и гибридных структур (FRRR-2024-0001)).

Литература

1. K.K. Mishra, et al. // Appl. Phys. Rev. 2015, V. 12 №1, P. 011315.
2. S. Luo, L. You // APL Mater. 2021 V. 9, № 5, P. 050901.
3. W. Kang, Y. Huang, X. Zhang, et al. // Proc. IEEE 2016, V. 104, P. 2040–2061.
4. A. Fert, V. Cros, J. Sampaio // Nat. Nanotechnol, 2013 V. 8, № 3, P. 152–156.
5. R.M. Vakhitov, et al., // Letters on Materials. 2025. V.15. № 4. P. 344–349.
6. Vakhitov R.M., Filippov M.A. // Physica Scripta, 2025, V. 100. № 12, P. 125932.
7. Donahue M.J., Porter D.G., OOMMF User's Guide, Version 1.0 Interagency Report – National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1999.

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

ЗАВИСИМОСТЬ ЧАСТОТЫ И РАДИУСА СТАЦИОНАРНЫХ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В СТНО СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА ОТ ВЕЛИЧИНЫ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Магнитным вихрем называется неоднородное распределение намагниченности, имеющее следующий вид: в плоскости магнетика намагниченность закручена по окружности, а в центре вихря намагниченность имеет направление перпендикулярное этой плоскости. В нанодисках определенного диаметра и толщины магнитный вихрь реализуется как основное состояние. Одним из наиболее перспективных устройств спинтроники можно считать спин-трансферный наноосциллятор (СТНО). Часто он представляет собой трехслойный наноцилиндр с двумя магнитными слоями, разделенными немагнитной прослойкой. Существует много работ, в которых рассматриваются вихревые СТНО [1], в которых в одном или двух магнитных слоях существует магнитный вихрь.

В данной работе исследовался СТНО среднего диаметра (250 нм), состоящий из трех слоев – два магнитных из пермаллоя, толщиной 4 и 15 нм соответственно, и один немагнитный из меди толщиной 10 нм. Рассмотрен случай, когда в каждом магнитном слое находится магнитный вихрь. Исследование было проведено с помощью численного моделирования используя пакет SPIN PM для случая вихрей с одинаковой и разной полярностью. СТНО помещали во внешние магнитные поля направленные параллельно плоскости дисков. Через СТНО пропускался спин-поляризованного ток. Найдены значения критических токов определяющих области разных сценариев связанной динамики вихрей при разных значениях напряженности внешнего магнитного поля, исследованы возможные типы динамики вихрей, реализующиеся в данной системе. Построены зависимости частоты и радиуса стационарного режима колебаний вихрей от силы тока для разных значений напряженности внешнего магнитного поля.

Литература

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

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТА НА ЛОКАЛИЗАЦИЮ И ТЕМПЕРАТУРНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СКРИМИОННОЙ ФАЗЫ

Скирмионы – топологически устойчивые магнитные структуры – рассматриваются как перспективные элементы памяти [1] и логики [2] в спинтронных устройствах благодаря их малым размерам (до 100 нм), стабильности при комнатных температурах [3] и возможности управления током [4] или электрическим полем [5]. Одной из задач для практической реализации является контролируемая локализация скирмионов в заданных позициях [6, 7]. Использование дефектов кристаллической решётки, создающих локальные потенциальные ямы, могут также пининговать скирмионные фазы [8].

В работе рассматривается модель Гейзенберга на треугольной решётке, состоящей из двух ферромагнитных слоёв. Первый слой характеризуется ферромагнитным обменом, плоскостным взаимодействием Дзялошинского-Мория (ВДМ). В узлах треугольной решетки второго слоя с дефектом находятся гейзенберговские спины, взаимодействующие друг с другом только посредством обменной энергии. Внешнее магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости бислойной пленки. Гамильтониан системы имеет вид:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{i,j} J_{i,j}^m \cdot \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j - \frac{1}{2} D \sum_{i,j} \{e_{i,j}^x (S_i^y S_j^z - S_i^z S_j^y) - e_{i,j}^y (S_i^x S_j^z - S_i^z S_j^x)\} - \vec{h} \sum_i \vec{S}_i \quad (1)$$

Дефект во втором слое задается через модификацию параметра обменного взаимодействия, по формуле:

$$J_{i,j}^m = J^0 \left(1 + \tanh \left(\frac{|\vec{K}_{ij}| - R}{\vartheta} \right) \right) \quad (2)$$

Основное состояние системы определялось методом медленного отжига с учетом периодических граничных условий. В качестве параметра порядка для исследования температурной устойчивости использовался топологический заряд конфигурации, который определялся методом Берга–Люшера [9, 10].

Температурная динамика среднего значения топологического заряда первого слоя демонстрирует интересное свойство системы (рис. 1в). При $T < 0.72$ среднее значение топологического заряда остается постоянным и равным -1 , что говорит об устойчивости одиночного скирмиона (рис. 1а), образованного в области дефекта, в этой температурной области.

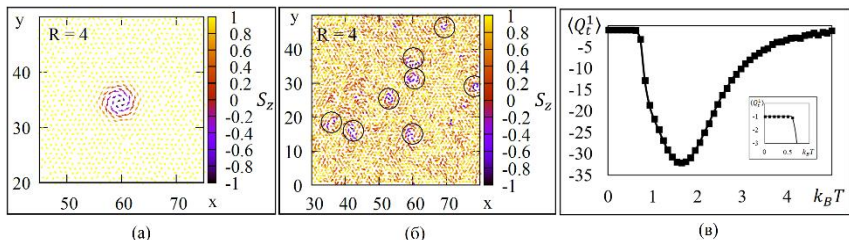


Рис. 1. (а) Конфигурация основного состояния первого слоя, (б) конфигурация первого слоя соответствующая $T \approx 0.83$ при $D = -1.0, h = 0.8, R = 4$. Параметры решетки 80×80 узлов. (в) Графики зависимости среднего топологического заряда от температуры первого слоя

В точке $T \approx 0.72$ возникает резкий скачек топологического заряда, в диапазоне температур $\in (0.72, 1.64)$ тепловые флуктуации способствуют формированию новых топологических возбуждений, распределенных случайным образом на поверхности первого слоя (пример возможного распределения намагниченности при $T \approx 0.83$, рис 1б). При дальнейшем росте температуры флуктуации становятся значительными, что приводит к разрушению нетривиальных структур и переходу в парамагнитную фазу.

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

Литература

1. Fert A., Cros V., Sampaio J. Nat. Nanotechnol. 8, 152-156 (2013).
2. Zhang X., Ezawa M., Zhou Y. Sci. Rep. 5, 1-8 (2015).
3. Boule O. et al. Nat. Nanotechnol. 11, 449-454 (2016).
4. Tchoe Y., Han J. H. Phys. Rev. B. 85, 174416 (2012).
5. Okamura Y. et al. Nat. Commun. 7, 12669 (2016).
6. Derras-Chouk A., Chudnovsky E. M. J. Phys. Condens. Matter. 33, 195802 (2021).
7. Abdrakhmanov D.I. et al. J. Phys. Condens. Matter. 37, 345403 (2025).
8. Fallon K. et al. Small. 16, 1907450 (2020).
9. Berg B., Lüscher M. Nucl. Phys. B. 190, 412-424 (1981).
10. Kim J. V., Mulkers J. IOP SciNotes. 1, 025211 (2020).

© Абдрахманов Д.И., Шарафуллин И.Ф.,

МАГНИТОГАЛЬВОНИЧЕСКИЕ ТОКИ В ПРОВОДЯЩИХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Сегодня спин является самым интересным объектом для изучения в области спинтроники, решающей проблемы выделения тепла и хранения информации.

Антиферромагнетики не создают полей рассеяния и демонстрируют динамику в терагерцовом диапазоне, что позволяет существенно снизить тепловыделение и повысить быстродействие спинтронных устройств на их основе. Для изучения были выбраны антиферромагнетики с тетрагональной симметрией, в котором возможна реализация магнитогальванических эффектов – Mn_2Au , CuMnAs [1].

В работе исследуется действие магнитного поля $\mathbf{H}(t) \parallel [001]$ на динамику намагниченности и возникающий вследствие этого воздействия гальванический ток (J). Магнитное поле, направленное вдоль оси $[001]$ индуцирует разворот магнитных подрешеток и, как следствие, приводит к возникновению ненулевого магнитного момента и гальванического тока. На рис.1 показана зависимость $J(t)$ при действии гармонического сигнала $H(t) = H_0 \cos(\omega t)$

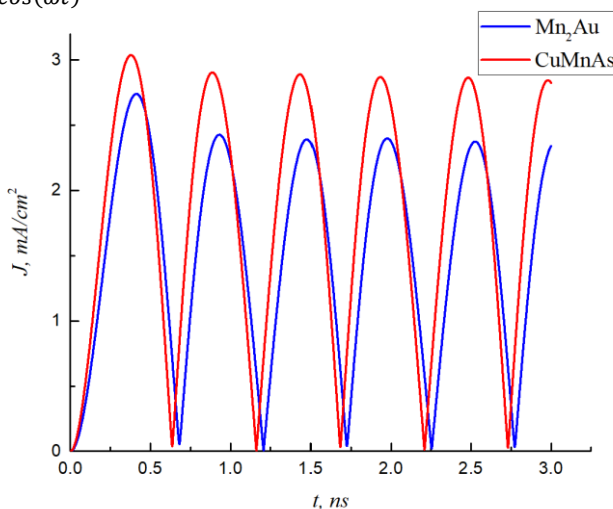


Рис. 1. График зависимости гальванического тока от гармонического поля

Величина и характер изменения тока зависят от параметров импульса магнитного поля (амплитуды, формы, частоты). Рассмотрены три типа импульсов: прямоугольный, гауссов и треугольный. Показано, что управление формой импульса магнитного поля в тетрагональном антиферромагнетике, позволяет реализовать детерминированное переключение антиферромагнитного порядка за счет различия откликов магнитной подсистемы. Это открывает возможность использования данного эффекта для кодирования данных.

Литература

1. А.К. Звездин, З.В. Гареева, Физика твердого тела, 66 (6) 814 (2024)

© Баймурзина Ю.И., Гареева З.В., 2026

УДК 537.221

Шестаков А.С.,
студ. 4 к. ЭФ АлтГТУ, г. Барнаул
Науч. рук.: Титов Е.В.,
д.т.н., в.н.с. НУ АлтГТУ, г. Барнаул

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СЛАБОПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТНЫХ СРЕДАХ ВБЛИЗИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ТОКОНЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Определение магнитных полей, создаваемых криволинейными проводниками, – ключевая задача в прикладной электродинамике и инженерии, решение которой важно для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС), разработки электрооборудования [1].

Традиционные подходы к расчету электромагнитных полей, основанные на законе Био-Савара, преимущественно применяются для проводников простой геометрии [2]. Однако, при работе с произвольными криволинейными проводниками, аналитическое интегрирование в общем виде в элементарных функциях становится невыполнимым. Для этого используются пакеты численного моделирования CST Studio Suite, COMSOL Multiphysics и др. [3, 4], предъявляющие высокие требования к вычислительной мощности ПК. Поэтому возникает необходимость в разработке гибридных методов, сочетающих аналитическую точность с вычислительной эффективностью.

Ток в рассматриваемом подходе – постоянный или с достаточно медленным изменением во времени таким, что соблюдаются условия

квазистационарности поля [5]. Вектор магнитной индукции в точке пространства $T(x_T, y_T, z_T)$ в соответствии с законом Био-Савара, применительно к параметрически заданному криволинейному проводнику $\vec{\gamma}(u) = (\gamma_x(u), \gamma_y(u), \gamma_z(u))$, определяется по формулам (1).

$$B_x = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \cdot \int_{u_0}^{u_n} \frac{\gamma'_y(z_T - \gamma_z) - \gamma'_z(y_T - \gamma_y)}{(\sqrt{(x_T - \gamma_x)^2 + (y_T - \gamma_y)^2 + (z_T - \gamma_z)^2})^3} du$$

$$B_y = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \cdot \int_{u_0}^{u_n} \frac{\gamma'_z(x_T - \gamma_x) - \gamma'_x(z_T - \gamma_z)}{(\sqrt{(x_T - \gamma_x)^2 + (y_T - \gamma_y)^2 + (z_T - \gamma_z)^2})^3} du \quad (1)$$

$$B_z = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \cdot \int_{u_0}^{u_n} \frac{\gamma'_x(y_T - \gamma_y) - \gamma'_y(x_T - \gamma_x)}{(\sqrt{(x_T - \gamma_x)^2 + (y_T - \gamma_y)^2 + (z_T - \gamma_z)^2})^3} du$$

Для проверки формул (1) была создана модель проводника с уравнением $\vec{\gamma}(u) = (\cos(4u), 2\cos(u), 2\sin(u))$, $u \in [0; 2\pi]$ в пакете CST Studio Suite [3]. В замкнутый контур был введен постоянный ток $I=50$ А. Определение модуля \vec{B} в CST проводилось в модуле Low Frequency с использованием M-Static Solver с определением значений в 10-ти точках в пространстве вокруг кривой. Результаты расчета модуля \vec{B} в CST сопоставились с расчетами по формулам (1) в онлайн-калькуляторе Desmos. Значения модулей вектора индукции точках сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты расчетов модулей вектора магнитной индукции

Расчетная точка, м	Расчет B в Desmos, мкТл	Расчет B в CST Studio, мкТл
(0,6 ; 0,058 ; -2,316)	24,86837	24,3475
(2 ; 2,405 ; 1,557)	2,445782	2,50405
(-0,5 ; -0,859 ; -1,258)	25,6801	25,5198
(-0,5 ; 2,68 ; 2,634)	1,555685	1,47976
(-1,3 ; -1,574 ; -0,296)	9,758773	9,67077
(1,3 ; 1,243 ; -0,606)	10,63208	10,1785
(1,3 ; -1,706 ; 2,057)	4,39844	4,39276
(1 ; -3,305 ; -3,327)	0,731394	0,708232
(-1,3 ; 2,719 ; 1,436)	2,71535	2,7906
(-2 ; -1,528 ; 1,172)	4,963452	5,00026

В среднем отклонения результатов расчетов составляют около 3%. Отклонения становятся больше с приближением непосредственно к проводнику. Погрешность может быть обусловлена разбиением пространственной сетки из тетраэдров на 2000 ячеек.

Литература

1. Основы электромагнитной совместимости: учебник / Л.В. Куликова, О.К. Никольский, А.А. Сошников, Е.В. Титов. 5-е изд., доп. Москва: Директ-Медиа, 2025, 400 с.
2. Шестаков, А. Титов, Е.В. Математическое моделирование магнитных полей криволинейных проводников с током в неферромагнитных средах // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2026. № 1 (375), С. 266-271.
3. Фатеев, А. В. Применение CST Microwave Studio для расчета антенн и устройств СВЧ: учеб. пособие / А. В. Фатеев. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2017, 115 с.
4. Титов, Е.В. Методология комплексного контроля и визуализации электромагнитной обстановки в АПК: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02. Барнаул, 2021, 345 с.
5. Белашов, В. Электромагнитная теория и ЭМС электротехнических устройств. Ч. 1 Электромагнитная теория. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т; 2007, 122 с.

© Шестаков А.С., Титов Е.В., 2026

УДК 517.957, 537.611, 51-73

Попов А.В., студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Кабанов. Д.К., маг. 2 г. об ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Екомасов Е.Г., д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БРИЗЕРОВ УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ДВУМЯ ПРОТЯЖЕННЫМИ ПРИМЕСЯМИ И УЧЕТОМ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛН

Уравнение синус-Гордона (УСГ), которое относится к классу уравнений Клейна-Гордона, широко используется для описания нелинейных волновых процессов в теоретической и математической физике [1], поскольку оно обладает точными аналитическими решениями в виде кинка, бризера и солитона. Данное уравнение находит широкое применение, например, оно может описывать динамику доменных границ

в ферромагнетиках [2–3]; однако для этого исходное уравнение необходимо модифицировать, например, учесть наличие внешней силы, неоднородность параметров среды и т.д. Модифицированное уравнение синус-Гордона (МУСГ) уже не имеет точных аналитических решений, но для него существует ряд широко используемых численных методов (например, метод конечных разностей, метод линий и др.) и аналитических подходов (например, метод коллективных координат).

В настоящей работе исследована динамика нелинейных локализованных волн бризерного типа, возникающих в двух прямоугольных протяженных притягивающих примесях после прохождения кинка. Проведён анализ бризеров и их излучений. Показано влияние типа колебаний бризеров (синфазные, антифазные, биения) на свойства излучаемых волн. Также установлена зависимость между параметрами излучений и параметрами примесей.

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. Возможность управления динамикой и структурой магнитного солитона в трехслойной ферромагнитной структуре// Письма в ЖТФ – 2021. – т. 47, в. 10. – с. 15 – 18;
3. Одномерная динамика доменной границы в мультислойной ферромагнитной структуре / 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 537.611.3

Кабанов Д.К.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Екомасов Е.Г.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

КОЛЕБАНИЕ МАГНИТНЫХ СОЛИТОНОВ В МУЛЬТИСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕНЕРАТОРА СПИНОВЫХ ВОЛН

Современные экспериментальные возможности в области нанотехнологий и магнитных измерений стимулируют углубленное изучение динамики магнитных неоднородностей, особенно в

мультислоенных 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 (УСГ) с примесями [1]. В [2] показано, что динамика доменных границ в мультислоенных структурах может приводить к генерации устойчивых локализованных солитонов, являющихся источниками спиновых волн.

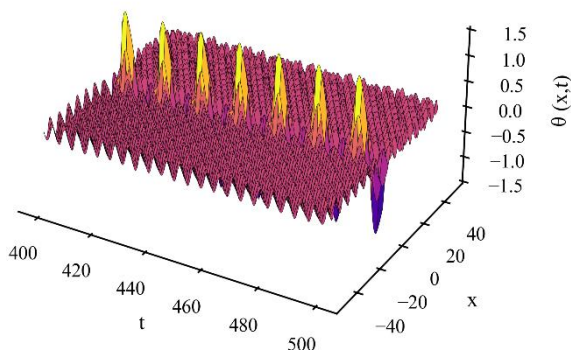


Рис. 1. Колебание магнитного бризера под действием переменного магнитного поля. Угол θ – отклонение вектора намагниченности от оси легкого намагничивания

В данной работе исследуется возможность создания генератора спиновых волн на основе магнитных бризеров и солитонов (рис. 1) возбуждаемых 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 высокоамплитудных спиновых волн. Частота этих волн фиксирована и определяется как собственными свойствами магнитного бризера и солитона, так и частотой приложенного поля.

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

Литература

1. М.А. Шамсутдинов, И.Ю. Ломакина, В.Н. Назаров, А.Т. Харисов, Д.М. Шамсутдинов. Ферро- и антиферромагнитодинамика. Нелинейные колебания, волны и солитоны. Наука, М. (2009). 456 с;

2. Екомасов, Е. Г., Назаров, В. Н., Самсонов, К. Ю., Муртазин, Р. Р. (2021). Возможность управления динамикой и структурой магнитного солитона в трехслойной ферромагнитной структуре. Письма в ЖТФ, 47(10). 2021, С. 15-18. DOI: 10.21883/PJTF.2021.10.50966.18718

© Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.,

УДК 577.3.01, 530.

Латыпов А.Э.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Закирьянов Ф.К.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОПИСАНИЕ ОТКРЫТОГО СОСТОЯНИЯ МОЛЕКУЛЫ ДНК ДВУХСОЛИТОННЫМИ РЕШЕНИЯМИ УРАВНЕНИЯ SIN-ГОРДОНА

В угловых моделях нелинейной динамики молекулы ДНК *открытое состояние* (open state), возникающее в процессе функционирования ДНК, описывается поворотом азотистых оснований вокруг сахарофосфатного остова (СФО). Математическим образом этого открытого состояния являются 2π -кинки уравнения sin-Гордона (УСГ), история применения которого для описания конформационных волн в молекуле ДНК насчитывает почти полвека. В то же время одним из возражений против существования в ДНК солитонов в виде 2π -кинок является *предположение* о том, что азотистые основания не могут сделать полный оборот вокруг СФО из-за стерических ограничений (steric hindrances). Поэтому весьма актуальным является поиск других типов решений УСГ для описания конформационной динамики ДНК.

Мы предлагаем в качестве математического образа открытого состояния в молекуле ДНК использовать *двухсолитонное* решение УСГ в виде *достаточно близкой пары кинка и антикинка*, движущихся в одном направлении с одинаковыми (или близкими) скоростями [1-2]. При достаточно малом расстоянии между центрами кинка и антикинка это решение описывает поворот азотистых оснований вокруг СФО на угол меньше 2π (в том числе и на 180° , что, на наш взгляд, наилучшим образом соответствует открытому состоянию) с последующим их возвращением в

равновесное состояние. *Топологический заряд такого решения равен нулю.* Это является очень ценным математическим свойством для описания солитонов в полимерных цепочках.

Считается, что энергия пары «кинк+антикинк» с достаточно большим расстоянием между их центрами в два раза больше энергии одиночного кинка (антикинка). Нами показано, что энергия такой пары *зависит от расстояния* между центрами кинка и антикинка и при малых расстояниях может принимать значения, меньшие двойной энергии кинка и близкие к энергии одиночного кинка.

Таким образом, использование двухсолитонного решения УСГ в виде близкой пары кинка и антикинка, движущихся в одном направлении с одинаковыми (или близкими) скоростями, весьма перспективно для описания распространения области открытого состояния в молекуле ДНК как с «энергетической», так и с «топологической» точки зрения.

Литература

1. Закирьянов Ф.К., Латыпов А.Э. Пара «кинк+антикинк» уравнения \sin -Гордона в применении к описанию открытого состояния молекулы 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. 47-48.

2. Латыпов А.Э. Двухсолитонное решение уравнения \sin -Гордона в применении к динамике ДНК. // *Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах.* Материалы XI Межрегиональной школы-конференции молодых ученых. Уфа, 2025. С. 27.

© Латыпов А.Э., Закирьянов Ф.К., 2026

УДК 538.955

Лукошкина Т.А.,
маг. 1 г. об. ТюмГУ, г. Тюмень
Науч. рук.: Нерадовский Д.Ф.,
ст. преп. ТюмГУ, г. Тюмень

РАЗНОПОЛЯРНАЯ ДИНАМИКА МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В ТРЕХСЛОЙНОМ СПИН-ТРАНСФЕРНОМ НАНООСЦИЛЛЯТОРЕ

Рассматривается связанная динамика антипараллельных магнитных вихрей в трёхслойном спин-трансферном наноосцилляторе (СТНО) (рис. 1), который представляет собой наноцилиндр с двумя магнитными

(пермаллоевыми) слоями, между которыми лежит немагнитный слой. Для представленной в работе модели были использованы следующие параметры: $L_1 = 15$ нм, $L_2 = 4$ нм, $d = 10$ нм, $R = 60$ нм.

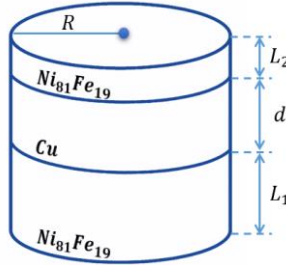


Рис. 1. Схематическое изображение трехслойной наностолбчатой структуры

Известно, что для описания нелинейной динамики векторов намагниченности в каждом из ферромагнитных слоев используется обобщенное уравнение Ландау-Лифшица [1]. Для упрощенного описания движений связанных вихрей в рамках метода коллективных координат можно получить систему уравнений Гили для векторов \vec{r}_1 и \vec{r}_2 , определяющих положение центров вихрей [2].

$$\vec{G}_i \times \dot{\vec{r}}_i = \frac{\partial}{\partial \vec{r}_i} W(\vec{r}_1, \vec{r}_2), \quad i = \overline{1,2} \quad (1)$$

где $\vec{G}_i = -G_i \vec{e}_z$, $G_i = 2\pi L_i \frac{M_{si}}{\gamma} p_i$, M_{si} — намагниченность насыщения i -го слоя, p_i — полярность кора в i -м слое, γ — гиромагнитное отношение, L_i — толщина i -го слоя.

Чтобы рассмотреть движение антипараллельных вихрей, необходимо учесть магнитное взаимодействие их ядер. Энергия $W(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$ системы двух связанных вихрей может быть записана следующим образом:

$$W(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \frac{1}{2} k_1 \vec{r}_1^2 + \frac{1}{2} k_2 \vec{r}_2^2 + \mu (\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2) \quad (2)$$

где, k_i — коэффициент квазиупругости i -го вихря, μ — коэффициент, определяющий взаимодействие вихрей.

Системы уравнений, получающаяся из соотношений (1) и (2) при решении обезразмеривается, при этом получают следующие безразмерные комплексы:

$$G_{21} = \frac{G_2}{G_1}, k_{21} = \frac{k_2}{k_1}, \chi = \frac{\mu}{k_1} \quad (3)$$

Для антипараллельных вихрей отношение G_{21} является отрицательным. Получившееся стационарное движение показывает, что вихри движутся «друг за другом», в одном направлении. Помимо прочего, анализ аналитического решения для уравнений, описывающих данную модель, показал, что не для всех комплексов χ решение существует, что говорит о влиянии геометрии системы на возможность возникновения стационарного движения связанной системы вихрей. Так же рассмотрение уравнения Тия даёт качественно идентичный результат, который получается при численном решении уравнения Ландау-Лифшица (с помощью пакета программ для микромагнитного моделирования – SpinPM) при наличии спин-поляризованного тока [3].

Литература

1. Исследование влияния толщины немагнитного слоя на связанную динамику магнитных вихрей в спин-трансферном наноосцилляторе / Е.Г. Екомасов, Д.Ф. Нерадовский, М.И. Фахретдинов, В.Н. Назаров // Челябинский физико-математический журнал, – 2025. – Т. 10, № 2. – С. 227–235.
2. Thiele A.A. Steady-State Motion of Magnetic Domains // Physical Review Letters, 1973. – Vol. 30, No. 6. – P. 230-233.
3. E.G. Ekomasov, R.A. Faskhutdinov, D.K. Kabanov, I.F. Sharafullin. STRUCTURE AND NONLINEAR COUPLED DYNAMICS OF MAGNETIC VORTICES IN SPINTRANSFER NANOOSCILLATORS. IX Euro-Asian Symposium "Trends in MAGnetism" (EASTMAG-2025): Abstracts. – Yuzhno-Sakhalinsk, Editorial and publishing center, Sakhalin State University, 2025. – p. 268.

© Лукошкина Т.А., Нерадовский Д.Ф., 2026

УДК 539.216.2:537.624

Ильясова Г.Ф.,
 мол. уч. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Вахитов Р.М.,
 д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ТРАНСФОРМАЦИЯ $k\pi$ -СКИРМИОНОВ НА КОЛУМНАРНЫХ ДЕФЕКТАХ ТИПА «ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА»

В последнее время значительно возросли масштабы исследований магнитных скирмионов, их свойств, влияния на них различных факторов, магнитных материалов, в которых они стабилизируются, и т.д. Такой

интерес был вызван их перспективами в разработке различных устройств спинтроники.

В большинстве исследований скирмионы стабилизируются в киральных магнетиках благодаря наличию в них взаимодействия Дзялошинского-Мория (ВДМ), однако были выявлены определённые ограничения на их стабилизацию в таких магнетиках. Поэтому возник интерес к поиску некиральных магнитных материалов, в которых в отсутствие в них ВДМ, могут возникать устойчивые скирмионные состояния. Одним из наиболее приемлемых способов получения устойчивых скирмионов в них, является создание модифицированных магнитных плёнок, в которых путем облучения их поверхности локализованным пучком ионов He^+ создаются участки с изменёнными значениями материальных параметров плёнок, в частности, с пониженным значением константы одноосной анизотропии. В результате, в таком образце формируется решётка дефектов типа «потенциальная яма», на которых при определённых условиях происходит стабилизация магнитных скирмионов. В большинстве работ под термином «магнитный скирмион» понимается вихреподобная неоднородность, в которой единичный вектор намагниченности $\mathbf{m} = \mathbf{m}(r)$ изменяет свое направление на 180° при перемещении в радиальном направлении от центра ($r=0$) до периферии ($r=\infty$) пленки (π -скирмион). В работе [1] теоретически было предсказано, что в одноосных ферромагнитных пленках с ВДМ возможно существование скирмионов с более сложной структурой, так называемые $k\pi$ -скирмионы ($k \in 1, 2, 3, \dots$), в которых «закрутка» вектора \mathbf{m} происходит на угол, кратный 180° . Такие структуры возможно получить как в киральных магнетиках [2], так и в некиральных [3]. В [3] были экспериментально выявлены устойчивые состояния 2π , 3π и 4π -скирмионов при комнатной температуре ($T=300$ К).

В представленной работе рассматривались условия стабилизации $k\pi$ -скирмионов в магнитоодноосной ограниченной плёнке в виде диска, содержащей колумнарный дефект типа «потенциальная яма». Из полученных результатов следует, что наличие подобного дефекта, значения материальных параметров которого можно менять в меньшую сторону, положительно влияет на устойчивость магнитных текстур и приводит к тому, что $k\pi$ -скирмионы ($k = 1, 2, 3, 4$) становятся стабильными при меньших размерах диска. Кроме того, было выявлено, что при больших значениях радиуса диска ($R > 1150$ нм) возможно существование $k\pi$ -скирмионов с $k = 5, 6, 7, 8$ (Рис. 1) которые в отсутствие в диске дефектов могут возникать как устойчивые структуры, но при больших значениях размеров диска.

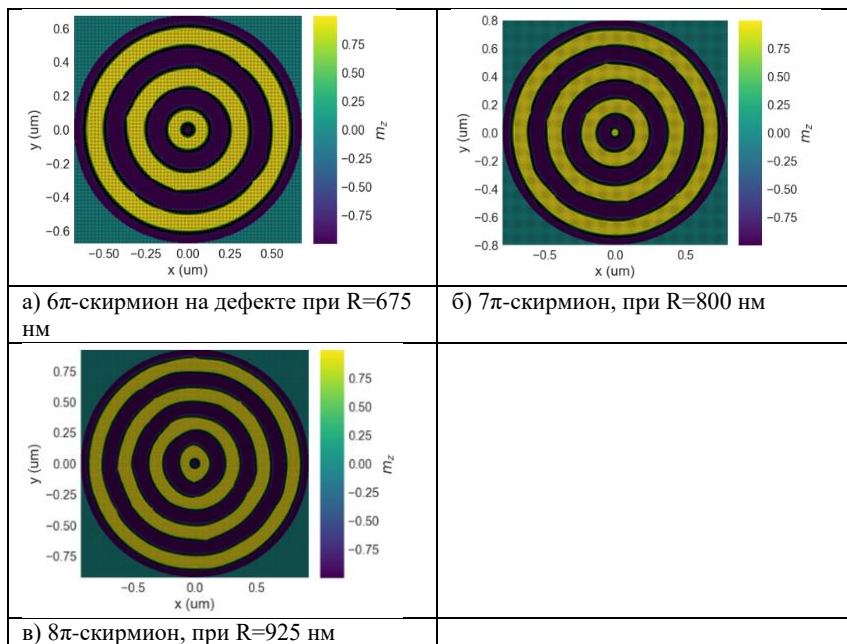


Рис. 1. Изображения $k\pi$ -скирмионов с различным k , стабилизированных в присутствии дефекта $R_0=50$ нм, $K_2=0$ Дж/м³ с помощью Ubertmag

Авторы благодарят за финансовую поддержку Государственное задание Российской Федерации на проведение научных исследований лабораториями (Теория, моделирование и получение тонкоплёночных, наноструктурированных и гибридных структур (FRRR-2024-0001)))

Литература

1. A.Bogdanov, A.Hubert, J. Magn.Mater. 195,182 (1999)
2. Beg, M., Carey, R., Wang, W. et al., Sci Rep 5, 17137 (2015)
3. J. Jiang, Y. Wu, L. Kong, Y. Wang, J. Li, Y. Xiong, J. Tang Acta Materialia, 215, 117084 (2021)

© Ильясова Г.Ф., Вахитов Р.М., 2026

ИЗУЧЕНИЕ НЕМАТИЧЕСКИХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИММЕТРИЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Физика топологически нетривиальных структур в анизотропных материалах является активно развивающейся областью физики конденсированного состояния вещества. Жидкокристаллические системы с топологическими дефектами применяются для управления структурными переходами под действием света и электрического поля, а также для контроля коллективного поведения в коллоидных системах [1].

Нематическая система типа мостик (капля, смачивающая две параллельные подложки) является удобной модельной системой для изучения топологических структур и переходов. Известно, что в нематическом мостике с нормальными граничными условиями наблюдаются точечные и кольцевые линейные дефекты, между которыми возможен структурный переход при изменении параметров системы или воздействии электрического поля [2].

В данной работе методом поляризационной микроскопии исследовались топологические структуры и переходы в мостиках нематика MBVA при приложении электрического поля. Проведено численное моделирование распределения электрического поля внутри нематического слоя в рамках континуальной теории Озеена-Франка; рассчитано искажение поля, обусловленное анизотропией диэлектрической проницаемости среды и неоднородностью поля директора. Полученные теоретические результаты качественно согласуются с экспериментальными данными.

Литература

1. Topological-defect-featured order evolution of liquid crystals / J.-B. Wu, D. Luo, Z. Guo [et al.] // *Responsive Materials*. – 2026. – Vol. 4. – P. e70035.
2. Critical radius of loop defects in homeotropic nematic liquid crystals / S. Thiberge, C. Chevillard, J. M. Gilli, A. Buka // *Liquid Crystals*. – 1999. – Vol. 26, No. 8. – P. 1225-1234.

Полуденная О.А.,
 студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
 Самигуллина А.И.,
 маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Шарафуллин И.Ф.,
 д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ДИНАМИКА СПИНОВЫХ ВОЛН В МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

Гелимагнетики – материалы с уникальной магнитной структурой, которая характеризуется тем, что магнитные моменты образуют спираль с волновым вектором вдоль одной из осей в плоскости пленки. Они обладают рядом свойств, в том числе способностью формировать магнитные скирмионы. Спиновые волны распространяются в магнитоупорядоченных системах так же, как фононы в моно- или поликристаллах. При конечных температурах спиновые волны – это единственный физический процесс, который определяет низкотемпературные магнитные свойства системы [1]. Эффективным инструментом для изучения спиновых систем и расчета их магнитных свойств при различных температурах является метод функций Грина.

Рассмотрим пленку с симметрией простой кубической решётки - на ее узлах расположены спины Гейзенберга ($S = 1/2$). Спины на узлах в плоскости (xy) взаимодействуют между собой при помощи обменного ферромагнитного взаимодействия. Принято, что параметр взаимодействия между ближайшими соседними спинами обозначен $J_1 > 0$. Следующие ближайшие соседние спины вдоль оси y взаимодействуют между собой посредством антиферромагнитного обмена, соответствующий параметр взаимодействия обозначим $J_2 < 0$. Внешнее магнитное поле будем считать направленным вдоль оси z . Гамильтониан пленки запишем в виде:

$$H = -J_1 \sum_{i,j} S_i \cdot S_j - J_2 \sum_{i,k} S_i \cdot S_k - h \sum_i S_i, \quad (1)$$

где S_i – спин, на i -м узле простой кубической решётки, J_1 – ферромагнитное взаимодействие между двумя ближайшими спинами S_i и S_j (NN), J_2 – антиферромагнитное взаимодействие для следующих ближайших соседей (MNN) вдоль оси y , h – величина напряженности магнитного поля, приложенного вдоль направления z перпендикулярно плоскости (xz) решётки.

Спиральная конфигурация получается за счёт минимизации энергии взаимодействия, где угол отклонения между соседними спинами описывается:

$$\theta = \pm \arccos\left(\frac{J_1}{4J_2}\right), \quad (2)$$

Исследовались спектры спиновых волн:

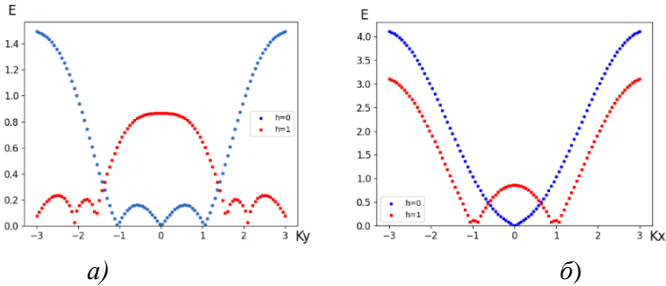


Рис. 1. Зависимость энергии от волнового вектора в простой кубической решетке со спиральной структурой по оси y : без внешнего магнитного поля $h = 0$ (синий цвет); с влиянием магнитным полем $h = 1$ (красный цвет): а) $k_x = 0$, зависимость от волнового вектор k_y , б) $k_y = 0$, зависимость от волнового вектор k_x

В пленке без внешнего магнитного поля $h = 0$ спектр в зависимости от волнового вектора k_y возбуждается, в то время как в системе с магнитным полем $h = 1$ создаются условия для спиновой поляризации частиц в системе. В начальный момент $k_y = 0$ спиновый спектр имеет максимальную энергию $E_{max} = 0.862$, с увеличением волнового вектора по модулю $|k_y|$, взаимодействия между частицами усиливаются, и происходит снижение энергии и угасание спектра.

Изменение магнитного поля приводит к существенной перестройке магнитной структуры и энергетического спектра гелимагнетиков. Магнитное поле не только влияет на тип магнитного упорядочения, но и определяет динамику спиновых возбуждений.

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

Литература

1. S.M. Stishov, A.E. Petrova, S. Khasanov, G.Kh. Panova, A.A. Shikov, J.C. Lashley, D. Wu, T.A. Lograsso, Phys. Rev. B. 76. 052405 (2007).
2. А. И. Самигуллина, И. Ф. Шарафуллин, Дни калорики в Челябинске: функциональные материалы и их приложения: Сборник тезисов Шестого международного научного семинара, С. 102-104 (2025).

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

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

УДК 537.868

Баранов Б.М.,
маг. 1 к. ЭФ АлтГТУ, г. Барнаул,
Новокрещенов А.М.,
асп. 3 г. об. ЭФ АлтГТУ, г. Барнаул
Науч. рук.: Титов Е.В.,
д.т.н., в.н.с. НУ АлтГТУ, г. Барнаул

ЧАСТОТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СВЧ-НАГРЕВА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

При СВЧ-обработке конденсированных диэлектрических материалов (древесина, керамика, бетон и др.) глубина проникновения электромагнитного поля (ЭМП) и поглощаемая мощность зависят от частоты, диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь [1]. В промышленности стандартизованы частоты 915 МГц и 2450 МГц, однако для материалов толщиной от 50 до 120 мм ни одна из них не обеспечивает оптимального соотношения между равномерностью нагрева и эффективностью преобразования энергии. Причиной этого является нелинейная зависимость относительной диэлектрической проницаемости (ϵ') и коэффициента диэлектрических потерь (ϵ'') от частоты и температуры, приводящая к тепловому пробую на 2450 МГц и недостаточной интенсивности ЭМП на 915 МГц [2].

Для воды, являющейся основным поглотителем в большинстве материалов, известны дисперсионные зависимости ϵ' и ϵ'' от частоты в диапазоне 0,9-2,5 ГГц [3, 4]. Экстраполяция данных, полученных в рамках теории Дебая [1], дает для частоты 1667 МГц при температуре 20-60°C: $\epsilon' = 76 - 73$, $\epsilon'' = 18 - 24$, $\text{tg}\delta = 0,24 - 0,33$. Для типичных строительных и конструкционных материалов с влажностью 30% объемная доля воды составляет 0,3, поэтому на основании уравнения Лихтенеккера [4, 5] эффективные параметры будут равны 8 и 2 для ϵ' и ϵ'' соответственно. Подставляя эти данные в формулу глубины проникновения (формула (1)) [5], получаем диапазон 58-62 мм.

$$\sigma = \frac{c}{2\pi f \sqrt{\epsilon'_f} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''_f}{\epsilon'_f}\right)^2} - 1 \right)}}, \quad (1)$$

где σ – глубина проникновения ЭМП в диэлектрический материал, м,

c – скорость света в вакууме ($3 \cdot 10^8$ м/с),
 f – частота электромагнитного поля, Гц (принимается $1,667 \cdot 10^9$ Гц),
 ε'_f и ε''_f – эффективная действительная и мнимая части относительной диэлектрической проницаемости материала,
 $\varepsilon''_f / \varepsilon'_f = \operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Следовательно, глубина проникновения для предлагаемой частотной составляющей ЭМП перекрывает диапазон толщины материалов 50-120 мм при двустороннем облучении.

На частоте 2450 МГц для толщины материалов более 50 мм зависимость диэлектрической проницаемости от температуры воды приводит к неустойчивости, вызванной тем, что начальный перегрев поверхности снижает поглощение вглубь и приводит к тепловому пробую [3, 4]. На 915 МГц глубина проникновения составляет более 150 мм, но удельная мощность падает в 7 раз по сравнению с 2450 МГц $(2450/915)^2$, что недостаточно для инициирования плазмы при давлении 10-100 Па [5]. На частоте 1667 МГц отношение квадратов частот к 2450 МГц составляет 0,46 $(1667/2450)^2$, т.е. интенсивность ЭМП лишь вдвое ниже, а толщина материала в 2-3 раза больше, чем на 2450 МГц. Этот компромисс позволяет избежать тепловой неустойчивости.

Таким образом, частота 1667 МГц является целесообразной для диэлектрических материалов толщиной 50-120 мм, обеспечивая глубину проникновения 60-110 мм и допустимый уровень интенсивности электромагнитного поля для инициирования плазменных процессов. Однако для уточнения модели требуются экспериментальные измерения зависимостей $\varepsilon'(f, T)$ и $\varepsilon''(f, T)$ для конкретных материалов в частотном диапазоне 1,5-1,8 ГГц.

Литература

1. Артюхов, И. И. и др. Применение имитационного моделирования для исследования системы электропитания СВЧ электротехнологической установки // Вопросы электротехнологии. 2020. №4(29). С.56-63.
2. Воронов, Е.В. Разработка и обоснование параметров СВЧ-установки с биконическим резонатором // Вестник НГИЭИ. 2023. №12(151). С.48-59.
3. Титов, Е.В. Методология комплексного контроля и визуализации электромагнитной обстановки в АПК: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02. Барнаул, 2021. 345 с.
4. Куликова, Л.В., Багаев, А.А., Титов, Е.В. Электротехнология: учебник. 3-е изд., доп. Москва: Директ-Медиа, 2025. 392 с.
5. Тухватуллин, М.И., Юсин, Д.П., Герасименко, И.В. Конструктивные особенности гибридной СВЧ электротехнологической установки // Известия Оренбургского ГАУ. 2025. №1(111). С.130-137.

© Баранов Б.М., Новокрещенов А.М., Титов Е.В., 2026

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СОЕДИНЕНИЯ $\text{Cu}_{1.8}\text{Na}_{0.2}\text{S}$

Сульфиды меди являются перспективными материалами для термоэлектрических преобразователей, источников тока, солнечных элементов, оптических устройств и различных датчиков. Ограниченное применение сульфидов меди в качестве термоэлектрических материалов связано с их относительно низким к.п.д. (<7%). В связи с этим актуальным является повышение добротности и к.п.д. термоэлектрических преобразователей.

Термоэлектрическая добротность выражается безразмерной величиной:

$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{\chi},$$

где σ – электропроводность материала; S – коэффициент термо.-э.д.с.; χ – теплопроводность; T – рабочая температура. Для повышения добротности необходимо увеличить электропроводность и коэффициент термо.-э.д.с. и снизить теплопроводность материала.

Многие сульфиды меди являются быстрыми ионными проводниками. Подвижные ионы служат центрами рассеяния фононов и тем самым снижают теплопроводность. Кроме этого, результаты ряда исследований показали, что добавление одновалентных металлов Li, Na, K в халькогениды меди приводит к образованию пористой структуры. Поры так же рассеивают фононы и снижают теплопроводность. Селениды меди $\text{Cu}_{2-\delta}\text{Se}$, легированные одновалентными металлами, изучены достаточно хорошо. Однако, сульфиды меди $\text{Cu}_{2-\delta}\text{S}$, легированные одновалентными металлами, изучены недостаточно. Это, по-видимому, объясняется трудностями получения однофазных образцов.

В данной работе нами синтезировано новое соединения на базе сульфида натрия $\text{Cu}_{1.8}\text{Na}_{0.2}\text{S}$ путем замещения ионов меди Cu^{1+} ионами натрия Na^{1+} . Ионные радиусы натрия и меди близки: $R^{1+}_{\text{Na}} = 0,98 \text{ \AA}$, $R^{1+}_{\text{Cu}} = 0,96 \text{ \AA}$. Поэтому на базе сульфида меди Cu_2S должны образоваться твердые растворы замещения меди натрием $\text{Cu}_{2-x}\text{Na}_x\text{S}$.

Смешанное соединение $\text{Cu}_{1.8}\text{Na}_{0.2}\text{S}$ получили методом твердофазных реакций в вакуумированных ампулах из сульфида меди Cu_2S и натрия Na_2S . Сульфид меди Cu_2S синтезировали из элементов ампульным

методом. Безводный сульфид натрия Na_2S получили из гидрата сульфида натрия $\text{Na}_2\text{S} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($n=1, 2, 5, 9$) путем обезвоживания в вакууме.

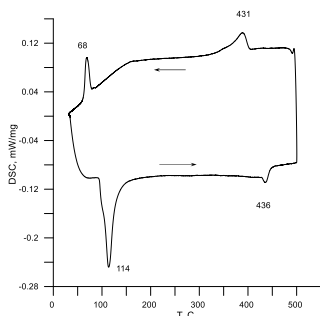


Рис. 1. DSC-кривые для образца $\text{Cu}_{1.8}\text{Na}_{0.2}\text{S}$

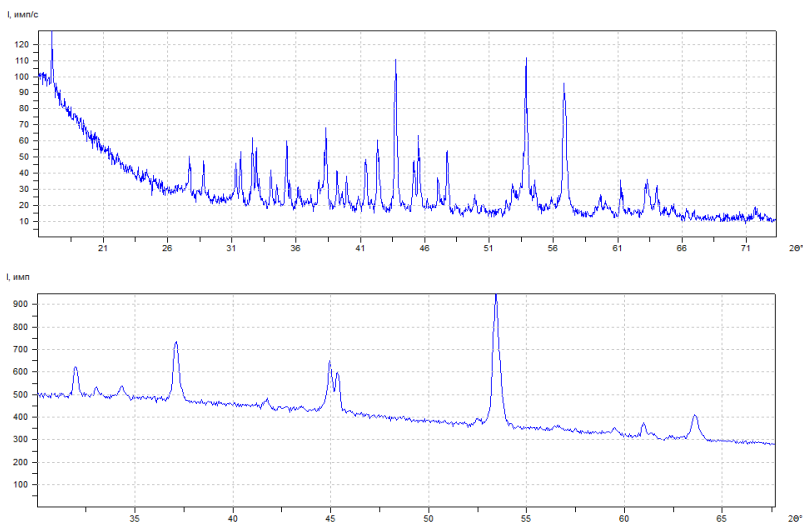


Рис. 2. Дифрактограмма образца $\text{Cu}_{1.8}\text{Na}_{0.2}\text{S}$ при комнатной температуре и при $T=200^\circ\text{C}$

DSC-кривые показывают, что в исследуемом образце при нагреве и охлаждении происходят два эндотермических процесса (рис. 1). Согласно результатам рентгеновских исследований образец при комнатной температуре содержит линии низкотемпературного халькозина Cu_2S и линии гексагональной фазы. При $T=200^\circ\text{C}$ образец имеет ГЦК структуру (рис. 2).

Хазикаев Э.А.,
студ. 1 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Кубенова М.М.,
к.ф.-м.н., PhD ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
Науч. рук.: Балапанов М.Х.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОВОДИМОСТИ $Ag_{0.01}Cu_{1.99}Se$

В последнее время к халькогенидам меди и серебра наблюдается повышенный интерес в связи с перспективностью применения в термоэлектрических устройствах [1, 2]. Важным методом повышения полезных характеристик материала является допирование подходящими добавками [1]. В данной работе был исследован легированный селенид меди $Ag_{0.01}Cu_{1.99}Se$, приготовленный электрохимическим внедрением серебра в селенид меди при 350 °С в среде аргона. Данный образец выше 200 °С является твердым раствором Ag_2Se на базе ГЦК фазы Cu_2Se [3]. При комнатной температуре он состоит из трех фаз: орторомбической фазы Cu_2Se , кубической фазы $Cu_{1.8}Se$ и орторомбической фазы $AgCuSe$ [4].

Для измерений электронной проводимости использовали четырехзондовый метод на постоянном токе. Для подавления ионной составляющей тока в образце применяли электронные графитовые электроды. Для измерения электрических потенциалов электронов применялись в качестве зондов никелевые контакты. В той же экспериментальной ячейке измерялась э.д.с. Холла, по которой вычислялась концентрация носителей тока.

Результаты измерений приведены на рис. 1. и рис. 2.

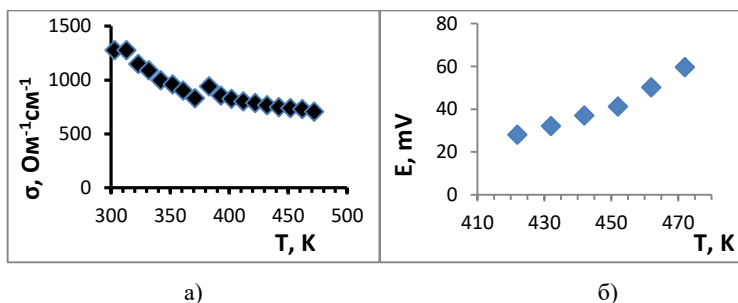


Рис. 1. Температурные зависимости электронной проводимости образца $Ag_{0.01}Cu_{1.99}Se$ (а) и э.д.с. электрохимической ячейки $Ag/AgI/Ag_{0.01}Cu_{1.99}Se/C$ (б).

Легирование серебром привело к некоторому снижению электронной проводимости по сравнению с $\text{Cu}_{1.99}\text{Se}$, что согласуется с результатами [5]. Видно, что температурная зависимость проводимости на рис. 1а имеет вид, характерный для вырожденного полупроводника. Сложный вид рис.2б объясняется конкуренцией двух механизмов дефектообразования [6].

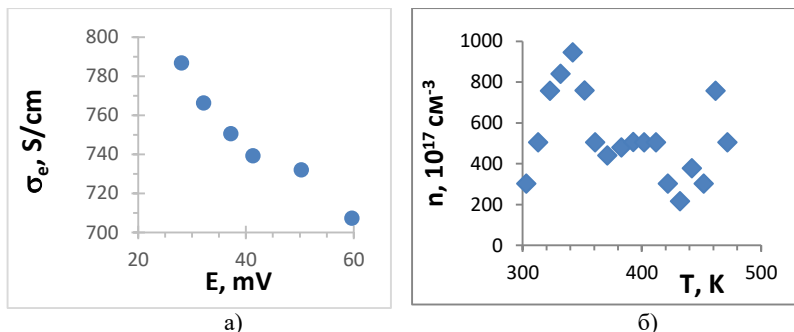


Рис. 2. Зависимость электронной проводимости образца $\text{Ag}_{0.01}\text{Cu}_{1.99}\text{Se}$ от э.д.с. электрохимической ячейки $\text{Ag}/\text{AgI}/\text{Ag}_{0.01}\text{Cu}_{1.99}\text{Se}/\text{C}$ (а) и температурная зависимость концентрации носителей тока (б).

Литература

1. Basit A. et al. Recent advances, challenges, and perspective of copper-based liquid-like thermoelectric chalcogenides: A review. *EcoMat*. 2023. 5, e12391.
2. Jaldurgam F.F. et al. Low-toxic, earth-abundant nanostructured materials for thermoelectric applications // *Nanomaterials*. 2021. V. 11. P. 895.
3. Kubenova M.M. et al. Some Thermoelectric Phenomena in Copper Chalcogenides Replaced by Lithium and Sodium Alkaline Metals. // *Nanomaterials*. 2021. V.11. P. 2238–2286.
4. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х. и др. Термоэлектрические и тепловые свойства суперионных сплавов $\text{Ag}_x\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$ ($x=0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.25$). // Письма о материалах, 2016. Т. 6, Вып. 4. с. 360-365.
5. Partial conductivity of cations of different kinds in the alloys of $\text{Cu}_2\text{X-AG}_2\text{X}$ ($\text{X}=\text{Se}, \text{Te}$) mixed conductors. Yakshibaev R.A., Balapanov M.Kh. et al. // *phys. stat. sol. (a)*. 1989. Т. 112. № 2. С. K97 - K100.
6. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х. и др. Электронная и ионная термоэдс в смешанных проводниках $\text{Ag}_{0.25-x}\text{Cu}_{1.75}\text{Se}$, $\text{Ag}_{1.2-x}\text{Cu}_{0.8}\text{Se}$ // *Электрохимия*. 2017. Т. 53. № 8. С. 964-971. // *Электрохимия*. 2017. Т. 53. № 8. С. 964-971.

Абуайяш А.М.М.,
асп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Нестеров К.М.,
к.ф.-м.н. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Наумов И.А.,
студ. 1 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Зайнуллин А.И.,
студ. 1 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Гизатуллин Д.Д.,
студ. 1 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СТАЛИ 30ХГСА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ РОТОРОВ СИНХРОННЫХ МАШИН

Аннотация: в работе исследовано влияние режимов термической обработки на комплекс магнитных и прочностных свойств стали 30ХГСА. Показана возможность управления балансом характеристик «прочность – магнитная проницаемость» для применения материала в конструкциях выскоконагруженных роторов синхронных машин.

Цель работы

Определение оптимальных режимов термообработки стали 30ХГСА, обеспечивающих наилучшее сочетание прочностных характеристик и магнитной проницаемости для элементов ротора.

Методы

Термическая обработка включала закалку при 880 °С с последующим отпуском в диапазоне 300–450 °С. Прочность оценивалась по микротвердости (HV, HRC), магнитные свойства – по петлям гистерезиса (ваттамперный метод).

Основные результаты

Установлена прямая корреляция между температурой отпуска и изменением свойств: с ростом температуры отпуска прочность (твердость) снижается, при этом магнитная проницаемость (μ_{max}) существенно возрастает, а коэрцитивная сила (Hc) падает.

Ключевые сравнительные данные представлены в таблице 1.

Анализ данных показал:

1. В состоянии закалки без отпуска сталь обладает максимальной прочностью ($\sigma_b = 618$ МПа), но наихудшими магнитными свойствами ($H_c > 2200$ А/м).

2. Режим закалка 880 °С + отпуск 350 °С (30 мин) является оптимальным. Он обеспечивает снижение коэрцитивной силы на 40% и

рост максимальной магнитной проницаемости в 2,5 раза по сравнению с закаленным состоянием при сохранении высокой прочности ($\sigma > 500$ МПа, HRC ~ 50).

Таблица 1

Сравнительные свойства стали 30ХГСА при частоте 50 Гц

№	Режим обработки	Твердость (HRC)	Предел прочности (σ , МПа)	Коэрцитивная сила (Hc, А/м)	Магнитная индукция (B2500, Тл)	Макс. проницаемость (μ max, %)
1	Закалка 880°C	61	618	2245	м	231 (100%)
2	Отпуск 300/15	51,7	527	1629	0,759 (211%)	490 (212%)
4	Отпуск 350/30	49,8	5087	1351	0,936 (260%)	587 (254%)
7	Полный отпуск	22,2	238	1010	0,759 (211%)	372 (161%)

Вывод:

Сталь 30ХГСА эффективна для применения в роторах синхронных машин при условии применения дифференцированной термической обработки. Рекомендован режим отпуска 350 °С в течение 30 минут для получения оптимального баланса конструкционной прочности и улучшенных магнитных характеристик. Локальная закалка ТВЧ может быть использована для создания участков с повышенной прочностью без изменения свойств магнитомягких зон. Литература 1. Прахт В. и др. Синхронные реактивные машины. – 2026. 2. Лахтин Ю.М. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990.

Литература

1. Прахт В. и др. Синхронные реактивные машины. – 2026.
2. ГОСТ 12119-80. Сталь электротехническая. Методы определения свойств.
3. Садовский В.Д. Остаточный аустенит в стали. – М.: Наука, 1986.
4. Лахтин Ю.М. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990.

© Абуайяш А.М.М., Нестеров К.М., Наумов И.А.,
Зайнуллин А.И., Гизатуллин Д.Д., 2026

ЗОННАЯ СТРУКТУРА ДВУМЕРНЫХ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ

Интерес к данным соединениям обусловлен особенностями их кристаллического строения и наличием особых свойств. Такие соединения находят широкое применение в микроэлектронике, а также используются как электродные материалы. Рассматриваемые соединения AgCrS_2 и AgCrSe_2 обладают смешанной ионно-электронной проводимостью [1, 2].

Расчет зонной структуры соединений AgCrS_2 и AgCrSe_2 был выполнен методом псевдопотенциала с использованием программного пакета Quantum Espresso. На рис.1 представлены результаты расчетов зонной структуры для исследуемых соединений.

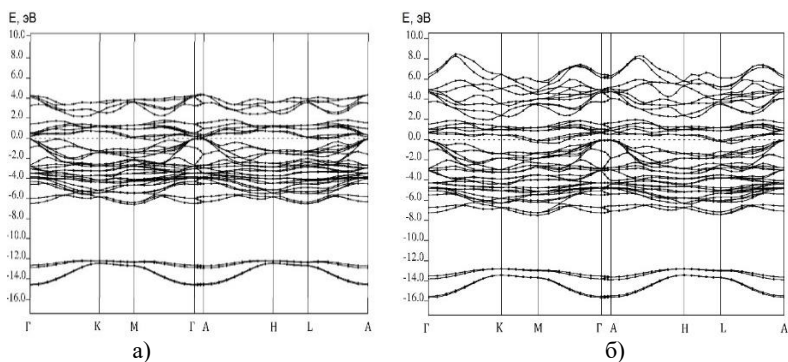


Рис. 1. Зонная структура соединений а) AgCrS_2 , б) AgCrSe_2

На основе данных о структуре, электрофизических свойствах, параметрах ионного переноса и результатов расчетов зонной структуры, обсуждаются особенности природы суперионного состояния.

Литература

1. Акманова Г.Р., Биккулова Н.Н., Давлетшина А.Д. // Электрохимия, 2013, т. 49, № 8, с. 921. [Akmanova G.R., Bikkulova N.N., Davletshina A.D. // Russ. J. Electrochem, 2013, v.49, № 8. p. 827].
2. Якшибаев Р.А., Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р. // Электрохимия, 2015, т.51, №6, с.667. [Yakshibaev R.A., Akmanova G.R., Bikkulova N.N. // Russ. J. Electrochem. 2015, v.51, № 6, p. 587].

© Саяпин А.В., Акманова Г.Р., 2026

Аккубеков Ш.А.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Тулякаев М.И.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Науч. рук.: Балапанов М.Х.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Ишембетов Р.Х.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМО- Э.Д.С. КОМПОЗИТОВ $\text{Li}_{0.09}\text{Cu}_{1.82}\text{S}$, $\text{Li}_{0.12}\text{Cu}_{1.80}\text{S}$, $\text{Li}_{0.16}\text{Cu}_{1.75}\text{S}$

Халькогениды меди являются перспективными термоэлектрическими материалами [1-4]. В данной работе были получены и исследованы микрокомпозитные сульфиды меди составов $\text{Li}_{0.09}\text{Cu}_{1.82}\text{S}$, $\text{Li}_{0.12}\text{Cu}_{1.80}\text{S}$, $\text{Li}_{0.16}\text{Cu}_{1.75}\text{S}$. Образцы при $T=300$ К являются сплавами на базе джарлеита $\text{Cu}_{1.96}\text{S}$, с примесями дигенита $\text{Cu}_{1.80}\text{S}$ и анилита $\text{Cu}_{1.75}\text{S}$. Для измерений термо-э.д.с. использовался метод К. Вагнера. Градиент температуры составлял 10 К/см. Проводимость измеряли четырехзондовым методом на постоянном токе. Погрешность измерений составляла 3-5 %. Измерения проводились в атмосфере аргона.

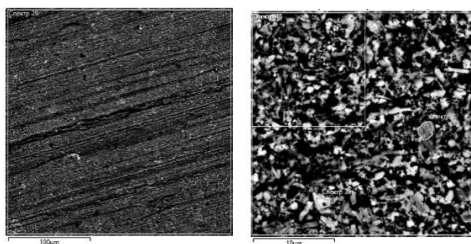


Рис. 1. Поверхность спрессованного образца (а) и поверхность протравленного образца $\text{Li}_{0.16}\text{Cu}_{1.75}\text{S}$ (б)

Электронная микроскопия показала, что спрессованные поликристаллические образцы содержат зерна различной формы и размеров (рис. 1). Элементный спектральный анализ (рис. 2 а, б) выявил наличие в образцах примесей калия и кислорода. Наноразмерные образцы быстро окисляются на воздухе, поэтому на поверхности присутствие кислорода неизбежно. Присутствие калия, возможно, обусловлено условиями синтеза образцов в смеси гидроксидов калия и натрия. Однако, отсутствие натрия, указывает на иное происхождение калия. Видимо, в соли LiCl , применяемой в качестве источника лития при

синтезе, оказалось значительное содержание примеси калия. Такое же происхождение могут иметь следы брома, обнаруженные в спектре образцов.

Результаты элементного анализа приведены на рис. 2. На рис. 3 показаны результаты измерений электронной проводимости и термо-э.д.с. Наличие фазовых переходов определяет сложный характер зависимостей.

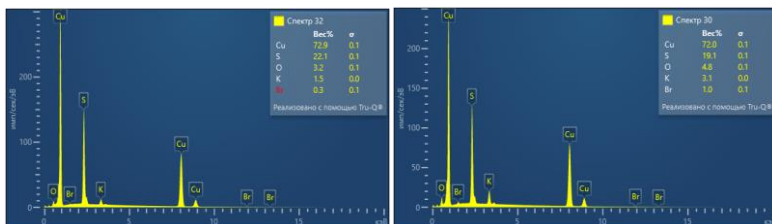


Рис. 2. Спектры и результаты элементного микроспектрального анализа на электронном микроскопе от отмеченных на рис. 1.б участков образца $\text{Li}_{0.16}\text{Cu}_{1.75}\text{S}$

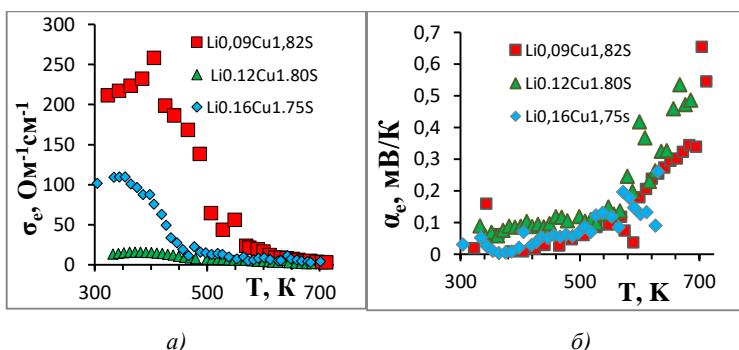


Рис. 3. Температурные зависимости электронной проводимости (а) и коэффициента термо-э.д.с. (б) образцов $\text{Li}_{0.09}\text{Cu}_{1.82}\text{S}$, $\text{Li}_{0.12}\text{Cu}_{1.80}\text{S}$, $\text{Li}_{0.16}\text{Cu}_{1.75}\text{S}$

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). С. 59-65.
2. M. Kh. Balapanov, N. N. Bikkulova, U. Kh. Mukhamedyanov et al. Phase transitions and transport phenomena in $\text{Li}_{0.25}\text{Cu}_{1.75}\text{Se}$ 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. нанокomпозитных сплавов $\text{K}_x\text{Cu}_{1.94}\text{S}$ ($x=0.01, 0.02, 0.03$). // В кн.: Теор. и exper. исследования

нелин. процессов в конденс. средах. Мат. XI Межрег. школы-конф. Уфа, 2025. С. 40-41.

4. Аккубеков Ш.А. Температурная зависимость электронной проводимости и коэффициента электронной термо-э.д.с. нанокompозитного сплава $K_{0.01}Cu_{1.96}S$. В кн.: Теор. и экспер. исследования нелинейных процессов в конд. средах. Мат. X Межрег. школы-конф. Уфа, 2024. С. 48-49.

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

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА И БИОФИЗИКА»

УДК 53.096; 547.96

Муртазина Л.С.,
маг. 2 г. об. БашГМУ, г. Уфа
Науч. рук.: Кудрейко А.А.,
д.ф.-м.н., проф. УУНиТ, г. Уфа

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАТАЦИИ И СТРУКТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПАНКРЕАТИЧЕСКОГО ИНГИБИТОРА ТРИПСИНА БЫКА

Изучение механических свойств ингибитора трипсина поджелудочной железы крупного рогатого скота (ВРТИ – Bovine Pancreatic Trypsin Inhibitor) методами молекулярной динамики является важным этапом в определении механизмов его взаимодействия с другими белками. Результаты современных работ по изучению белка ВРТИ показывают, что он может стать «каркасом» при дизайне новых ингибиторов [2]. Например, точечное фторирование ВРТИ – это инструмент тонкой настройки свойств белка и изменения его биологической функции.

В данной работе рассмотрены условия гидратации белка 4РТИ, гибкость и устойчивость петель путем вычисления среднеквадратичных флуктуаций и временных зависимостей температуры при 300 К. Моделирование гидратации белка выполнено в программе GROMACS 2023.3 [1]. Пространственные структуры белков получены из библиотеки данных Protein Data Bank (PDB) под идентификатором 4РТИ (<https://www.rcsb.org>).

Перед моделированием из структуры необходимо удалить молекулы воды и лиганды. Распределение электростатических зарядов на атомах

белков соответствует силовому полю CHARMM36, которое является оптимизированным для корректного описания динамики белков [3]. На следующем этапе белок помещается в кубическую ячейку со стороной 1.2 нм. Генерация топологии молекул воды выполнена с помощью трехточечной жёсткой модели воды TIP3P. Далее, панкреатический ингибитор трипсина быка был окружен 8424 молекулами воды. Для нейтрализации суммарного заряда, в систему добавлены ионы Na^+ и Cl^- до концентрации 0.15 М, что соответствует физиологическому уровню [1] (рис. 1). Молекулярно-динамические исследования на модели ВРТИ-трипсин показывают, что эффективное связывание белков – это не случайная «встреча вслепую», а электростатически управляемый процесс, где правильные ориентации активно отбираются из множества возможных на ранней стадии столкновения.

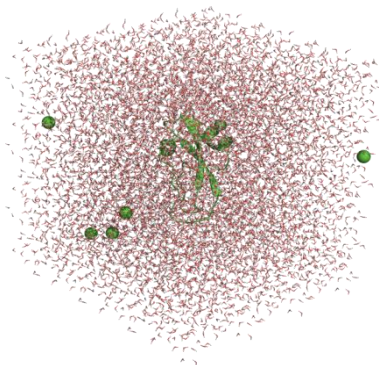


Рис. 1. Первичная конфигурация белка 4РТИ, растворенного в воде и при наличии ионов. Расчетная ячейка – куб со стороной 1.2 нм

Научное значение данной работы состоит в том, что на примере хорошо изученного белка ВРТИ показаны универсальные принципы гидратации: связь структурированной воды с функциональными участками, её роль в стабильности и возникновении гидратационного слоя вблизи поверхности белка.

Литература

1. Lemkul, J.A. Introductory tutorials for simulating protein dynamics with Gromacs // J Phys Chem B, 2024, v. 128(39), pp. 9418-9435.
2. Veer S.J., Li S.Y., Swedberg J.E., Schroeder C.I., Craik D.J. Engineering potent mesotrypsin inhibitors based on the plant-derived cyclic peptide, sunflower trypsin inhibitor-1 // European journal of medicinal chemistry, 2018(155), pp. 695-704.

3. Kamenik A.S., Handle Ph.H., Hofer F., Kahler U., Kraml J., Liedl K.R. Polarizable and non-polarizable force fields: Protein folding, unfolding, and misfolding // J. Chem. Phys, 2020, v. 153, pp. 185102.

© Муртазина Л.С., Кудрейко А.А., 2026

УДК 519.673

Фатеев А.Н.,
студ. 4 к. ЧелГУ, г. Челябинск
Науч. рук.: Кузьмин Д.А.,
д.ф.-м.н. ЧелГУ, г. Челябинск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕЙРОНОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНТЕРФЕРИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Адекватное математическое моделирование стимуляции глубоких областей мозга является важной задачей для прогнозирования поведения нейронов.

В данной работе рассмотрен метод стимуляции мозга интерферирующими электрическими полями. Он заключается в том, что подаются два подаваемых сигнала с высокой частотой неспособны воздействовать на мембранный потенциал, но их разностная частота достаточно низкая, чтобы локально влиять на глубокие области центральной нервной системы, не затрагивая поверхностные [1]. Для прогнозирования эффекта нейростимуляции было выполнено моделирование сети из 8000 регулярно-импульсных (regular-spiking, RS) нейронов с вероятностью синаптической связи 0,01 и синаптическим током, равным 1 (в условных единицах). Моделирование проводилось с использованием библиотеки Brian2. В результате были получены данные о спайковой активности нейронов и спектральной плотности мощности.

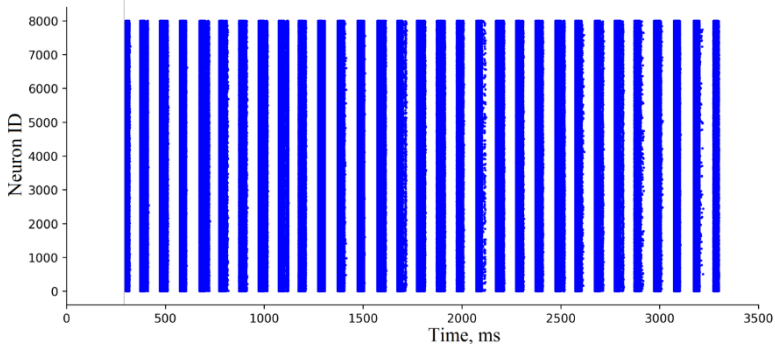


Рис. 1. График спайковой активности для модели 1

На рисунках 1 и 2 показано важное различие между двумя рассмотренными моделями. В первой модели воздействие электрических полей учитывается путём прямой подстановки эквивалентного тока в первое уравнение модели нейрона (уравнение мембранного потенциала). Как следствие, спайковая активность имеет строго периодический характер (рис. 1). Во второй модели добавлено отдельное уравнение, описывающее взаимодействие напряжённости электрического поля с нейроном (дополнительный поляризационный член) [2]. Это приводит к аperiodической спайковой активности (рис. 2 - верхний график), что значительно лучше совпадает с экспериментальными данными, полученными в цитируемой работе [1] (рис. 2 - нижний график).

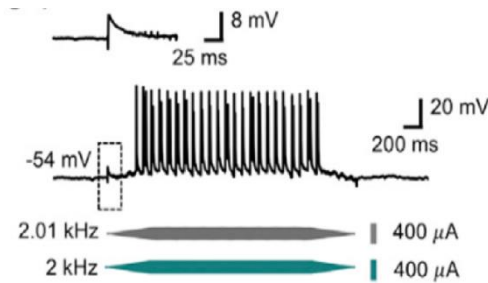
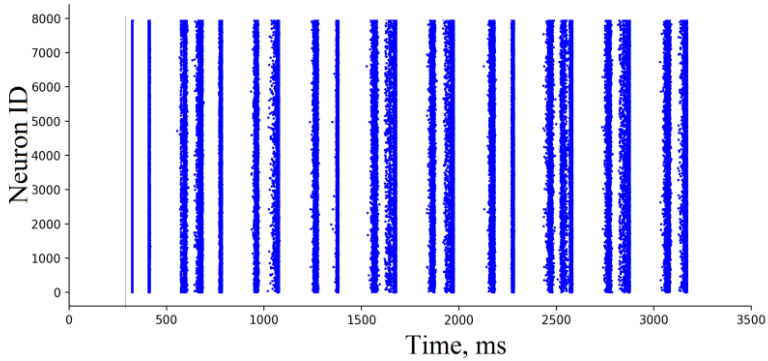


Рис. 2. График спайковой активности (время в миллисекундах) для модели 2 (сверху). Результаты эксперимента [1] (снизу)

Таким образом, модель 2 более адекватно воспроизводит экспериментальную динамику. В перспективе планируется калибровка параметров модели на экспериментальных данных и исследование влияния амплитуды и частотной расстройки полей.

Литература

1. N. Grossman et al., J. Cell. 169, 977 (2017).
2. V. Gayathri, H.I. Ismael, A.M. Ali Ali, Sh. He, K. Sun, The European Physical Journal Special Topics 231, 4017 (2022)

© Фатеев А.Н., Кузьмин Д.А., 2026

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ФИЗИКО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛАНОВ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ (3D-CRT, IMRT, VMAT) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТРИК КОНФОРМНОСТИ И АЛГОРИТМОВ ИНВЕРСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Эффективность дистанционной лучевой терапии напрямую зависит от конформности распределения поглощенной дозы. Переход от 3D-конформной (3D-CRT) к интенсивно-модулированной (IMRT) и объемно-модулированной дуговой терапии (VMAT) требует смены парадигмы планирования: от решения прямой задачи переноса излучения к инверсному планированию.

Инверсное планирование (IMRT, VMAT) сводится к решению оптимизационной задачи для нахождения карт флюенса пучка путем минимизации целевой (штрафной) функции:

$$F = \sum w_i \cdot (D_i - D_{presc})^2 ,$$

где w_i – весовой фактор структуры, D_i и D_{presc} – расчетная и предписанная дозы в i -м вокселе.

Сравнительный анализ планов проводился на основе гистограмм доза-объем (DVH) по следующим физическим метрикам:

1. Индекс конформности Паддика (CI):

$$CI = (TV_{PI})^2 / (TV \cdot V_{RI}) \text{ (оптимум } CI \rightarrow 1).$$

2. Индекс гомогенности (HI по ICRU 83):

$$HI = (D_{2\%} - D_{98\%}) / D_{50\%} \text{ (оптимум } HI \rightarrow 0).$$

3. Градиентный индекс (GI):

$$GI = V_{50\%} / V_{100\%} .$$

Методы IMRT и VMAT обеспечивают статистически значимо более высокую конформность (CI) по сравнению с базовым 3D-CRT, что

обусловлено пространственной модуляцией пучка. Однако из-за высокой степени модуляции в IMRT может возрасти неоднородность дозы в мишени (рост HI). VMAT демонстрирует оптимальный баланс конформности и гомогенности.

Выявлено важное радиобиологическое следствие применения IMRT/VMAT – эффект низкодозного обтекания (low-dose bath). Несмотря на прецизионную защиту органов риска от высоких доз, интегральная доза возрастает за счет распределения рассеянного излучения в больших объемах интактных тканей.

Анализ доставки показал, что статический IMRT требует в 2–3 раза больше MU, чем 3D-CRT, что увеличивает риск вторичного радиоиндуцирования из-за внутриголовного рассеяния и утечек из линейного ускорителя. Технология VMAT нивелирует этот недостаток: одновременная динамическая модуляция положения лепестков MLC, мощности дозы (dose rate) и скорости вращения гантри позволяет существенно снизить MU и время облучения.

Инверсное планирование обеспечивает математически строгую оптимизацию дозных распределений. Среди рассмотренных методов VMAT является наиболее физико-технически эффективным, превосходя IMRT по скорости доставки и минимизации мониторных единиц при сопоставимом или лучшем градиенте дозы.

© Батталова А.Р., Акманова Г.Р., 2026

УДК 616-001.2

Мирзоев Х.Т., студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Акманова Г.Р., к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОТОВОГО ТЕЛЕФОНА НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Электромагнитное излучение мобильных телефонов представляет собой высокочастотное поле дециметрового диапазона. С точки зрения физики, работа сотового аппарата связана с излучением электромагнитных волн частотой от 450 до 2700 МГц [1]. Актуальность темы обусловлена повсеместным использованием мобильной связи, что создает постоянный фон неионизирующего излучения, энергия которого поглощается тканями живых организмов [2,3].

В данной работе рассматриваются физические механизмы взаимодействия электромагнитного излучения с биологическими объектами. Основное внимание уделяется двум факторам: тепловому (нагрев тканей за счёт поглощения энергии волны) и нетепловому

(информационное воздействие поля на клеточном уровне). Теоретический анализ базируется на понятии удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии (SAR), который определяет мощность излучения, приходящуюся на единицу массы тела.

На примере физических моделей распространения радиоволн видно, что интенсивность поля убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника. Однако при близком контакте телефона с головой человека локальное поглощение энергии может вызывать микронагрев участков мозга. В отличие от естественных магнитных полей Земли, импульсный характер сигналов сотовой связи создает дополнительную нагрузку на электромагнитный гомеостаз организма. Теоретические выводы указывают на необходимость соблюдения дистанции между излучателем и телом, а также применения экранирующих материалов для снижения плотности потока энергии.

Литература

1. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье. Электромагнитная обстановка. Радиобиологические и гигиенические проблемы. – М.: Экономика, 2013. – 567 с.
2. Аполлонский С.М. Безопасность жизнедеятельности в электромагнитных полях: учебное пособие. – М.: Юрайт, 2019. – 250 с.
3. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. – М.: Минздрав России, 2003.

© Мирзоев Х.Т., Акманова Г.Р., 2026

УДК 616.28

Хуснутдинова З.А.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Акманова Г.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Звуковой шум с точки зрения физики представляет собой беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности. В современных условиях шум стал постоянным физическим фактором, который воздействует на человека повсеместно. Актуальность темы связана с тем, что звуковая энергия, проникая в ткани организма, вызывает в них механические колебания и тепловые эффекты, что ведет к постепенному износу биологических структур [1-3].

В данной работе рассматриваются физические параметры шума, такие как амплитуда звукового давления, частотный спектр и энергия акустической волны. Особое внимание уделяется делению шумов на низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные, так как их проникающая способность и степень воздействия на органы сильно различаются. Теоретический анализ базируется на законах распространения волн в различных средах и их поглощении телом человека.

На примере физических моделей звукового воздействия видно, что наиболее опасными являются резонансные явления. Когда частота внешнего шума совпадает с собственной частотой колебаний внутренних органов человека, амплитуда их вибрации резко возрастает, что приводит к деструктивным изменениям. В отличие от слышимых звуков, инфразвук (ниже 16 Гц) обладает огромной проникающей способностью и может вызывать опасные резонансы в грудной и брюшной полостях. Теоретические расчеты подтверждают, что защита от высокоинтенсивного шума требует учета физических свойств материалов и применения методов звукоизоляции и звукопоглощения.

Литература

1. Тюрина Н.В. Физические основы строительной и технической акустики: учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2018. – 160 с.
2. Суворов Г.А., Денисов Э.И. Гигиеническое нормирование шумовых и вибрационных воздействий. – М.: Медицина, 2001. – 256 с.
3. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2018.

© Хуснутдинова З.А., Акманова Г.Р., 2026

УДК 616-001.26

Усманова А.Р.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Акманова Г.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСЧЁТА ДОЗЫ (TG-43 VS СОВРЕМЕННЫЕ СЕТОЧНЫЕ МЕТОДЫ) В ПЛАНИРОВАНИИ БРАХИТЕРАПИИ

Брахитерапия является высокоточным методом лучевой терапии, широко применяемым при лечении рака предстательной железы и шейки матки. Особенностью метода являются экстремально высокие пространственные градиенты поглощённой дозы (до 10–20 %/мм) вблизи

источников фотонного излучения низкой и средней энергии, что предъявляет повышенные требования к точности дозиметрического планирования.

Классическим стандартом расчёта дозы остаётся формализм TG-43, основанный на предположении бесконечной однородной водной среды и использовании табличных функций радиального распределения дозы ($g(r)$) и анизотропии ($F(r, \theta)$). Такой подход не учитывает химический состав тканей пациента, наличие костных структур, воздушных полостей и металлических аппликаторов, а также вторичный электронный транспорт. Это приводит к систематическим отклонениям в оценке дозы в мишени и органах риска.

Современные алгоритмы расчёта дозы основаны на решении стационарного уравнения переноса излучения Больцмана:

$$\Omega \cdot \nabla \psi(r, E, \Omega) + \mu_t(r, E)\psi(r, E, \Omega) = \int \mu_s(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)\psi(r, E', \Omega')dE'd\Omega' + S(r, E, \Omega)$$

где (ψ) – угловая плотность потока фотонов,

(μ_t) – коэффициент полного ослабления,

(μ_s) – оператор рассеяния,

(S) – функция источника.

Сеточные алгоритмы (GBBS, Acuros BV) и методы Монте-Карло позволяют учитывать спектр фотонов Ir-192, вторичное электронное равновесие и пространственное распределение массового коэффициента поглощения энергии (μ_{en}/ρ), получаемое из КТ-данных пациента.

В методе Монте-Карло транспорт частиц моделируется статистически. Длина свободного пробега фотона определяется:

$$s = - \frac{\ln \xi}{\mu_t(E)},$$

где (ξ) – равномерная случайная величина. Вероятность взаимодействий:

$$P_i = \frac{\mu_i(E)}{\mu_t(E)}, \quad \mu_t = \mu_{pe} + \mu_{Compton} + \mu_{pair}.$$

Поглощённая доза вычисляется через ожидаемое значение энерговыклада:

$$D(\mathbf{r}) = \frac{1}{\rho(\mathbf{r})} \left\langle \sum_k E_k w_k \right\rangle, \quad \sigma_D \approx \frac{\sigma}{\sqrt{N}}.$$

Цель работы – количественная оценка различий дозиметрических параметров планов брахитерапии, рассчитанных с использованием TG-43 и современных алгоритмов расчёта дозы.

Материалы и методы. Проведён ретроспективный анализ планов HDR-брахитерапии 15 пациентов с раком предстательной железы, созданных в системе Varian Brachy Vision (Acuros BV). Для каждого случая выполнен пересчёт доз по TG-43. Сравнивались показатели (D_{90}), (V_{100}), (D_{2cm^3}) для прямой кишки и мочевого пузыря, гистограммы доза-объём и распределение относительной разницы дозы.

Результаты показали, что TG-43 систематически завышает дозу в критических органах на 8–15 % при наличии кальцинатов и металлических игл. Различия (D_{90}) мишени достигают 5 % при выраженной тканевой неоднородности.

Полученные данные подтверждают необходимость перехода к моделям расчёта дозы, учитывающим полный транспорт фотонов и электронов, что позволит снизить риск лучевой токсичности и повысить качество планирования брахитерапии.

© Усманова.А.Р., Акманова Г.Р., 2026

СЕКЦИЯ «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

УДК 539.216.2

Остальцова А.Д.,
асп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Т.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРОВЕРКА НАЛИЧИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В СЕНСОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

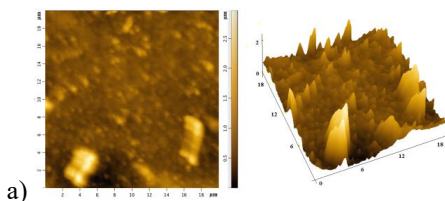
В настоящее время полисахариды находят широкое применение в различных областях: медицине, косметологии, пищевой промышленности и экологии. Их популярность обусловлена нетоксичностью, полной биоразлагаемостью и высокой биосовместимостью. Среди природных полисахаридов особый интерес представляет хитозан [1–3]. Однако его практическое использование ограничено нерастворимостью в нейтральных водных средах. Для решения этой проблемы методами

химической модификации были получены водорастворимые производные, в частности сукцинилхитозан (СХТЗ). Данное соединение сохраняет свойства исходного полимера, но при этом характеризуется стабильностью в водных растворах, что позволяет работать в нейтральных условиях без применения кислот.

Перспективным направлением является создание гибридных материалов на основе природных полимеров и неорганических наночастиц. Так, композиты с добавлением коллоидного йодида серебра (AgI) к карбоксиметилцеллюлозе (КМЦ), хитозану и его производным демонстрируют выраженные электропроводящие свойства, что открывает возможности для их использования в сенсорике, в частности при создании газовых детекторов. Дополнительным преимуществом КМЦ выступает ее биоразлагаемость и биосовместимость, что расширяет потенциал применения таких материалов в медицинской практике и экологическом мониторинге [4–5].

В рамках данной работы методом напыления были сформированы полимерные пленки толщиной порядка 150 мкм на основе полисахаридов, модифицированных золам AgI с размером частиц 50–80 нм. Исследование морфологии поверхности полученных образцов проводилось с помощью атомно-силовой микроскопии. Оценка чувствительности к аммиаку выполнялась в герметичной камере путем регистрации изменения электросопротивления при подаче газообразного NH_3 (температура 25°C, рабочее напряжение 30 В).

Было проведено сравнение двух типов образцов, содержащих 2% и 1% СХТЗ с включениями AgI. По данным микроскопии, присутствие наночастиц приводит к формированию развитой шероховатой поверхности, что способствует увеличению площади активного контакта с газовой фазой (рис. 1).



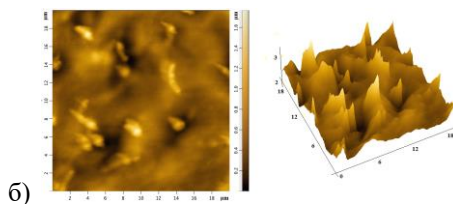


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности пленок толщиной 150 нм:
а) 1, б) 2

Первый образец реагирует на аммиак только при небольших концентрациях – до 100 мг/м³. Для универсального датчика, который должен работать в широком диапазоне, он не подойдет. Как сигнализатор, который срабатывает при превышении ПДК в рабочей зоне, – подойдет.

Второй образец показал себя гораздо лучше: его сопротивление менялось максимально сильно при всех концентрациях аммиака, которые мы тестировали.

Литература

1. R.B. Salikhov, I.N. Mullagaliev, T.R. Salikhov, A.D. Ostaltsova. A polyelectrolyte complex based on chitosan with the addition of single-wall carbon nanotubes and graphene oxide for the creation of thin-film organic transistors.// Russian Chemical Journal.–2025. – Vol. 69. No. 3. – pp. 125-129.
2. Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Ostaltsova A.D. Composite and nanocomposite thin-film structures based on chitosan succinamide.// Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2025. – No. 1. – pp. 31-38.
3. Salikhov R.B., Yumalin T.T., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N. Study of photoconductivity of thin films based on polyaniline derivatives.// Bulletin of Bashkir University. – 2025. – Vol. 30. No. 1. – pp. 13-18.
4. R.B. Salikhov, A.D. Ostaltsova, T.R. Salikhov. Electronic gas sensors based on polymer and nanocomposite materials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physical Series. – 2025. – Vol. 89. No. 3. – pp. 408-413.
5. Salikhov R.B., Bazunova M.V., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N., Safargalin I.N., Ostaltsova A.D. Study of nanocomposite thin-film sensor materials. // Industrial Laboratory. Materials Diagnostics.–2025. – Vol. 91. No. 11. – pp. 41-48.

© Остальцова А.Д., Салихов Т.Р., 2026

НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПЛЕНКИ СУКЦИНИЛА ХИТОЗАНА В СЕНСОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Сейчас полисахариды используют повсюду: в медицине, косметологии, пищевой промышленности и даже в экологии. И это не удивительно – они безопасны, полностью разлагаются и отлично совместимы с живыми тканями. Среди них особенно выделяется хитозан [1–3]. Однако существенным ограничением для его практического применения является нерастворимость в нейтральных водных средах. Чтобы это исправить, химики модифицировали его и получили водорастворимые формы, например сукцинил хитозан (СХТЗ). Он сохранил все плюсы исходного полимера, но при этом стабилен в водных растворах, так что теперь можно работать без кислот.

Сейчас активно развивается направление гибридных материалов, где природные полимеры соединяют с наночастицами. Например, если добавить коллоидный йодид серебра (AgI) в карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), хитозан или его производные, такие композиты начинают проводить ток. Благодаря электропроводящим свойствам такие материалы рассматриваются как перспективная основа для газовых сенсоров. Дополнительным преимуществом КМЦ является ее способность к биодegradации и отсутствие токсичности по отношению к живым тканям, что открывает путь к созданию биомедицинских устройств и экологически безопасных систем [4–6].

Мы получили полимерные плёнки толщиной около 150 микрон, напыляя полисахариды с добавлением золя AgI (частицы 50–80 нм). Поверхность изучали под атомно-силовым микроскопом, а чувствительность к аммиаку проверяли так: помещали образцы в герметичную камеру, подавали туда газ и следили, как меняется сопротивление (все при 25°C и 30 В).

Сравнили два варианта: первый – с 2% СХТЗ и AgI, второй – с 0,5% КМЦ, AgI и 0,175% глицерина (он здесь как пластификатор). На снимках видно, что там, где есть наночастицы, поверхность становится шершавой и рельефной. А чем больше таких «зацепок», тем лучше контакт с газом (рис. 1).

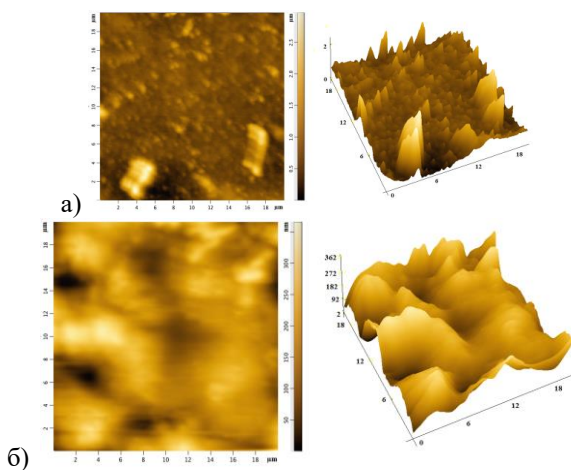


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности пленок толщиной 150 нм:
а) 1, б) 2

Установлено, что оба исследуемых образца проявляют чувствительность лишь в области низких концентраций паров аммиака, что ограничивает их применение в сенсорах, предназначенных для работы в широком концентрационном диапазоне. Тем не менее, данные материалы могут быть использованы в качестве сигнализаторов пороговых превышений предельно допустимых концентраций аммиака в воздухе рабочей зоны.

Литература

1. Salikhov R.B., Bazunova M.V., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N., Safargalin I.N., Ostaltsova A.D. Study of nanocomposite thin-film sensor materials. // Industrial Laboratory. Materials Diagnostics.–2025. – Vol. 91. No. 11. – pp. 41-48.
2. Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Ostaltsova A.D. Composite and nanocomposite thin-film structures based on chitosan succinamide.// Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.– 2025.– No. 1.– pp. 31-38.
3. Salikhov R.B., Yumalin T.T., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N. Study of photoconductivity of thin films based on polyaniline derivatives.// Bulletin of Bashkir University. – 2025.– Vol. 30. No. 1. – pp. 13-18.

4. R.B. Salikhov, A.D. Ostaltsova, T.R. Salikhov. Electronic gas sensors based on polymer and nanocomposite materials.// Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physical Series. – 2025.– Vol. 89. No. 3. – pp. 408-413.

5. R.B. Salikhov, I.N. Mullagaliev, T.R. Salikhov, A.D. Ostaltsova. A polyelectrolyte complex based on chitosan with the addition of single-wall carbon nanotubes and graphene oxide for the creation of thin-film organic transistors.// Russian Chemical Journal. – 2025.– Vol. 69. No. 3. – pp. 125-129.

6. Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Ostaltsova A.D., Vazhdaev K.V. Creation and study of composite and nanocomposite thin-film structures based on sets with various carbon-containing fillers for ecological monitoring of the environment. // Bulletin of Tula State University. Earth Sciences. – 2024. – No. 4. – pp. 12-24.

© Остальцова А.Д., Салихов Т.Р., 2026

УДК 539.216.2

Остальцова А.Д.,
асп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Т.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПЛЕНОЧНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ В РАЗРАБОТКЕ СЕНСОРОВ АНАЛИЗА ГАЗОВОГО СОСТАВА

Полисахариды сегодня активно используют в самых разных областях – от медицины и косметологии до пищевой промышленности и экологии. Всё дело в том, что они не токсичны, со временем разлагаются без следа и не отторгаются живыми тканями. Среди всего многообразия природных полисахаридов особое внимание исследователей привлекает хитозан [1–3]. Правда, у него есть один существенный недостаток: в нейтральной воде он не растворяется. Решить эту проблему удалось с помощью химической модификации – так появились его водорастворимые производные, в том числе сукцинил хитозан (СХТЗ).

Сейчас одно из самых интересных направлений – создание гибридных материалов, где природные полимеры объединяют с неорганическими наночастицами. Например, если добавить коллоидный йодид серебра (AgI) в карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), хитозан или его производные, такие композиты начинают проводить электричество. А это прямой путь к созданию чувствительных газовых детекторов. КМЦ хороша тем, что безопасна для природы и совместима с организмом – идеальный вариант и для медицины, и для экологических проектов. [4–5].

В нашей работе мы получили полимерные пленки толщиной около 150 микрон методом напыления. Основой послужили полисахариды с добавлением золя AgI (частицы 50–80 нм). Поверхность изучали под атомно-силовым микроскопом, а чувствительность к аммиаку проверяли в герметичной камере: подавали газ и следили, как меняется сопротивление (все измерения — при 25°C и напряжении 30 В).

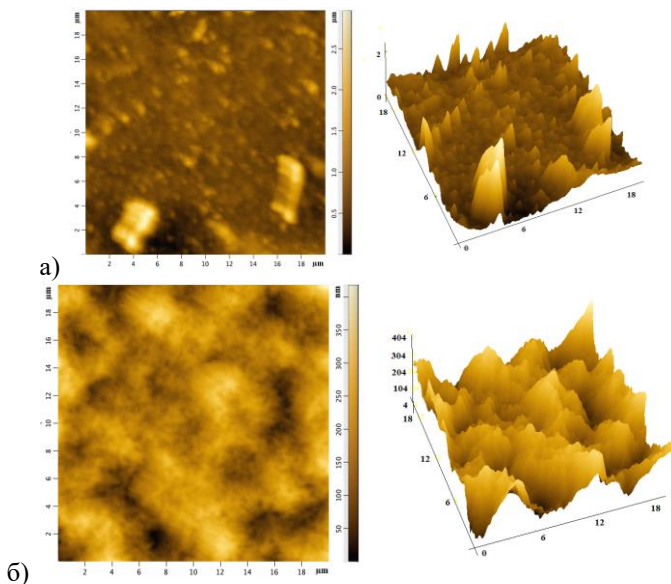


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности пленок толщиной 150 мкм:
а) 1, б) 2

Сравнили два состава: первый – с 2% СХТЗ и наночастицами AgI, второй – с 1% хитозана, AgI и 0,35% глицерина в качестве пластификатора. На снимках с микроскопа видно: там, где есть наночастицы, поверхность становится шероховатой, рельефной. А чем больше таких структурных «зацепок», тем активнее материал контактирует с газом (рис. 1).

Согласно полученным данным, образец № 2 демонстрирует максимальную степень развитости поверхностного рельефа. Такая морфология может быть следствием ряда технологических факторов: условий синтеза, параметров нанесения пленок, вариаций состава либо последующей обработки.

Литература

1. Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Ostaltsova A.D. Composite and nanocomposite thin-film structures based on chitosan succinamide.// Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.– 2025. – No. 1. – pp. 31-38.
2. Salikhov R.B., Bazunova M.V., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N., Safargalin I.N., Ostaltsova A.D. Study of nanocomposite thin-film sensor materials. // Industrial Laboratory. Materials Diagnostics.–2025. – Vol. 91. No. 11. – pp. 41-48.
3. Salikhov R.B., Yumalin T.T., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N. Study of photoconductivity of thin films based on polyaniline derivatives.// Bulletin of Bashkir University. – 2025. – Vol. 30. No. 1. – pp. 13-18.
4. R.B. Salikhov, A.D. Ostaltsova, T.R. Salikhov. Electronic gas sensors based on polymer and nanocomposite materials.// Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physical Series. – 2025. – Vol. 89. No. 3. – pp. 408-413.
5. R.B. Salikhov, I.N. Mullagaliev, T.R. Salikhov, A.D. Ostaltsova. A polyelectrolyte complex based on chitosan with the addition of single-wall carbon nanotubes and graphene oxide for the creation of thin-film organic transistors.// Russian Chemical Journal. – 2025.– Vol. 69. No. 3. – pp. 125-129.

© Остальцова А.Д., Салихов Т.Р., 2026

УДК 539.216.2

Чебаева Т.В.,
студ. 1 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Т.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК

Сегодня при разработке функциональных материалов все чаще смешивают природные полимеры с наночастицами. Карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), хитозан и его модификации комбинируют с коллоидными частицами йодида серебра [1–3]. В таких системах AgI играет роль проводника: он меняет электропроводность материала, а это прямой путь к созданию чувствительных газовых датчиков. КМЦ к тому же биоразлагаема и биосовместима, так что ее можно смело использовать и в медицине, и в экологии. В работе мы наносили пленки толщиной около 150 микрон из растворов полисахаридов с добавлением золь AgI (частицы 50–80 нм). Изучили композит с

добавками – 2 % КМЦ, AgI и 0,35 % глицерина. На снимках с АСМ было видно: образец с наночастицами шероховатый. А значит, у него больше активных зон для контакта с газом (рис. 1).

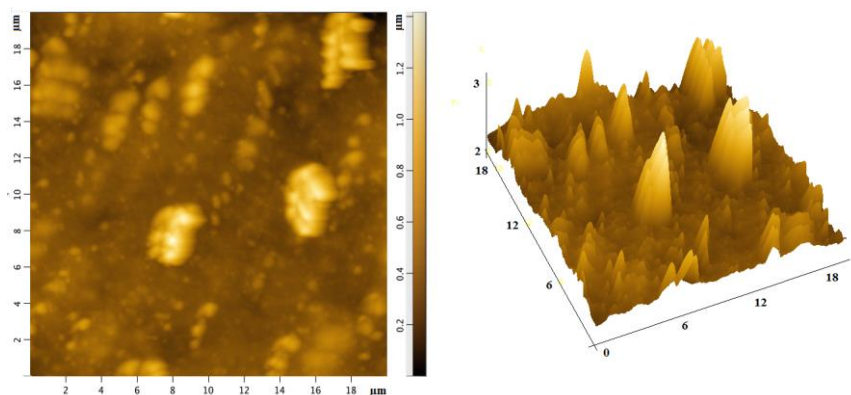


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности пленок толщиной 150 мкм

Анализ данных показывает, что у пленочного образца развитая поверхность. На ней четко видны крупные зерна, скопления частиц и поры — именно они создают выраженный рельеф. Скорее всего, такая структура сложилась из-за особенностей синтеза, условий нанесения, состава или дополнительной обработки.

Литература

1. Salikhov R.B., Yumalin T.T., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N. Study of photoconductivity of thin films based on polyaniline derivatives.// Bulletin of Bashkir University. – 2025. – Vol. 30. No. 1. – pp. 13-18.
2. Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Ostaltsova A.D. Composite and nanocomposite thin-film structures based on chitosan succinamide.// Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.– 2025. – No. 1. – pp. 31-38.
3. Salikhov R.B., Bazunova M.V., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N., Safargalin I.N., Ostaltsova A.D. Study of nanocomposite thin-film sensor materials. // Industrial Laboratory. Materials Diagnostics.–2025. – Vol. 91. No. 11. – pp. 41-48.

© Чебаева Т.В., Салихов Т.Р., 2026

КОМПОЗИТНЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ SWCNT, rGO и AuNPs ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Выявление фальсифицированной продукции бутилированных минеральных вод по сей день является комплексной, сложной задачей, для решения которой необходим многостадийный анализ включающий в себя целый ряд химических, физико-химических и микробиологических методов. В качестве альтернативы предлагается платформа из композитных сенсоров на основе стеклоуглеродных электродов (СУЭ) модифицированных наночастицами углерода [1] и золота для экспрессного контроля качества минеральных вод.

Исследование включало 11 образцов минеральных вод, отличающихся степенью минерализации и ионным составом: с повышенным содержанием гидрокарбонатов (Donat, Эссентуки №17, Эссентуки №4, Borjomi, Gorgji); сульфатные воды (Лысогорская, STELMAS, Мензелинская); воды с низкой степенью минерализации (Рычал-су, Нарзан, Красноусольская).

Композитные сенсоры состоят из нескольких ключевых компонентов: рабочий электрод (СУЭ); полиэлектролитный комплекс (ПЭК); наночастицы углерода и золота (SWCNT, rGO и AuNPs). Для создания перекрестной чувствительности использовали несколько сенсоров: СУЭ/ПЭК@SWCNT, СУЭ/ПЭК@rGO, СУЭ/ПЭК@AuNPs.

Аналитическим сигналом является вся вольтамперометрическая кривая, поэтому для получения полной информации об анализируемом объекте вольтамперограммы регистрировали в режиме циклической вольтамперометрии.

Методом МГК-моделирования (рис. 1) образцы были классифицированы по природе – в зависимости от состава и количества ионов кластеры образцов локализовались в разных частях графика счетов: воды с высокой степенью минерализации в левой части; воды с большим содержанием SO_4^{2-} в нижней части; воды с низким содержанием HCO_3^- в правой нижней части. Из данных МГК следует что расположение кластеров минеральных вод подчиняется строгим закономерностям в первую очередь связанных с составом исследуемых вод.

Количественная оценка идентификации образцов проводили с помощью SIMCA-классификации. Ошибки I и II рода не превышают 13.3%. Важно отметить результаты идентификации модельного раствора

«фальсификата» (MS) Воҗомі – система успешно определила образец как фальсификат, без ошибок I и II рода.

Сочетание классических методов вольтамперометрии и хемометрической обработки данных [2-5] позволяют не только успешно классифицировать и идентифицировать образцы минеральных вод, но и определять фальсифицированную продукцию.

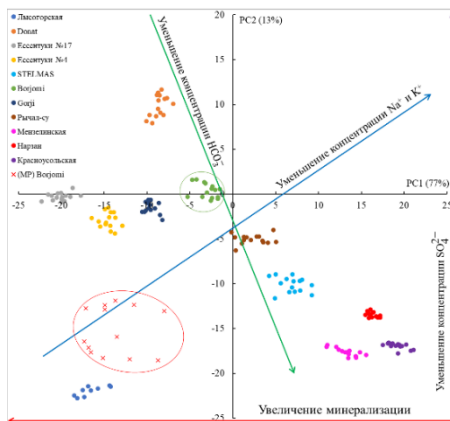


Рис. 1. График счетов МГК-моделирования вольтамперограмм 12 исследуемых образцов минеральных вод

Литература

1. Zilberg, R., Salikhov, R., Mullagaliev, I. [et al.] Chitosan-based polyelectrolyte complex in combination with allotropic forms of carbon as a basis of thin-film organic electronics // *Chimica Techno Acta.*, 2024, Vol. 11, No. 3, P. 202411302.

2. A. V. Sidel'nikov, R. A. Zil'berg, F. Kh. Kudasheva [et al.] Voltammetric identification of multicomponent solutions using principal components analysis // *Journal of Analytical Chemistry.*, 2008, Vol. 63, No. 10, P. 975-981.

3. R. A. Zilberg, E. O. Bulysheva, Y. B. Teres [et al.] Voltammetric electronic tongue for identification of naproxen pharmaceuticals by manufacturer // *Chimica Techno Acta.*, 2025., Vol. 12, No. 2., P. 12204

4. R. A. Zil'berg, Y. A. Yarkaeva, E. I. Maksyutova [et al.] Voltammetric identification of insulin and its analogues using glassy carbon electrodes modified with polyarylenephthalides // *Journal of Analytical Chemistry.*, 2017, Vol. 72, No. 4, P. 402-409.

5. A. V. Sidel'nikov, R. A. Zil'berg, Y. A. Yarkaeva [et al.] Voltammetric identification of antiarrhythmic medicines using principal component analysis // *Journal of Analytical Chemistry.*, 2015, Vol. 70, No. 10., P. 1261-1266.

© Мухаметдинов Ч.Р., Степанова П.А., Зильберг Р.А., 2026

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЯ НА РАМАНОВСКИЙ СПЕКТР УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Комбинационное рассеяние света широко используется как один из наиболее информативных методов диагностики различных форм углерода [1]. Углеродные нанотрубки перспективны для создания транзисторов нового поколения, наноэлектроники и гибких дисплеев [2]. Методом Рамановской спектроскопии исследован порошок УНТ, полученный при температуре 650°C. Спектр исследуемого образца (рис.1) представлен двумя характерными углеродными пиками: G в области 1570-1600 см^{-1} и D при 1360 см^{-1} .

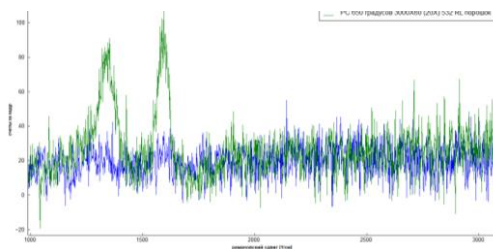


Рис. 1. Рамановский спектр УНТ

Как видно из рисунка, экспозиция влияет на интенсивность спектра. При увеличении экспозиции в 3 раза, интенсивность увеличивается в 2,7 раза.

Литература

1. Sebastian F. L., Zorn, N. F., Settele, S., Lindenthal, S., Berger, F. J., Bendel, C, Zaumseil, J Absolute quantification of sp³ defects in semiconducting single-wall carbon nanotubes by Raman spectroscopy //The Journal of Physical Chemistry Letters, 2022, v. 13, № 16, pp. 3542-3548.

2. Салихов Р. Б., Остальцова, А. Д., Салихов, Т. Р., Муллагалиев, И. Н Тонкопленочные органические транзисторы на основе полиэлектролитного комплекса хитозана с добавлением углеродосодержащих наполнителей //Вестник Башкирского университета, 2025, т. 30, № 3, с. 114-121.

Мичник В.С.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Муллағалиев И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Мустафин А.Г., д.х.н., проф. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа

РАМАНОВСКИЙ СПЕКТР УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Углеродные нанотрубки нашли широкое применение в тонкоплёночных транзисторах [1]. Рамановская спектроскопия позволяет по пикам обнаруживать дефекты структуры в углеродных материалах [2]. Методом комбинационного рассеяния был исследован порошок нанотрубок, полученный при температуре 450 °С. На рисунке 1 спектр исследуемого образца под действием лазера с длиной волны 532 нм. представлен несколькими характерными углеродными пиками: D в области 1337 см^{-1} , связанный с наличием неупорядоченности в графитовых материалах, G при 1592 см^{-1} является мерой графитизации образца, интенсивность пика 1727 см^{-1} растет с увеличением дефектов и связана с аморфными включениями в решетке sp^2 гибризованного углерода, пик 2840 см^{-1} является второй гармоникой D моды – он указывает на дальний порядок в структуре образца и возникает в двухфононном рассеянии.

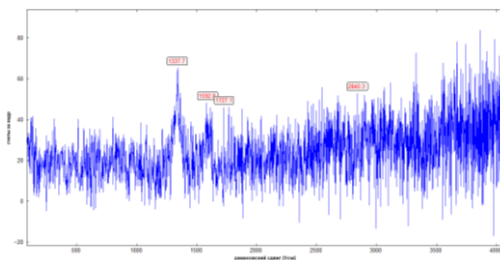


Рис. 1. Рамановский спектр УНТ

Литература

1. Zilberg, R., Salikhov, R., Mullagaliev, I., Teres, Y., Bulysheva, E., Salikhov, T, Vakulin, I. (2024). Chitosan-based polyelectrolyte complex in combination with allotropic forms of carbon as a basis of thin-film organic electronics. // *Chimica Techno Acta*, 2024, v. 11, № 3, p. 202411302.
2. Zhang P. Fan, J., Wang, Y., Dang, Y., Heumann, S., Ding, Y. Insights into the role of defects on the Raman spectroscopy of carbon nanotube and biomass-derived carbon // *Carbon*, 2024, v. 222, p. 118998.

© Мичник В.С., Муллағалиев И.Н., Мустафин А.Г., 2026

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ЭНАНТИОМЕРНО И ДИАСТЕРЕОМЕРНО ЧИСТЫХ КОМПЛЕКСОВ Ni (II) С ХИРАЛЬНЫМИ ЛИГАНДАМИ НА ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОСТЬ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Опираясь на ранее подтверждённую высокую селективность комплексов переходных металлов в качестве селекторов [1–7], мы исследовали, как структура энантиомерно и диастереомерно чистых комплексов Ni(II) с хиральными лигандами влияет на энантиоселективность вольтамперометрических сенсоров [8].

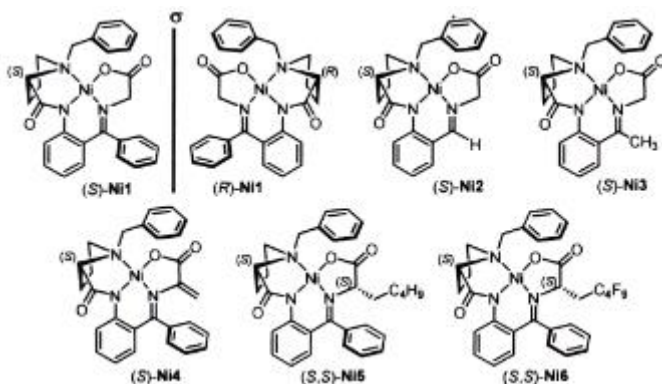


Рис. 1. Структуры хиральных комплексов Ni (II), применяемых в качестве селекторов

На рисунке 1 показаны структуры энантиомерно и диастереомерно чистых комплексов Ni (II) с хиральными лигандами на основе синтетических аминокислот. (S)-Ni1 и (R)-Ni1 – энантиомеры; в (S)-Ni2 бензол заменён на H, в (S)-Ni3 – на CH₃; (S)-Ni4 содержит двойную связь; изучены также диастереомеры с разными заместителями в боковой цепи. Даже небольшие изменения структуры сильно влияют на энантиоселективность.

Лучшие показатели энантиоселективности по отношению к R- и S-Atn у сенсора СВРЕ@(S)-Ni1 ($\Delta E = 20$ мВ, $ip1/ip2 = 1,60$). Замена бензола на H

или CH_3 снижает селективность. Энантиомерные сенсоры дают зеркальный отклик: (S)-Ni1 чувствительнее к S-Atn, (R)-Ni1 – к R-Atn. Введение двойной связи (S)-Ni4 ухудшает ΔE в 6,7 раза, а коэффициент энантиоселективности – в 1,2 раза. Замена C_4H_9 на C_4F_9 в диастереомерах (S, S)-Ni6 снижает ΔE на 95%, а отношение токов – на 15% по сравнению с (S,S)-Ni5.

Литература

1. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2025. – Vol. 529. – P. 146309.
2. Вольтамперометрический сенсор на основе алюмофосфатного цеолита и композита бетулиновой кислоты с полиэлектролитным комплексом хитозана для распознавания и определения энантиомеров напроксена / Р. А. Зильберг, В. Н. Майстренко, Ю. Б. Терес [и др.] // *Журнал аналитической химии*. – 2023. – Т. 78, № 7. – С. 648-661. – DOI 10.31857/S0044450223070162. – EDN VSELHV.
3. Homochiral zeolites as chiral modifier for voltammetry sensors with high enantioselectivity / I. V. Vakulin, R. A. Zilberg, I. I. Galimov, M. A. Sycheva // *Chirality*. – 2023. – Vol. 36, No. 2. – P. 23635.
4. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a pateelectrode modified with a Chiral nickel(II) complex / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, I. V. Vakulin [et al.] // *Chirality*. – 2025. – Vol. 37, No. 2. – P. e70025. – DOI 10.1002/chir.70025. – EDN AURRYF.
5. Синтез и применение хелатных комплексов $[\text{Zn}(\xi\text{-ARG})_2(\text{H}_2\text{O})]$ и $[[\text{Zn}(\text{Z-ARG})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{SO}_4)]_2$ -в качестве хиральных селекторов / Р. Р. Гизатов, Ю. Б. Терес, М. Н. Галимов [и др.] // *Координационная химия*. – 2025. – Т. 51, № 5. – С. 315-326. – DOI 10.31857/S0132344X25050042.
6. Chiral Cobalt(III) Complexes Based on (1R,2R)-Cyclohexanediamine and 4-Bromo-5-methylsalicylaldehyde: Synthesis, Modification and Application in Catalysis and Enantioselective Sensors / O. V. Khromova, A. F. Smol'yakov, R. A. Zil'berg [et al.] // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. – 2025. – Vol. 51, No. 3. – P. 200-210. – DOI 10.1134/S1070328424601468. – EDN XTHAOW.
7. Synthesis and Application of Chelate Complexes $[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})]$ and $[[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{SO}_4)]_2$ – as Chiral Selectors / R. R. Gizatov, Yu. B. Teres, M. N. Galimov [et al.] // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. – 2025. – Vol. 51, No. 2. – P. 119-128. – DOI 10.1134/S1070328424601365.
8. Maistrenko, V. N. Enantioselective Voltammetric Sensors: New Solutions / V. N. Maistrenko, A. V. Sidel'nikov, R. A. Zil'berg // *Journal of Analytical Chemistry*. – 2018. – Vol. 73, No. 1. – P. 1-9.

© Траоре М., Степанова П.А., Зильберг Р.А., 2026

Степанова П.А.,
студ. 3 к. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа;
Волкова А.А.,
студ. 5 к. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа;
Терес Ю.Б.,
асп. 4 г. об. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа
Науч.рук.: Зильберг Р.А.,
к.х.н, доц. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа

ХИРАЛЬНЫЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА КОБАЛЬТА (III) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И РАСПОЗНОВАНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ ТИРОЗИНА

Тирозин (2-амино-3-(4-гидроксифенил) пропионовая кислота) – ароматическая α -аминокислота, критически важная для организма человек. Обычно синтезируется из фенилаланина, но в случае заболеваний или нехватки предшественника требуется поступление с пищей.

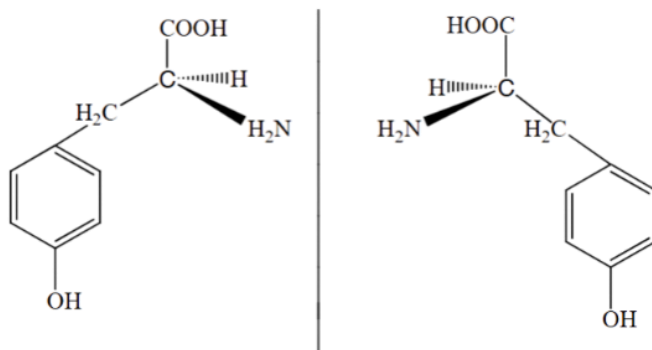


Рис. 1. Энантимеры тирозина

Биологически активная добавка «Тирозин» должна соответствовать строгим требованиям по энантиомерной чистоте, поскольку лишь L-изомер тирозина выполняет важные биологические функции: участвует в белковом синтезе, регулирует липидный и углеводный обмен, влияет на выработку нейромедиаторов, гормонов и формирование иммунного ответа, а также поддерживает работу эндокринной, сердечно-сосудистой и центральной нервной систем. На рынке представлено множество тирозинсодержащих препаратов, поэтому критически важен экспрессный и недорогой метод контроля их качества. Вольтамперометрия отвечает этим требованиям [1-6].

Для определения энантиомеров тирозина (Тур) был разработан сенсор на основе пастового электрода из графитированной термической сажи CarboblackC и комплекса кобальта (III) (Λ (PF6)-1). Все вольтамперометрические измерения проведены в квадратно-волновом режиме (КВВ). Экспериментально было установлено оптимальное соотношение СВ: Λ (PF6)-1 – 100:1 (по массе), для регистрации наибольшей разницы в аналитических сигналах энантиомеров Тур ($i_{pD}/i_{pL} = 1.60$ и $\Delta E_p = 12$ мВ). Анализ вольтамперограмм окисления тирозина показал, что в концентрации-онном диапазоне от $2 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ М (D-Тур) и от $3 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ М (L-Тур) наблюдается строгая линейная зависимость между током пика и концентрацией аналита. По результатам статистической обработки данных, предел обнаружения (3S-критерий) составил $4.77 \cdot 10^{-7}$ М и $8.02 \cdot 10^{-7}$ М, с нижними границами определяемых концентраций (10S-критерий) $1.59 \cdot 10^{-6}$ и $2.67 \cdot 10^{-6}$ для D- и L-тирозина соответственно. Сенсор сохраняет стабильность при хранении в течение 20 дней при 4°C и регистрации вольтамперограмм через каждые 5 суток.

Литература

1. Майстренко В.Н., Евтюгин Г.А., Зильберг Р.А. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры. Уфа: Башкирский государственный университет, 2018.
2. R. R. Gizatov, Yu. B. Teres, M. N. Galimov [et al.]. Synthesis and Application of Chelate Complexes $[Zn(L-arg)_2(H_2O)]$ and $[[Zn(L-arg)_2(H_2O)](SO_4)]^{2-}$ as Chiral Selectors – Russian Journal of Coordination Chemistry, 2025. – V. 51, No. 2, P. 119.
3. R. A. Zilberg, Y. B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.]. A chiral Ni (II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples – Electrochimica Acta, 2025. – V. 529, P. 146309.
4. R. A. Zilberg, Y. B. Teres, I. V. Vakulin [et al.]. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel (II) complex – Chirality, 2025. – V. 37, No. 2, P. e70025.
5. Р. Р. Гизатов, Ю. Б. Терес, М. Н. Галимов [и др.]. Синтез и применение хелатных комплексов $[Zn(\xi-ARG)_2(H_2O)]$ И $[[Zn(Z-ARG)_2(H_2O)](SO_4)]^{2-}$ в качестве хиральных селекторов – Координационная химия, 2025. – Т. 51, № 5, 315 с.
6. O. V. Khromova, A. F. Smol'yakov, R. A. Zil'berg [et al.]. Chiral Cobalt (III) Complexes Based on (1R, 2R)-Cyclohexanediamine and 4-Bromo-5-methylsalicylaldehyde: Synthesis, Modification, and Application in Catalysis and Enantioselective Sensors – Russian Journal of Coordination Chemistry, 2025. – V. 51, No. 3, P. 200.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ (R,R)- diPh-[Co]-Cl И (S,S)-diPh-[Co]-Cl ДЛЯ ХИРАЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ТИРОЗИНА МЕТОДОМ КВАДРАТНО-ВОЛНОВОЙ ВОЛЬТАМПЕРМЕТРИИ

Тирозин (2-амино-3-(4-гидроксифенил) пропионовая кислота) – аминокислота необходимая для жизнедеятельности организма человека. Существует в двух энантиомерных формах – L- и D-Туг, которые различаются по своим биохимическим свойствам. L-Туг выполняет множество жизненно важных функций: синтез нейромедиаторов, меланина, поддержание работы щитовидной железы и необходима для выработки дофамина. В то время как D-Туг не принимает никакого участия в жизнедеятельности организма. Недостаток L-Туг может вызывать апатию, депрессию, нарушение пигментации. В связи с чем, проблема контроля и качества энантиомеров тирозина является актуальной задачей [1-3].

Для возможности распознавания энантиомеров применяют энантиоселективные вольтамперметрические сенсоры, которые необходимо модифицировать хиральными селекторами. В качестве хиральных селекторов весьма перспективно использовать комплексные соединения переходных металлов [4-7]. В данной работе был разработан новый энантиоселективный вольтамперметрический сенсор на основе пастового электрода (ПЭ) из графитированной термической сажи Carbolblack C модифицированный комплексами (R,R)-diPh-[Co]-Cl и (S,S)-diPh-[Co]-Cl для распознавания энантиомеров Туг. Были изучены электрохимические и аналитические возможности сенсоров ПЭ@(R,R)-diPh-[Co]-Cl и ПЭ@(S,S)-diPh-[Co]-Cl с помощью квадратно-волновой вольтамперметрии. При использовании комплексов кобальта появляются различия в аналитических сигналах энантиомеров тирозина, в отличие от «голового» сенсора, что связано с разницей в энергиях взаимодействия энантиомеров с хиральными селекторами. Так, коэффициент селективности для ПЭ@(R,R)-diPh-[Co]-Cl (i_{pD}/i_{pL}) составил 1.56, а разность потенциалов 20 мВ. Для ПЭ@(S,S)-diPh-[Co]-Cl коэффициент селективности 1.55, а разность 21 мВ.

Линейный характер зависимости тока пика окисления Туг от его содержания в растворе сохраняется в концентрационном диапазоне от $5 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ М. Пределы обнаружения для ПЭ@(R,R)-diPh-[Co]-Cl

составили $5.21 \cdot 10^{-7}$ М (L-Тур) и $3.40 \cdot 10^{-7}$ М (D-Тур), для ПЭ@(S,S)-diPh-[Co]-Cl равны $3.25 \cdot 10^{-7}$ М (L-Тур) и $4.81 \cdot 10^{-7}$ М (D-Тур). Нижние границы ПЭ@(R,R)-diPh-[Co]-Cl $1.74 \cdot 10^{-6}$ М и $1.13 \cdot 10^{-6}$ М (для L-Тур и D-Тур соответственно), а ПЭ@(S,S)-diPh-[Co]-Cl $1.08 \cdot 10^{-6}$ М (L-Тур) и $1.60 \cdot 10^{-6}$ М (D-Тур). Так же было установлено, что сенсор, модифицированный комплексом (R,R)-diPh-[Co]-Cl более чувствителен к D-Тур по значению коэффициента чувствительности 11,49 мкА/мМ, а сенсор, модифицированный (S,S)-diPh-[Co]-Cl более чувствителен к L-Тур по коэффициенту чувствительности 12,04 мкА/мМ.

Предложенный сенсор пригоден для разработки простых и экспрессных платформ, предназначенных для оценки энантиомерной чистоты биологических активных соединений, что востребовано в фармацевтике и биохимии.

Литература

1. Смирнова И.Г., Гильдеева Г.Н., Кукуев В.Г. Оптическая изомерия и биологическая активность лекарственных средств. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2012. Т. 53. №3. С. 147.
2. Майстренко В.Н., Евтюгин Г.А., Зильберг Р.А. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры. Уфа: Башкирский государственный университет, 2018.
3. Maistrenko V. N., Zilberg R. A.//Enantioselective Voltammetric Sensors on the Basis of Chiral Materials. J. Anal. Chem., 2020, v. 75, no. 12, pp. 1514-1526.
4. R. A. Zilberg, Y. B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.]. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples – *Electrochimica Acta*, 2025. – V. 529, P. 146309.
5. R. A. Zilberg, Y. B. Teres, I. V. Vakulin [et al.]. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex – *Chirality*, 2025. – V. 37, No. 2, P. e70025.
6. Р. Р. Гизатов, Ю. Б. Терес, М. Н. Галимов [и др.]. Синтез и применение хелатных комплексов $[Zn(\xi\text{-ARG})_2(H_2O)]$ И $[[Zn(Z\text{-ARG})_2(H_2O)](SO_4)]^{2-}$ в качестве хиральных селекторов – *Координационная химия*, 2025. – Т. 51, № 5, 315 с.
7. O. V. Khromova, A. F. Smol'yakov, R. A. Zil'berg [et al.]. Chiral Cobalt(III) Complexes Based on (1R,2R)-Cyclohexanediamine and 4-Bromo-5-methylsalicylaldehyde: Synthesis, Modification, and Application in Catalysis and Enantioselective Sensors – *Russian Journal of Coordination Chemistry*, 2025. – V. 51, No. 3, P. 200.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПЛЁНКИ ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАНИЛИНА НА АЛЮМИНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Электропроводящие полимеры, в том числе полианилин, представляют собой важный класс материалов, сочетающих в себе свойства полимеров и электропроводящих веществ.

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) стала одним из ключевых инструментов для изучения поверхности плёнок, позволяющим получать изображения высокого разрешения [1-2]. В исследовании пользовалась ситалловая подложка, на которое методом термического испарения в вакууме с использованием УВП-250 был нанесен слой алюминия толщиной около 300 нм [3-5]. Тем же методом был нанесен слой полианилина на Al подложку. Примерная толщина этой пленки составила около 100-150 нм.

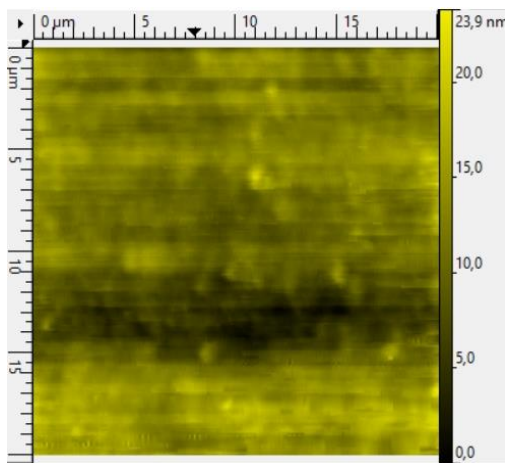


Рис. 1. Морфология поверхности полианилина, полученная методом атомно-силовой микроскопии: 2D-изображение (20x20 мкм)

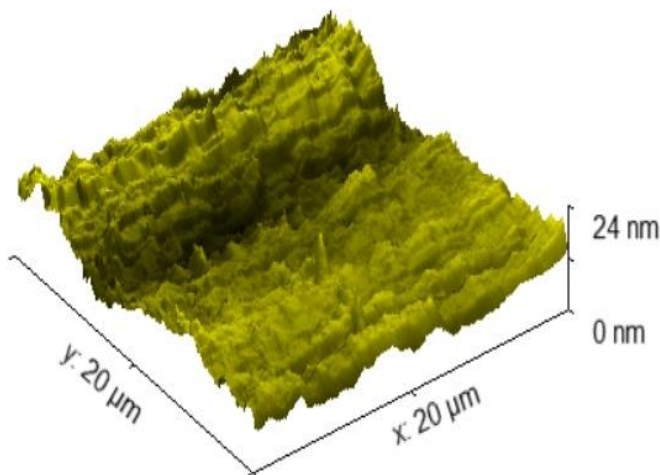


Рис. 2. 3D-изображение поверхности образца

Сканирование проводилось в области 20x20 мкм. Полученные 2D и 3D изображения (рис. 1, 2) позволили оценить морфологию поверхности и параметры шероховатости. Среднеквадратичная шероховатость (S_q) составила 3,5 нм, средняя шероховатость (S_a) - 2,7 нм, а также максимальная высота пика (S_p) составляет 12,4 нм. Такие значения свидетельствуют о формировании гладкого, однородного покрытия с низким уровнем поверхностного рельефа.

Литература

1. М.В. Базунова, Р.Б. Салихов, Т.Б. Терегулов, И.Н. Муллағалиев, Т.Р. Салихов, И.Н. Сафарғалин, А.Д. Остальцова, *Žurnal prikladnoj himii* 97, 347 (2024).
2. I. N. Safargalin, V. R. Badretdinov, R. V. Salikhov, *Инновационные материалы и технологии: материалы*, 221 (2024).
3. Р.Б. Салихов, А.Д. Остальцова, Т.Р. Салихов, И.Н. Муллағалиев, *Вестник Башкирского университета* 30, 114 (2025).
4. R.V. Salikhov, A.D. Ostaltsova, T.R. Salikhov, I.N. Mullagaliev *Vestnik Bashkirskogo Universiteta* 29, 75 (2024).
5. М.В. Базунова, Р.А. Мустакимов, Р.Б. Салихов, И.Н. Муллағалиев *Журнал прикладной химии* 95, 741 (2022).

© Миннеахметов Д.И., Муллағалиев И.Н., 2026

Закиров К.И.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Вахрин Д.А.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч.рук.: Сафаргалин И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ВЕРШИНЫ БАРЬЕРА ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С ДВУХЗАТВОРНОЙ СТРУКТУРОЙ В БАЛЛИСТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

В работе исследуется баллистическая модель двухзатворного (double-gate) n-канального МОП-транзистора с длиной канала 7 нм, оптимизированного для сверхнизковольтной цифровой логики при напряжении питания $V_{DD} = 0.5$ В. Ключевая архитектура представляющая интерес и позволяющая продлить масштабирование традиционных полевых транзисторов, является двухзатворная структура, обеспечивающая симметричное управление каналом и значительное подавление эффекта вытягивания поля (SCE) [1]. В настоящей работе представлено моделирование 7-нм двухзатворного n-канального МОП-транзистора, ориентированного на сверхнизковольтную (0.5 В) и субпороговую логику.

Для нашей модели транзистора мы взяли следующие параметры. Длина канала: 7 нм, тип: n-канальный двухзатворный МОП-транзистор, толщина кремниевого тела: 5–10 нм, эквивалентная толщина оксида (EOT): ≈ 1 нм, напряжение питания: $V_{DD} = 0.5$ В [2]. Тонкое тело и малый EOT обеспечивают сильное электростатическое управление, минимизируют влияние паразитных потенциалов и способствуют линейности барьерного профиля при низких напряжениях, двухзатворная структура берется также для уменьшения эффекта снижения барьера потенциала стоком (DIBL) [3].

Ключевые характеристики смоделированного транзистора: Пороговое напряжение $V_{th} \approx 0.32\text{--}0.45$ В, подпороговый размах (SS) $\approx 65\text{--}75$ мВ/декаду, DIBL $\approx 30\text{--}60$ мВ/В, $I_{вкл} \approx 0.8\text{--}1.5$ мА/мкм (при напряжении на затворе равном напряжению на стоке $V_g = V_d = 0.5$ В), $I_{выкл} \approx 10^{-9} \text{--} 10^{-11}$ А/мкм, отношение $I_{вкл}/I_{выкл} \approx 10^9 \text{--} 10^{11}$. На графике (рис. 1) представлены передаточные характеристики транзистора в линейном режиме (напряжение сток-исток $V_{ds} = 0.026$ В) и в режиме насыщения (напряжение сток-исток $V_{ds} = 0.5$ В) [4]. При максимальном напряжении затвора 0.6 В ток стока в режиме насыщения достигает 2710 мкА/мкм, что в 4.2 раза превышает аналогичный показатель в линейном режиме (641

мкА/мкм). Логарифмическая шкала (пунктир) позволяет увидеть, что при напряжении на затворе $V_g=0$ В ток утечки составляет всего 0.00342 мкА/мкм, обеспечивая транзистору высокую кратность включения-выключения порядка $7.9 \cdot 10^5$ [5].

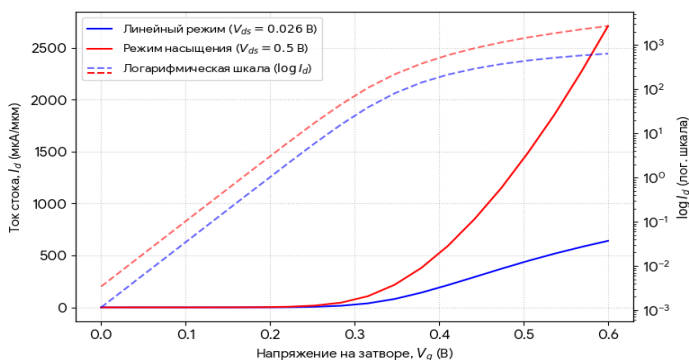


Рис. 1. Передаточные характеристики транзистора в линейном (сплошная) и логарифмическом (пунктир) масштабах

Симуляции проводились с использованием облачной платформы nanoHUB.org, в частности, инструмента FETToy, реализующего модель вершины барьера для баллистических МОП-транзисторов. Данный инструмент предназначен главным образом для учебных и исследовательских целей и содержит ряд упрощений, влияющих на реалистичность результатов.

Литература

1. Giusi, G., Iannaccone, G., Crupi, F., Ravaioli, U. A backscattering model incorporating the effective carrier temperature in nano-MOSFET // IEEE Electron Device Letters, 2011, v. 32, no. 7, pp. 853–855.
2. Karimi, F., Fathipour, M., Ghanatian, H., Fathipour, V. A Comparison Study of Electrical Characteristics in Conventional Multiple-gate Silicon Nanowire Transistors // Int. J. Elec. Elec. Comm. Sci., 2010.
3. Сафаргалин, И.Н., Салихов, Р.Б. Фототранзисторы на тонких пленках фуллерена C60 и спиропирана // Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании, 2022, с. 104.
4. Safargalin, I.N., Badretdinov, B.R., Salikhov, R.B. Study of the environmental influence on the electrophysical properties of a PANI glove box // [б. и.], 2024, pp. 221–223.
5. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Safargalin, I.N., Meshkov, I.K., Gizatuln, A.R. Thin films of chitosan with the addition of silver iodide for flexible photodetectors // Proc. SPIE, 2025, v. 13738, p. 137380S.

Макарычева К.В.,
студ. 5 к. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа;
Степанова П.А.,
студ. 3 к. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Зильберг Р.А.,
к.х.н, доц. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа

БИНАРНАЯ ХИРАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНОГО ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОДА И D-КАМФОРСУЛЬФОНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ МЕТИОНИНА

Метионин (2-амино-4-(метилтио)масляная кислота) – относится к незаменимым серосодержащим α -аминокислотам и выполняет ряд ключевых функций в организме человека, а также рассматривается как перспективный биомаркер для ранней диагностики, отражающий изменения в организме. Нарушения его метаболизма и дисбаланс L- и D-изомеров связаны с онкологическими заболеваниями, в том числе с раком легких [1]. В связи с этим разработка чувствительных и селективных методов определения энантиомеров метионина является актуальной задачей аналитической химии. Одним из наиболее перспективных подходов является вольтамперометрия [2,4,6], сочетающая в себе высокую чувствительность, оперативность анализа и сравнительно низкую стоимость оборудования.

В данной работе предложен новый вариант бинарной хиральной платформы для распознавания энантиомеров метионина, основанный на использовании стеклоуглеродного электрода, поверхность которого модифицирована композитном полиэлектролитного комплекса хитозана и наночастиц золота. Такая комбинация обеспечивает развитую активную поверхность, улучшенные электронно-транспортные свойства и благоприятные условия для дифференциации D- и L-форм анализируемого вещества [3,5,7]. В раствор аналита добавляли D-камфорсульфоновую кислоту для повышения энантиочувствительности сенсорной платформы. Регистрацию аналитического сигнала осуществляли методом дифференциальной импульсной вольтамперометрии (ДИВ), что позволило повысить чувствительность измерений и четко разделить пики окисления энантиомеров [2,4,6].

Установлено, что окисление D- и L-метионина на модифицированном электроде сопровождается формированием отчетливых аналитических сигналов, параметры которых зависят от конфигурации молекулы. Линейный характер зависимости тока пика окисления метионина от его

содержания в растворе сохраняется в концентрационном диапазоне $3 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ М, что позволяет использовать предложенный сенсор для количественного анализа. Расчет пределов обнаружения по 3S-критерию показал значения $1.6 \cdot 10^{-6}$ М и $1 \cdot 10^{-6}$ М, а нижние границы определяемых концентраций (10S-критерий) – $5.3 \cdot 10^{-6}$ М и $4.3 \cdot 10^{-6}$ М для D- и L-изомеров соответственно. Сенсор характеризуется хорошей воспроизводимостью отклика и сохраняет работоспособность при хранении в охлажденных условиях (4°C) в течение 5 суток без существенной потери аналитических характеристик.

Таким образом, разработанная бинарная хиральная платформа на основе стеклоглеродного электрода, модифицированного полиэлектролитным комплексом хитозана с наночастицами золота, может рассматриваться как эффективный инструмент для экспрессного и селективного определения энантиомеров метионина.

Литература

1. Negut C.C., Stefan-van Staden R.I., Pie-Mihai R.M. An enantioselective portable stochastic platform for quick screening of whole blood for methionine enantiomers. A new approach for early diagnosis of lung cancer // *Microchemical Journal*. - 2024. - V. 205. - P. 111383.

2. Майстренко В.Н., Евтюгин Г.А., Зильберг Р.А. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры. Уфа: Башкирский государственный университет, 2018.

3. R.R. Gizatov, Yu.B. Teres, M.N. Galimov [et al.]. Synthesis and Application of Chelate Complexes $[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})]$ and $[[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{SO}_4)]_2^-$ as Chiral Selectors – *Russian Journal of Coordination Chemistry*, 2025. – V. 51, No. 2, P. 119.

4. R.A. Zilberg, Y.B. Teres, E.O. Bulysheva [et al.]. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carbolblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples – *Electrochimica Acta*, 2025. – V. 529, P. 146309.

5. R.R. Gizatov, Yu.B. Teres, M.N. Galimov [et al.]. Synthesis and Application of Chelate Complexes $[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})]$ and $[[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{SO}_4)]_2^-$ as Chiral Selectors – *Russian Journal of Coordination Chemistry*, 2025. – V. 51, No. 2, P. 119.

6. R.A. Zilberg, Y.B. Teres, I.V. Vakulin [et al.]. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex – *Chirality*, 2025. – V. 37, No. 2, P. e70025.

7. Р.Р. Гизатов, Ю.Б. Терес, М.Н. Галимов [и др.]. Синтез и применение хелатных комплексов $[\text{Zn}(\text{L-ARG})_2(\text{H}_2\text{O})]$ И $[[\text{Zn}(\text{L-ARG})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{SO}_4)]_2^-$ в качестве хиральных селекторов – *Координационная химия*, 2025. – Т. 51, № 5, 315 с.

© Макарычева К.В., Степанова П.А., Зильберг Р.А., 2026

АМИНОКИСЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ Cu(II) КАК ХИРАЛЬНЫЕ СЕЛЕКТОРЫ ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНЫХ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

В аналитической и медицинской химии значительный интерес вызывают энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры (ЭВС). Они позволяют экспрессно проводить анализ и идентификацию фармакологически активных соединений в лекарственных препаратах, а также контролировать энантиомерную чистоту, что является одним из важнейших показателей качества современных лекарственных средств [1]. К числу важных требований, предъявляемых к ЭВС, относятся высокая чувствительность, воспроизводимость, стабильность, надёжность распознавания энантиомеров, доступность и, самое главное, простота изготовления. Оптимальным сочетанием перечисленных характеристик обладают сенсоры, в которых в качестве хиральных селекторов используются аминокислотные комплексы переходных металлов с хиральными лигандами. Это обусловлено их уникальными координационными свойствами и способностью к тонкой настройке энантиоселективности [2–7].

Аминокислотные комплексы Cu(II) , Co(III) и Zn(II) исследовали в качестве хиральных селекторов, иммобилизованных на стеклоуглеродных электродах (СУЭ) с помощью полиэлектролитного комплекса хитозана и N-сукцинил-хитозана (ПЭК). Селективность разработанных сенсоров оценивали на примере изомеров различных классов биологически активных соединений, таких как β -блокатор (Prp), нестероидный противовоспалительный препарат (Nap) и аминокислоты (Trp, Tyr). В ходе исследований установлено, что сенсоры СУЭ/ПЭК-[Cu(L-Phe)₂] и СУЭ/ПЭК-[Cu(S-Ala)₂]-[Cu(S-Phe)₂] демонстрируют выраженную способность к энантиоселективному распознаванию. Для СУЭ/ПЭК-[Cu(L-Phe)₂] в отношении энантиомеров Trp коэффициент энантиоселективности (i_{p1}/i_{p2}) составил 1.33 при разности потенциалов окисления (ΔE) 39 мВ, причём сенсор проявляет большую чувствительность к L-Trp. Сенсор СУЭ/ПЭК-[Cu(S-Ala)₂]-[Cu(S-Phe)₂], в свою очередь, показал хорошую способность к хиральному распознаванию энантиомеров Nap и Prp: для Nap значения i_{p1}/i_{p2} и ΔE составили 1.27 и 30 мВ, для Prp – 1.37 и 20 мВ, соответственно. Для

разработанных сенсоров установили линейный диапазон определяемых концентраций, пределы обнаружения (LOD) и нижние границы определяемых концентраций (LOQ). Для СУЭ/ПЭК-[Cu(L-Phe)₂] в случае L-Trp значения составили 0.625–500 мкМ 0.575 и 1.916 мкМ, а для D-Trp – 5–500 мкМ, 0.734 и 2.448 мкМ. Для СУЭ/ПЭК-[Cu(S-Ala)₂]-[Cu(S-Phe)₂] в диапазоне концентраций 0.05–1 мкМ для Nap получены LOD и LOQ, равные 0.30 и 0.99 мкМ (S-Nap) и 0.38 и 1.25 мкМ (R-Nap); для Prp в диапазоне 0.025–1 мкМ – 0.90 и 3.02 мкМ (S-Prp) и 1.24 и 4.15 мкМ (R-Prp).

Апробация сенсоров на биологических жидкостях, рацемических и нестехиометрических смесях подтвердила их возможное применения для контроля качества лекарств. Таким образом, разработанные сенсоры сочетают высокую селективность, простоту использования и коммерческую целесообразность для решения актуальных задач стехиометрического анализа.

Литература

1. Майстренко, В.Н., Евтюгин, Г.А. Энантиоселективные сенсоры // Москва: Лаборатория знаний, 2023. 259 с.
2. Zilberg, R.A., Teres, Ju. B., Bulysheva, E.O. [et al.]. Chiral octahedral cobalt(III) complex immobilized on Carboblack C as a novel robust and readily available enantioselective voltammetric sensor for the recognition of tryptophan enantiomers in real samples // *Electrochim. Acta.*, 2024, v. 492, P. 144334.
3. Zilberg, R.A., Berestova, T.V., Gizatov, R.R. [et al.]. Chiral selectors in voltammetric sensors based on mixed phenylalanine/alanine Cu(II) and Zn(II) complexes // *Inorganics*, 2022, v. 10, № 8, P. 117.
4. Zilberg, R.A., Teres, Y.B., Vakulin, I.V. [et al.]. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex // *Chirality*, 2025, v. 37, № 2, P. e70025
5. Zilberg, R.A., Teres, Y.B., Bulysheva, E.O. [et al.]. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples // *Electrochim. Acta.*, 2025, vl. 529, P. 146309.
6. Gizatov, R.R., Teres, Yu. B., Galimov, M.N. [et al.]. Synthesis and Application of Chelate Complexes [Zn(L-arg)₂(H₂O)] and [[Zn(L-arg)₂(H₂O)](SO₄)²⁻ as Chiral Selectors // *Rus. J. Coord. Chem.*, 2025, v. 51, № 2, pp. 119-128.
7. Khromova, O.V., Smol'Yakov, A.F., Zil'berg, R.A. [et al.]. Chiral Cobalt(III) Complexes Based on (1R,2R)-Cyclohexanediamine and 4-Bromo-5-methylsalicylaldehyde: Synthesis, Modification, and Application in Catalysis and Enantioselective Sensors // *Rus. J. Coord. Chem.*, 2025, v. 51, № 3, pp. 200-210.

© Терес Ю.Б., Зильберг Р.А., 2026

Гильманов Б.Ф.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Кабиров А.Т.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Сафаргалин И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМИДНЫХ ПЛЕНОК НА ВЛАЖНОСТЬ

Полимерные пленки с функциональными покрытиями широко применяются в электронике и сенсорике благодаря гибкости и возможности модуляции физических свойств. Ключевым параметром таких систем является амплитудно-частотная характеристика (АЧХ). Однако характеристики полимеров крайне чувствительны к влажности среды, так как адсорбция влаги изменяет их диэлектрическую проницаемость и проводимость, что требует детального изучения частотного отклика в различных условиях [1, 2].

Целью работы является исследование зависимости параметров АЧХ от влажности в диапазоне 1–30 МГц. В качестве объектов исследования выступала полиимидная пленка с напылением (образец №20), включенные в измерительную цепь как частотно-зависимые элементы. Сравнение характеристик проводилось при нормальной влажности и при повышенной (~70%), создаваемой в замкнутом объеме, показанный на рис. 1 [3].

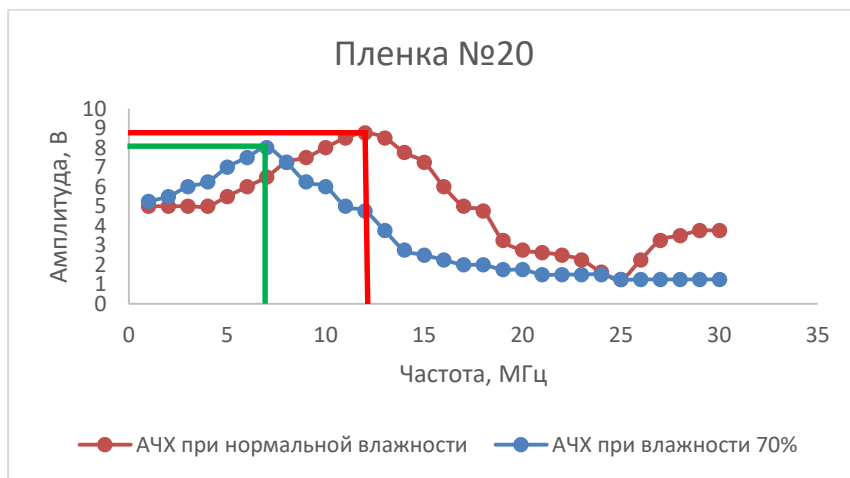


Рис. 1. График АЧХ пленки № 20 при различных условиях влажности

Анализ полученных данных показал, что повышение относительной влажности до 70% инициирует заметную трансформацию АЧХ. На основе экспериментальных графиков установлены следующие закономерности:

1. Смещение резонанса: зафиксирован сдвиг резонансных пиков в сторону низких частот; среднее значение смещения для исследуемых образцов составило 1,5–2,2 МГц.
2. Амплитудный отклик: наблюдается снижение максимальной амплитуды сигнала в среднем на 10–15%, что указывает на рост диэлектрических потерь при адсорбции влаги.
3. Добротность: отмечается уширение резонансных кривых, свидетельствующее о снижении добротности системы.

Литература

1. Салихов Р.Б., Бабунова М.В., Терегулов Т.Б., Кулиш Е.И., Салихов Т.Р., Сафаргалин И.Н., Остальцова А.Д. Материалы на основе хитозана и наночастиц йодида серебра в качестве подложки для органического тонкопленочного фоторезистора. Все материалы. Энциклопедический справочник. 2026. № 3. С. 41-48.

2. Бабунова М.В., Салихов Р.Б., Терегулов Т.Б., Муллағалиев И.Н., Салихов Т.Р., Сафаргалин И.Н., Остальцова А.Д. (2024). Нанокompозитные тонкопленочные материалы на основе полисахаридов и наночастиц йодида серебра для использования в сенсорных устройствах. *Žurnal prikladnoj himii*, Т. 97(4), С. 347-353.

3. Сафаргалин, И.Н., Салихов, Р.Б. Фототранзисторы на тонких пленках фуллерена C₆₀ и спиропирана // *Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании*, 2022, С. 104.

© Гильманов Б.Ф., Кабиров А.Т., Сафаргалин И.Н., 2026

ОРГАНИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ, РЕГИСТРИРУЮЩИЕ ПАРЫ АММИАКА

Мониторинг содержания аммиака в окружающей среде является важной задачей в связи с его токсичностью, которая способствует загрязнению водоёмов, ухудшению качества воздуха и отравлению растений. Вдыхание аммиачных испарений губительно отражается на человеческом здоровье. Вследствие чего присутствует необходимость в разработке тонкоплёночных химических сенсоров на основе полимерных и нанокompозитных материалов [1–3].

Полимерные гибридные нанокompозитные материалы являются ключом к передовому будущему в различных областях. Эти материалы обладают исключительными и всеобъемлющими свойствами, основанными на межфазных и морфологических свойствах композиционных материалов [4-5].

Полисахариды природного происхождения, в частности хитозан (ХТЗ), все чаще используются как основа сенсорных устройств благодаря биосовместимости, антимикробной активности и чувствительности к внешним воздействиям. Введение неорганических наночастиц, таких как полупроводниковый йодид серебра (AgI), значительно повышает электропроводность и устойчивость композита, делая его эффективным материалом для химических датчиков [5-6].

Композитные пленки на основе хитозана с наночастицами AgI и глицерином (образцы 1–5) демонстрируют резкое падение сопротивления при низких концентрациях аммиака (50–150 мг/м³). Дальнейший рост концентрации не влияет на сопротивление, что указывает на достижение адсорбционного равновесия. Наибольшая чувствительность зафиксирована в диапазоне, близком к ПДК аммиака (20 мг/м³) [6].

Образец 1 был создан на основе 1% хитозана с добавлением AgI и 0.175% глицерина. Он демонстрирует одно из самых резких падений сопротивления в области низких концентраций аммиака (примерно до 150 мг/м³). Это указывает на его высокую чувствительность. Образец 2 имел в своей основе 2% КМЦ, AgI и более высокое содержание глицерина – 0.35%. Пленка на основе карбоксиметилцеллюлозы показывает заметное снижение сопротивления.

Образцы 3 и 5 были сформированы на основе модифицированного

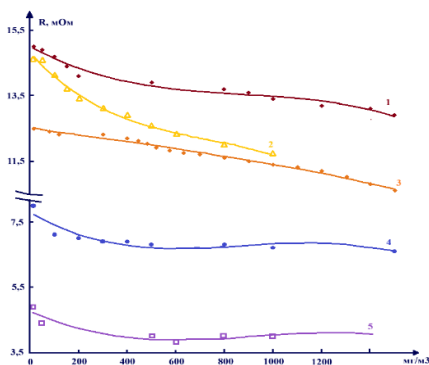


Рис. 1. Зависимость электрического сопротивления пленок от концентрации паров аммиака: 1-5

хитозана (СХТЗ) с концентрацией 1% и 2% соответственно, с добавлением только наночастиц AgI, без пластификатора. На графике показывают самый слабый отклик. Их кривые сопротивления пологие, что говорит о низкой чувствительности. Образец 4 повторял состав образца 2, но с меньшей концентрацией полимера – 0,5% КМЦ и 0,175% глицерина. Снижение концентрации полимера привело к существенному увеличению чувствительности. Данный образец демонстрирует более значительное снижение сопротивления, что объясняется формированием более пористой структуры плёнки.

Литература

1. Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Салихов Т.Р. Электронные газовые сенсоры на основе полимерных и нанокompозитных материалов // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2025. Т. 89. № 3. С. 408-413.

2. Салихов Р.Б., Муллагалиев И.Н., Салихов Т.Р., Остальцова А.Д. Полиэлектролитный комплекс на основе хитозана с добавлением одностенных углеродных нанотрубок и оксида графена для создания тонкопленочных органических транзисторов // Российский химический журнал. 2025. Т. 69. № 3. С. 125-129. 0

3. Salikhov R.B., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R. Electronic gas sensors based on polymer and nanocomposite materials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2025. Т. 89. № 3. С. 386-390. 0

4. Базунова М.В., Салихов Р.Б., Терегулов Т.Б., Муллагалиев И.Н., Салихов Т.Р., Сафаргалин И.Н., Остальцова А.Д. Нанокompозитные тонкопленочные материалы на основе полисахаридов и наночастиц иодида серебра для использования в сенсорных устройствах // Журнал прикладной химии. 2024. Т. 97. № 4. С. 347-353.

© Дрепакова А.П., Муллагалиев И.Н., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИАНИЛИНА МЕТОДАМИ СПЕКТРОСКОПИИ

В настоящее время значительный интерес вызывает исследование фотопроводящих характеристик органических полупроводников, в частности тонких пленок на основе полианилина и его растворимых производных. Известно, что величина фотопроводимости таких структур существенно зависит от природы растворителя, используемого при формировании покрытия, а также от типа и концентрации легирующей добавки. Исследования подтверждают, что сохранение надмолекулярной структуры при термообработке до 350 °С критически важно для воспроизводимости электрофизических свойств материалов. Для характеристики полианилина используют оптическую спектроскопию. По спектрам поглощения можно определить ширину запрещенной зоны – параметр, который определяет электрофизические свойства материала. Чем меньше ширина запрещенной зоны, тем лучше проводимость [1-2].

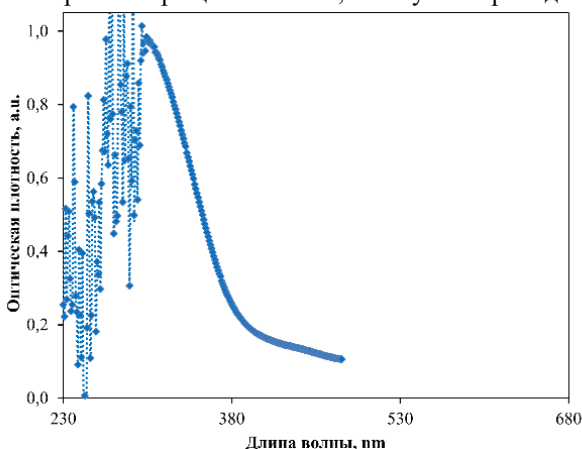


Рис. 1. Спектр поглощения полианилина

На рис. 1 представлена кривая, описывающая спектр поглощения образца полианилина. Спектр демонстрирует интенсивную полосу в ультрафиолетовой области с максимумом около 300-320 нанометров и оптической плотностью примерно 1,0 а.е. После 350 нанометров

наблюдается плавное снижение поглощения, а в области 400-500 нанометров наблюдается небольшое плечо, характерное для хиноидных структур полианилина.

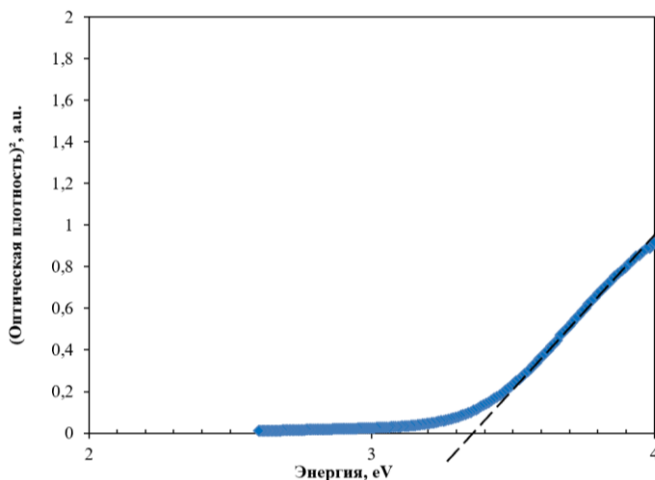


Рис. 2. Зависимость квадрата оптической плотности от энергии фотона

На рис. 2 представлена зависимость квадрата оптической плотности от энергии фотона, использованная для определения ширины запрещенной зоны методом Тауца. В области энергий ниже 3 эВ поглощение практически отсутствует, тогда как выше 3,3 эВ наблюдается резкий рост кривой. Экстраполяция линейного участка до пересечения с осью абсцисс позволяет оценить ширину запрещенной зоны исследуемого образца полианилина величиной 3,30–3,35 эВ.

Литература

1. Салихов Р. Б., Юмалин Т. Т., Остальцова А. Д. [и др.] Исследование фотопроводимости тонких пленок на основе производных полианилина // Вестник Башкирского университета. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 13-18. – DOI 10.33184/bulletin-bsu-2025.1.2. – EDN НВНКРО.
2. Карамов Д. Д., Корнилов В. М., Лачинов А. Н., Боровикова Е. Ю. Влияние термообработки на качество и структуру субмикронных полимерных пленок // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2017. – № 4. – С. 12-16. – EDN ZVHQIR.

© Дрепакова А.П., Муллағалиев И.Н., 2026

Аюпов А.Р.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Рудкевич Е.Е.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Сырцева Ю.Д.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Сафаргалин И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп., ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARDUINO UNO R3 И ДАТЧИКОВ MQ-9, ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ/ВЛАЖНОСТИ

Интернет вещей (IoT) является одним из ключевых направлений развития современных информационных технологий, позволяя осуществлять сбор, обработку и передачу данных с различных датчиков в режиме реального времени. Применение подобных систем актуально для контроля параметров окружающей среды, обеспечения безопасности и повышения эффективности технологических процессов. Использование доступных микроконтроллерных платформ делает возможным создание недорогих и гибких решений для мониторинга [1–3].

На рынке существуют готовые системы экологического мониторинга, однако они зачастую обладают высокой стоимостью, сложностью настройки и избыточным функционалом для учебных и малых проектов. В связи с этим актуальной задачей является разработка простой и доступной системы мониторинга на базе широко распространённых компонентов [4–5].

В рамках данного проекта реализована система мониторинга параметров окружающей среды на базе микроконтроллерной платформы Arduino Uno R3. В системе используются следующие датчики (рис. 1а):

- газовый датчик MQ-9 для обнаружения угарного газа (CO) и горючих газов,
- датчик давления (например, BMP280),
- датчик температуры и влажности (например, DHT11 или DHT22).

Считывание данных с датчиков осуществляется с помощью аналоговых и цифровых входов микроконтроллера. Обработка и передача информации реализованы с использованием стандартной среды разработки Arduino IDE. Полученные данные могут выводиться на последовательный порт (Serial Monitor) либо использоваться для дальнейшей передачи в IoT-системы (рис. 1б). Программная часть включает инициализацию датчиков, периодическое считывание показаний

и их обработку. Для повышения точности измерений применяются программные методы фильтрации и калибровки.

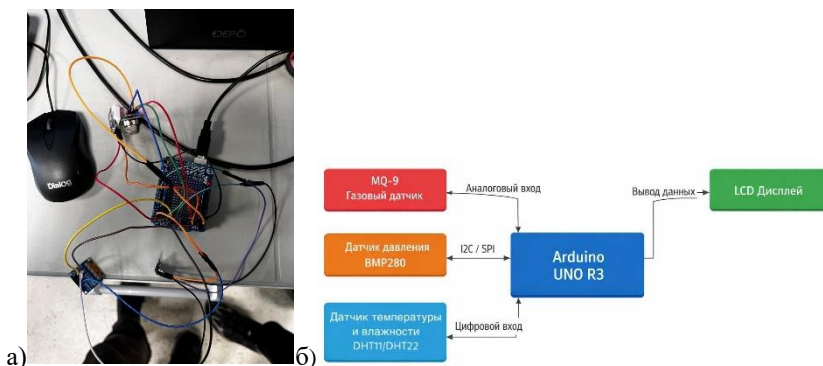


Рис. 1. а) Собранная схема устройства мониторинга на базе Arduino Uno R3;
б) Функциональная схема устройства мониторинга на базе Arduino Uno R3

Разработанная система отличается низкой стоимостью, простотой реализации и возможностью масштабирования. Она может быть использована в учебных целях, а также как прототип для более сложных систем мониторинга окружающей среды и безопасности.

Литература

1. Салихов Р.Б., Базунова М.В., Терегулов Т.Б., Кулиш Е.И., Салихов Т.Р., Сафаргалин И.Н., Остальцова А.Д. Все материалы. Энциклопедический справочник. 2026. № 3. С. 41-48.
2. Базунова, М.В., Базунова, М.В., Салихов, Р.Б., Салихов, Р.Б., Терегулов, Т.Б., Терегулов, Т.Б., ... & Остальцова, А.Д. (2024). Нанокompозитные тонкопленочные материалы на основе полисахаридов и наночастиц иодида серебра для использования в сенсорных устройствах. *Žurnal prikladnoj himii*, 97(4), 347-353.
3. Сафаргалин, И.Н., Салихов, Р.Б. Фототранзисторы на тонких пленках фуллерена C60 и спиропирана // *Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании*, 2022, с. 104.
4. Safargalin, I.N., Badretdinov, B.R., Salikhov, R.B. Study of the environmental influence on the electrophysical properties of a PANI glove box // [б. и.], 2024, pp. 221–223.
5. Salikhov, R.B. et al. Thin films of chitosan with the addition of silver iodide for flexible photodetectors // *Proc. SPIE*, 2025, v. 13738, p. 137380S.

© Аюпов А.Р., Рудкевич Е.Е., Сырцева Ю.Д., Сафаргалин И.Н., 2026

Галиев Д.М.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Габдрахманова Л.А.,
мол. уч. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Альмухаметов Р.Ф.,
д.ф.-м. н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КОБАЛЬТА

Внимание исследователей привлекают нанокристаллические (НК) материалы, представляющие интерес как для фундаментальных исследований, так и для практических приложений.

Образец НК кобальта был получен методом интенсивной пластической деформации на наковальнях Бриджмена под давлением 7 ГПа при комнатной температуре поворотом бойка на 5 оборотов.

Методом электронной микроскопии, рентгеновским методом исследовались размеры кристаллитов и величина микродеформаций в зависимости от температуры отжига. Установили, что отжиг при температурах от комнатной до 350-450 °С приводит к незначительному росту размеров кристаллитов (от 25 нм до 50 нм). Микродеформации в этом интервале уменьшаются значительно от $3 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-4}$. Отжиг при температурах выше 450 °С сопровождается скачкообразным ростом размеров кристаллитов и незначительным изменением микродеформаций. На основании этих данных и исследований твердости сделано заключение о том, что отжиг при температурах до ~450 °С сопровождается возвратом, а выше этой температуры – рекристаллизацией. Установлено, что пластическая деформация приводит к задержке перехода высокотемпературной ГЦК фазы кобальта в низкотемпературную ГПУ фазу при его охлаждении ниже температуры фазового перехода. Показано, что задержка фазового перехода связано с уменьшением размеров кристаллитов при пластической деформации ниже критического размера зародыша новой фазы [1–3].

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, A.D. Muradov, F.F. Umarov, G.Sh. Yar-Mukhamedova. Intensive Plastic Deformation Influence on Phase Relations of Cobalt Nanocrystals // J. Nano-Electron. Phys. – 2020. Vol. 12, № 1 – P.01010-1 – 01010-6.

3. 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 543.424.2

Кондров Я.В.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Муллагалиев И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ ПЛЁНОК ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАНИЛИНА МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ

Методом спектроскопии комбинационного рассеяния исследуются полимеры [1]. Плёнка полианилина напылена на ситалл в УВП-250 при токе 2А, Раман-спектр снят при фокусировке лазера в зазор.

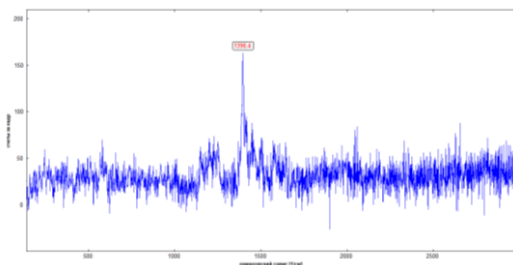


Рис. 1. Раманспектр при 2А

В спектре (рис.1) идентифицирована характеристическая полоса при $\sim 1396 \text{ см}^{-1}$, соответствующая полухиноидным радикал-катионам (поляронам) – ключевому признаку проводящей формы полианилина. В области $1590 - 1620 \text{ см}^{-1}$ наблюдается доминирование хиноидных структур над бензоидными, что подтверждает высокую степень окисления. Отсутствие выраженного флуоресцентного фона от подложки из ситалла подтверждает корректность методики съёмки в зазор. Таким образом, установлено, что плёнка находится в эмеральдиновой (проводящей) форме с высокой степенью окисления.

Литература

1. Деримедведь, Д. К., Бурьянская, Е. Л., Мальцев, А. А., Коновалова, И. Б., Мареев, Е. И., Михалев, П. А., Минаев, Н. Исследование влияния ориентационной вытяжки на структурные и электроактивные свойства пленок сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом методом спектроскопии комбинационного рассеяния // Оптика и спектроскопия. 2025. т. 133. №. 11. с. 1131-1135.
2. Муллагалиев И.Н., Салихов Р.Б. Рамановская спектроскопия тонких пленок органических материалов // В сборнике: Современные технологии композиционных материалов, Уфа, 2024, с. 281-286.

© Кондров Я.В., Муллагалиев И.Н., 2026

УДК 539.2

Кондров Я.В.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Муллагалиев И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАПЫЛЕНИЯ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПРОИЗВОДНОЙ ПОИАНИЛИНА

Методом атомно-силового микроскопа (АСМ) исследуются морфологии поверхности пленок [1]. В данной работе исследовано влияние режимов напыления на морфологию и шероховатость тонких пленок полианилина. Анализируя морфологию поверхности (рис.1) с помощью программы Gwyddion мы получили значение среднеквадратичной шероховатости 60нм, 9нм, 8нм при увеличении температуры с 120°C до 250°C.

Установлено, что при низких температурах осаждения формируется глобулярная структура с большой среднеквадратичной шероховатостью.

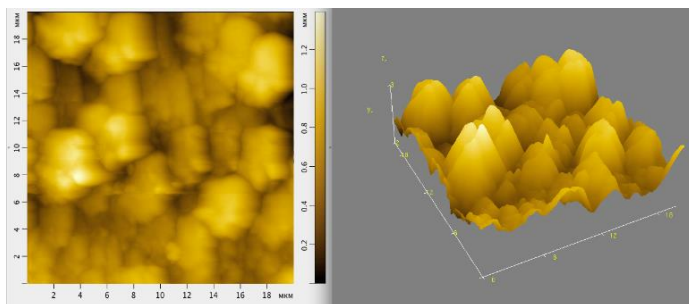


Рис. 1. Изображение АСМ плёнки полианилина

Изменение энергетических параметров определяет смену механизма роста от слоевого к островковому, что коррелирует с изменением фрактальной размерности поверхности [2]. Результаты позволяют оптимизировать режимы осаждения для получения пленок с заданными топографическими характеристиками.

Литература

1. Остальцова А.Д., Салихов Р.Б. Влияние морфологии поверхности нанокompозитных тонкопленочных структур // Актуальные вопросы современного материаловедения, 2023, с. 142-145.

2. Салихов, Р.Б., Юмалин, Т.Т., Остальцова, А.Д., Салихов, Т.Р. Исследование фотопроводимости тонких пленок на основе производных полианилина // Вестник Башкирского университета. 2025. т. 30. № 1. с. 13-18.

© Кондров Я.В., Муллағалиев И.Н., 2026

УДК 539.2

Кондров Я.В.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Муллағалиев И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ(УВП-250) ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПРОИЗВОДНОЙ ПОИАНИЛИНА НА СИТАЛЛОВЫХ ПОДЛОЖКАХ

Термическим нагревом в вакууме создают плёнки металлов и полимеровых [1]. В установке УВП-250 проводилось термическое напыление плёнок полианилина на ситалловые подложки. С самого начала процесса был подан ток 1 А, затем в течение первой минуты ток повысили до 2 А. Далее напыление продолжалось при фиксированном токе 2 А, при

этом температура подложки плавно возрастала с 23 до 170 °С за 10 минут. Стабилизация температуры на уровне 168–170 °С к концу процесса свидетельствует о выходе в стационарный тепловой режим (рис.1).

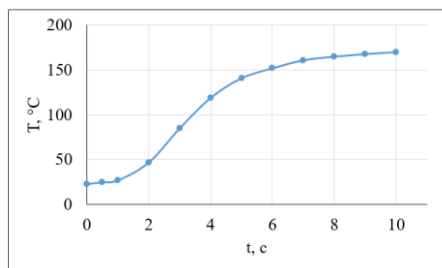


Рис. 1. Зависимость температуры от времени

Таким образом, оптимизированные параметры (исходный ток 1 А, рабочий ток 2 А, конечная температура 170 °С, длительность 10 мин) обеспечивают воспроизводимое формирование тонких плёнок полианилина.

Литература

1. Salikhov, R.B., Andrianova, A.N., Petrov, I.S., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T. R., Mustafin, A.G. Fluorescence and photoconductivity of thin films based on poly-2-(1-methylbut-2-en-1-yl) aniline //Letters on Materials. 2024. v. 14. №. 2. pp. 113-118.
2. Akhmetov, A.R., Aminov, R.I., Sadretdinova, Z.R., Salikhov, R.B., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R. Synthesis of C60 Fullerene Hexakis Adducts Based on Strained Polycyclic Hydrocarbons and Their Application in Organic Electronics //Chemistry Proceedings. 2023. v. 14. №. 1. pp. 68.

© Кондров Я.В., Муллагалиев И.Н., 2026

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА С ПОМОЩЬЮ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОВОДИМОСТИ

Актуальность определяется необходимостью изучения узкозонных полупроводников и их отклика на ИК-излучение. Полученные данные расширяют понимание процессов переноса заряда в полимерных системах и служат основой для разработки высокоэффективных оптоэлектронных устройств нового поколения.

Исследование охватывает использование проводящих полимеров (на примере полииндола) [1] с подложкой из ситалла, выбранной за её механические характеристики [2] и применение органических материалов, поглощающих фотоны в ближней ИК-области, в конструкции органических солнечных элементов [3]. Температурные зависимости проводимости говорят о типе инжекции носителей заряда в полимерную пленку [4]. Метод получения пленки «термический нагрев в вакууме» основан на нагреве в вакууме вещества до его активного испарения и конденсации испаренных атомов на поверхности подложки. Данный метод выбран из-за таких преимуществ, как высокая чистота осаждаемого материала, универсальность и относительная простота реализации [5]. Для порошков полимера применяется ячейка Кнудсена. Этим методом будет испаряться полииндол на подложку из ситалла. Полииндол представляет собой проводящий полимер, который получают в результате химической полимеризации индола [6]. Чем ближе к центру напыления, частиц полииндола становится все больше, превращаясь практически в единую пленку.

Ширина запрещенной зоны получившейся пленки из полимера равна 0,215 эВ, расчеты получены из зависимости проводимости от обратной температуры (рис.1). Такое значение говорит нам о том, что этот полупроводник узкозонный. Испытуемый резистор имеет чувствительность к инфракрасному излучению и работает при различных температурных условиях. Но при высоких температурах такой резистор может терять свою изначальную эффективность. Данный метод нанесения пленки дает при определенном времени напыления точную толщину пленки полииндола, что позволяет контролировать и морфологию поверхности пленки.

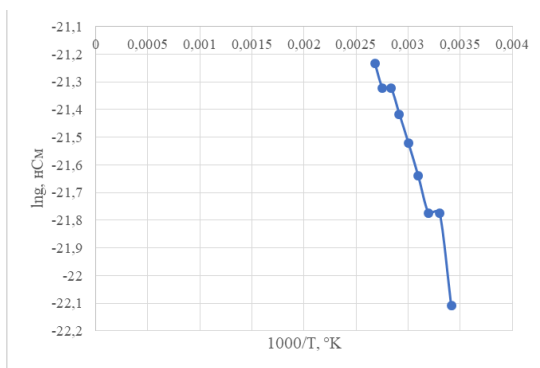


Рис. 1. Зависимость логарифма проводимости пленки от обратной температуры

Полученные данные о узкозонном полупроводнике и к тому же чувствительным к инфракрасному излучению, открывают перспективы для создания гибких фотоэлектрических устройств, носимой электроники и энергоэффективных архитектурных решений.

Литература

1. Бьегуньски А., Фридрихевич, А., Осил, М., Яцковска, К. Электрохимическое окисление катехола на электроде из поли (индол-5-карбоновой кислоты) // Электрохимия, 2010, Т. 46, № 11, С. 1385-1394.
2. Мананков А.В., Гасанова Э.Р., Быкова В. В. Физико-химические и технологические аспекты разработки ситаллов нового класса // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018, Т. 80, № 1 (75), с. 211-222.
3. Кештов М.Л. Годовский, Д.Ю., Ку克林, С.А., Ванг, Л., Константинов, И.О., Краюшкин, М.М., Хохлов, А.Р. Новые донорно-акцепторные сополимеры с ультрамалой шириной запрещенной зоны для фотовольтаических исследований // Доклады Академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение" Российская академия наук", 2016, Т. 470, № 4, С. 411-416.
4. Zhong Z., Kelly P.J. Electronic-structure-induced reconstruction and magnetic ordering at the LaAlO₃| SrTiO₃ interface // Europhysics letters, 2008, v. 84, № 2, pp. 27001.
5. В.А. Гольдаде, Н.Н. Федосенко Методы получения тонких пленок. Практическое пособие. – Министерство образования РБ, Гом. гос. университет им. Ф. Скорины, 2015, С. 41.
6. Salikhov R.B., Mustafin A.G., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Sharafullin I.F., Andrianova A.N., Latypova L.R. Photoconductivity of thin films obtained from a new type of polyindole // Materials, 2021, v. 15, № 1, pp. 228.

© Минеева А. С., Муллагалиев И.Н., 2026

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ФУЛЛЕРЕНА ИЛИ ПОЛИАНИЛИНА НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК

Исследуются пленки на основе производной полианилина либо фуллерена созданных вакуумным термическим напылением [1] толщину пленки можно контролировать временем напыления, чем дольше, тем толще пленка.

Вольтамперные характеристики фотовольтаических ячеек (ФВЯ) на основе фуллерена (или его производных) могут зависеть от толщины активного слоя. Это связано с тем, что толщина фотоактивного слоя в органических фотоэлементах должна составлять порядка 100–300 нм для поглощения большинства фотонов падающего света [2].

В органических фотоэлементах разделение заряда происходит только на границе донора и акцептора, и фототок могут дать только фотоны, поглощённые вблизи плоскости гетероперехода. Из-за наблюдается неэффективная генерация и малая степень разделения зарядов, по этой причине эти устройства имели довольно низкий КПД.

В данной работе были исследованы ФВЯ с пленками полианилина и фуллерена. Толщина пленок равна 150 нм, при этом $I_{КЗ} = 0,6$ мкА/см², $V_{OC} = 240$ мВ, а эффективность превращения световой энергии $\eta = 0.5\%$. Данные значения проигрывают только по току короткого замыкания по сравнению с работой [3], 1 из причин толщина пленок в два раза больше.

Литература

1. Муллағалиев И.Н., Салихов Р.Б., Закиров К.И. Влияние параметров метода получения пленок на морфологию поверхности материала // В сборнике: Актуальные вопросы современного материаловедения, Уфа, 2025. с. 73-77.
2. Костромин С.В., Малов, В.В., Тамеев, А.Р., Бронников, С.В. Гетеропереходная фотовольтаическая ячейка на основе смеси сополимера силана с производным фуллерена C70 // Письма в Журнал технической физики, 2016, т. 42, № 1, с. 49-55.
3. Мумятов А.В. и др. Полупроводниковые тонкие пленки фуллерена и их применение / Мумятов А. В., Сусарова Д.К., Трошин П.А., Разумов В.Ф. // Патент РФ RU 2 583 375 C2. - 2012.

© Габбасов Б.А., Муллағалиев И.Н., 2026

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ЭКСТРЕННОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА БАЗЕ LoRaWAN С ЛОКАЛЬНЫМ НЕЙРОСЕТЕВЫМ РАСПОЗНАВАНИЕМ НАБОРА КОМАНД

Для обеспечения устойчивой связи на объектах электроэнергетики, которая напрямую влияет на безопасность персонала и скорость реагирования при нештатных ситуациях. Можно отойти от применения GSM и Wi-Fi в экранированных помещениях, кабельных тоннелях и на удалённых участках, которые на практике нередко ограничиваются нестабильным покрытием, а электромагнитные помехи и работа в средствах индивидуальной защиты затрудняют обычный ручной ввод команд на устройствах [1].

В работе предлагается энергоэффективная архитектура голосового терминала на базе LoRaWAN (LoRaWAN-глобальная сеть дальнего радиуса действия), микроконтроллера STM32L4, MEMS-микрофона (MEMS-микроэлектромеханические системы) и LoRa-модуля. Терминал функционирует в двух режимах: при экстренной связи передаются короткие речевые фрагменты с буферизацией и последующей отправкой, а для типовых действий используются компактные идентификаторы команд, уменьшающие объём передаваемых данных и нагрузку на сеть [2].

Аппаратная часть терминала может быть реализована на STM32L476 с внешним цифровым MEMS-микрофоном и модулем SX1276/SX1262 в диапазоне 868 МГц. Для автономной работы предусматривается питание от Li-ion аккумулятора, индикация состояния и выделенная кнопка SOS. Такой состав обеспечивает достаточную вычислительную мощность для обработки коротких речевых фрагментов при умеренном энергопотреблении и допускает размещение устройства в защищённом промышленном корпусе [3].

Для голосового канала предусматривается первичная обработка аудио: нормализация уровня, подавление низкочастотного фона и буферизация речевого фрагмента. Передача может выполняться в низкобитрейтном режиме, достаточном для передачи коротких аварийных сообщений. Однако постоянная отправка аудиопотока через LoRaWAN нецелесообразна, поэтому в типовых сценариях управления требуется переход к передаче компактных командных пакетов [4-5].

Дополнительное сокращение трафика обеспечивается локальной нейросетевой моделью класса TinyML без аппаратного NPU. На устройстве выполняются детекция голосовой активности, распознавание ключевого слова и классификация ограниченного набора коротких голосовых команд. Обучение модели производится вне терминала, после чего на микроконтроллер загружается квантизованная версия для локальной развертки, что соответствует практике развёртывания небольших моделей на встраиваемых системах.

Ожидается, что использование коротких командных пакетов вместо непрерывной передачи аудио позволит уменьшить загрузку радиоканала и повысить автономность терминала. При этом для аварийных сообщений сохраняется возможность передачи речевого фрагмента, достаточного для фиксации сути события и последующего оповещения ответственного персонала через облачную часть системы.

Сетевая часть решения включает промышленные LoRaWAN-шлюзы, размещённые в точках, обеспечивающих покрытие открытых площадок и помещений. Серверная часть может быть построена на платформе Rightech IoT Cloud или аналогичной системе, принимающей пакеты от шлюзов, ведущей журнал событий и перенаправляющей тревожные уведомления в Telegram-бот либо во внешние диспетчерские системы [6].

Литература

1. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology // International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE. 2021. С. 234–238.
2. Abdrakhmanov Vali Kh., Salikhov R.B., Vazhdaev K.V. Intelligent residential zone system based on information and measurement control systems. 2017.
3. Abdrakhmanov V.K., Salikhov R.B., Vazhdaev K.V. Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects // Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). 2018. Т. 1. С. 170–173.
4. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важадаев К. В., Мунтянова Т. Д. Беспроводная система контроля качества окружающей среды // Нефтегазовое дело. 2023. № 21(3). С. 232–242.
5. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Т. 2096. № 1. С. 012109.
6. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>

© Набиуллин М.Р., Абдрахманов В.Х., 2026

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЭНАНТИОМЕРОВ ТРИПТОФАНА НА ОСНОВЕ БИНАРНОЙ ХИРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В настоящее время в качестве эффективного инструмента оценки энантиомерной чистоты фармацевтических препаратов всё чаще применяются энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры. По сравнению с традиционными дорогостоящими и длительными методами они обеспечивают экспресс-анализ, простоту реализации и низкую себестоимость. Весьма перспективным представляется использование бинарной хиральной системы, в которой усиление энантиоселективности сенсора достигается введением в раствор аналита D-камфосульфоновой кислоты (CSA). Будучи оптически активной кислотой, CSA инициирует образование диастереомерных комплексов с D- и L-формами триптофана. Эти комплексы обладают различной энергией стабилизации и различным электрохимическим откликом, что и лежит в основе селективного распознавания [1-3].

В данной работе разработан вольтамперометрический сенсор на основе стеклоуглеродного электрода, покрытого композитом из полиэлектролитного комплекса (хитозан/сукцинамид хитозана) с включением β -циклодекстрина. Усиление хиральных свойств достигается добавлением камфосульфоновой кислоты в исследуемый раствор, где она выполняет роль хирального селектора. Разработанная система успешно распознаёт энантиомеры триптофана, что подтверждается высоким отношением пиковых токов ($i_{p1}/i_{p2} = 1.51$) и разностью потенциалов пиков окисления $\Delta E = 20$ мВ.

Для изучения селективности сенсора изучили ряд биологически активных аналитов: напроксен, тирозин, метионин, триптофан, наибольший коэффициент энантиоселективности наблюдается для энантиомеров триптофана. Электродный процесс окисления является диффузионно-контролируемым, что доказано линейной зависимостью пикового тока от квадратного корня скорости сканирования и значениями критерия Семерано, близкими к 0.5. Изучены аналитические характеристики сенсора. Для оценки правильности определения энантиомеров триптофана предложенным сенсором применяли метод «введено-найдено».

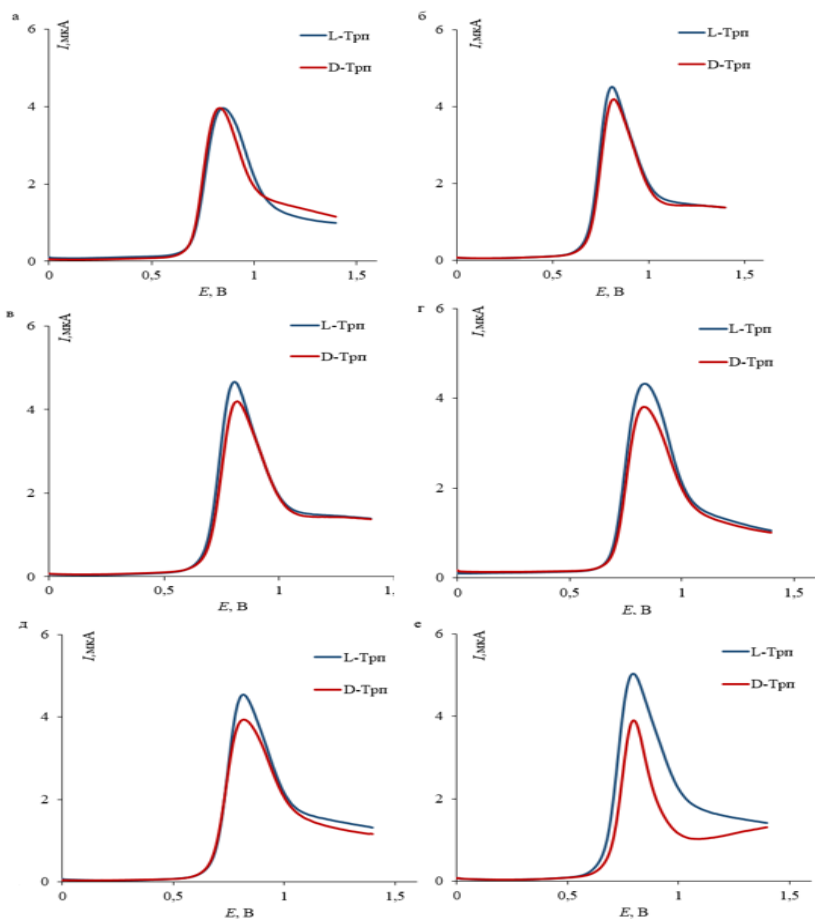


Рис. 1. ДИВ окисления энантимеров триптофана на фоне фосфатного буферного раствора с рН 6.00 на различных сенсорах: СУЭ (а), СУЭ/ПЭК (б), СУЭ/ПЭК/β-ЦД (в), СУЭ@CSA (г), СУЭ/ПЭК@CSA (д), СУЭ/ПЭК/β-ЦД@CSA (скорость сканирования потенциала 20 мВ/с)

Литература

1. Майстренко В.Н., Евтюгин Г.А., Зильберг Р.А. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры. Уфа: Башкирский государственный университет, 2018.
2. Зильберг Р.А., Терес Ю.Б., Вакулин И.В. [и др.] // Chirality. 2025. V. 37, No. 2. P. e70025.
3. Зильберг Р.А., Терес Ю.Б., Булышева Е.О. [и др.] // Electrochimica Acta. 2025. V. 529. P. 146309.

© Зекиева А.Ф., Зильберг Р.А., 2026

ПОЛУДУПЛЕКСНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ С БАТАРЕЙНЫМ ПИТАНИЕМ ЛОГИКИ

Технология обратного рассеяния (backscatter) – это метод передачи данных, при котором устройство не генерирует собственный радиосигнал, а отражает уже существующие в эфире сигналы (например, от Wi-Fi роутеров, телевышек или базовых станций). Модулируя параметры отражения (например, изменяя импеданс антенны), устройство кодирует в отражённом сигнале полезную информацию. Это позволяет радикально снизить энергопотребление, поскольку вся энергия для передачи берётся из внешнего поля [1-2].

В рамках работы над прототипом устройства, функционирующего на частоте 2.4 ГГц (диапазон Wi-Fi, Bluetooth), было установлено, что изменение импеданса антенны позволяет непосредственно влиять на сигнал: устройство не генерирует собственный сигнал, а отражает и модулирует фоновые радиоизлучения [3]. На основе данного принципа экспериментально подтверждено, что переключение импеданса антенны приводит к детектируемым изменениям уровня принимаемого сигнала, что позволяет кодировать и передавать информацию [2]. В дальнейшем планируется разработка полноценного полудуплексного передатчика с батарейным питанием логики для практической реализации описанного метода.

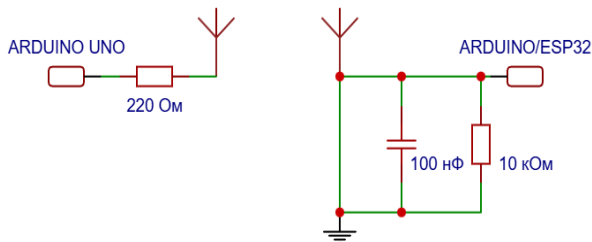


Рис. 1. Схема отражателя и приёмника

В ходе работы экспериментально подтверждена принципиальная возможность полудуплексной передачи данных методом обратного рассеяния на частоте 2.4 ГГц с использованием простейшего отражателя на базе Arduino Uno (возможна замена на другой контроллер) и приёмника на ESP32 (возможна замена на Arduino) [4]. Показано, что переключение импеданса антенны позволяет модулировать фоновое радиоизлучение без генерации собственного высокочастотного сигнала. Разработанный стенд, который был собран в рамках практической реализации данного метода, используя диодный детектор на основе диода Шоттки и четвертьволновой антенны 3.1 см (рис. 1), демонстрирует детектируемые изменения уровня сигнала, что открывает перспективы для создания сверхэкономичных устройств связи с батарейным питанием логики. В дальнейшем планируется реализация полноценного полудуплексного передатчика для практического применения в концепции «интернета вещей» без замены батарей или устройств альтернативной передачи данных.

Литература

1. Liu V., Parks A., Talla V., Gollakota S., Wetherall D., Smith J.R. "Ambient Backscatter: Wireless Communication Out of Thin Air". Proceedings of ACM SIGCOMM 2013. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2486001.2486015>
2. Kellogg B., Talla V., Gollakota S., Smith J.R. "Passive Wi-Fi: Bringing Low Power to Wi-Fi Transmissions". 13th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 16), 2016. URL: <https://www.usenix.org/conference/nsdi16/technical-sessions/presentation/kellogg>
3. "A 2.4 GHz Frequency Selective Backscatter Modulator for Bluetooth and Wi-Fi Backscatter". IEEE Xplore, 2025. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10965146>
4. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. V. 2096. No. 1. P. 012109
5. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Yumalin T.T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2021. P. 229-233.

© Ермилов И.С., Абдрахманов В.Х., 2026

ОБРАЗОВАНИЕ ВОДОРОДНОГО КОМПЛЕКСА МОЛЕКУЛЫ ФТАЛИДА С МОЛЕКУЛАМИ ВОДЫ ПРИ ИХ АДСОРБЦИИ

В нанoeлектронике всё чаще используют органические полупроводники как недорогую и перспективную альтернативу. На этапах производства, хранения и эксплуатации данные материалы постоянно взаимодействуют с водяными парами, присутствующими в окружающей среде [1, 2]. Проникая в полимерную структуру и адсорбируясь, пары воды влияют на электрофизические и физико-химические свойства материалов. В связи с этим изучение воздействия водяных паров на полимеры остаётся актуальной задачей физики поверхности и материаловедения.

С целью изучения механизма гигроскопичности ряда полимерных материалов, имеющих в структуре фталидные фрагменты, в работе был исследован газофазный водородный комплекс молекулы фталида с молекулами воды, возникающий при их адсорбции. Были рассчитаны различные структуры водородных комплексов молекулы фталида с n ($n = 1-4$) молекулами воды, различающиеся взаимным расположением молекул воды относительно функциональных групп молекулы фталида. Расчёты выполнены методом теории функционала плотности (DFT) с использованием функционала B3LYP с базисным набором 6-311+G(d,p).

Для установления наиболее вероятных структур водородных комплексов определялись устойчивые структуры H-комплексов и сравнивались их полные энергии [3, 4]. В случае образования H-комплекса с одной молекулой воды, наиболее устойчивым является комплекс, в котором молекула воды присоединяется к атому кислорода карбонильной группы (Рис. 1а). Вторым активным центром для одной молекулы воды выступает кислород фурановой группы молекулы фталида, но эта конфигурация менее устойчива на 2.17 ккал/моль. Других активных центров устойчивого присоединения молекул воды к молекуле фталида расчёт не показал. В случае формирования H-комплекса в два и более (до четырёх) молекулами воды, наиболее устойчивым являются комплексы с образованием замкнутого цикла. Где активными центрами молекулы фталида выступают атомы кислорода фталида, а также один из атомов водорода фталидной группы CH_2 . Пример такого основного H-комплекса с двумя молекулами воды, имеющего минимальную энергию показан на рис. 1б. Однако формирование таких комплексов при

адсорбции и диффундировании водяных паров в полимерный материал будет менее вероятным.

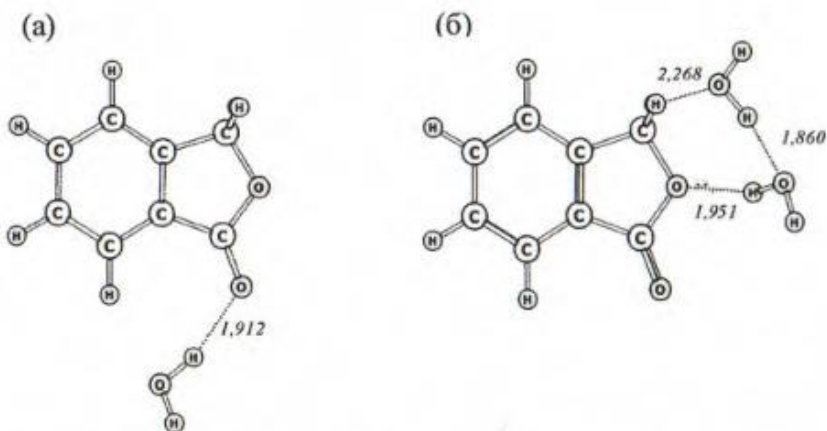


Рис. 1. Структуры основных (с минимальной энергией) водородных комплексов молекулы фталида с одной (а) и двумя (б) молекулами воды. Рядом с пунктирными линиями, обозначающими водородные связи, поставлены курсивом числа, показывающие рассчитанную длину водородной связи в ангстремах

Литература

1. Nikolka, M. A perspective on overcoming water-related stability challenges in molecular and hybrid semiconductors // MRS Comm., 2020, V. 10, № 1, pp. 98-111.
2. Zuo, G. General rule for the energy of water-induced traps in organic semiconductors // Nature materials, 2019, V. 18, № 6. pp. 588-593.
3. Цеплина, С.Н. Н-комплексы 1,2-нафтохинона с молекулами воды в водном растворе и их влияние на сдвиги полос поглощения // Опт. и спектр., 2021, Т. 129, № 5. с. 599-607.
4. Цеплина, С.Н. Интерпретация электронных спектров ряда 5-замещенных урацила в водном растворе на основе моделирования их Н-комплексов с молекулами воды и орбитального подхода // Опт. и спектр., 2025, т. 133. № 8, с. 822-830.

© Айдагулов А.А., Цеплин Е.Е., 2026

СЕНСОР НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С ДОБАВЛЕНИЕМ ЙОДИДА СЕРЕБРА

Влажность является одним из самых значимых параметров во многих сферах деятельности и влияет не только на процесс, но и на результат исследований или производства. Уже существуют различные решения для контроля уровня влажности, но они имеют ряд проблем, таких как дороговизна производства, сложность внедрения и ограничения чувствительности. В связи с вышеперечисленными проблемами, активно ведутся разработки и исследования новых материалов для создания более эффективных, простых и дешевых датчиков влажности. Среди них особо выделяются полимерные материалы, которые, как раз, отличаются дешевизной и возможностью изменений их свойств [1–5].

В данной работе был исследован биоразлагаемый материал хитозан, модифицированный йодидом серебра (AgI). Добавление AgI позволило снизить сопротивление полимера, что позволило отследить его чувствительность к изменению влажности в воздухе. На рис. 1 изображена структура исследуемого сенсора.

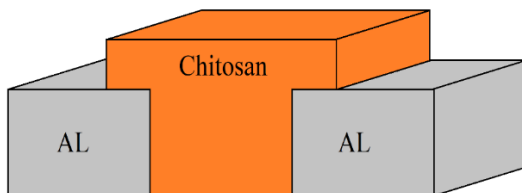


Рис. 1. Структура тонкопленочного сенсора

На рис. 2 представлена кривая, показывающая как увеличивается электропроводность полимера при увеличении влажности. Замеры были выполнены при напряжении $U = 7\text{В}$. Из графика видно, что зависимость нелинейная. При влажности $\sim 90\%$ начинается резкий рост проводимости.

Биоразлагаемый полимер хитозан, с добавлением наночастиц йодида серебра является одним из перспективных материалов для создания датчиков влажности. Благодаря своим свойствам, данный материал может быть эффективен для измерения не только влажности, но и других параметров среды.

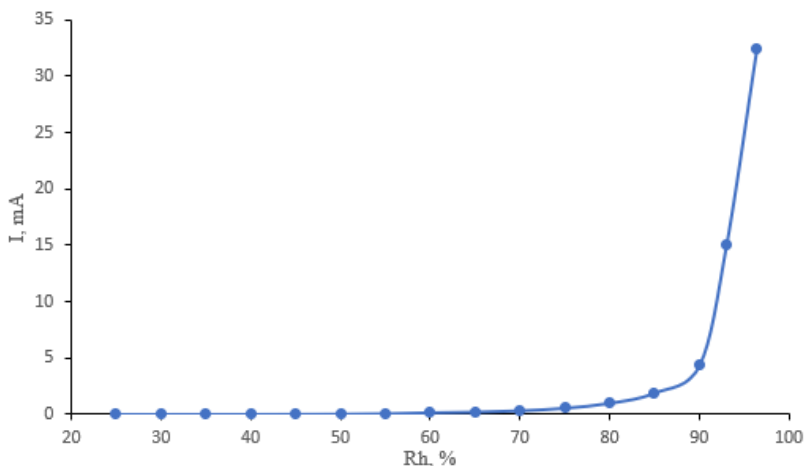


Рис. 2. Зависимость тока через пленку хитозана от влажности окружающего воздуха

Литература

1. Salikhov R.B., Bazunova M.V., Teregulov T.B., Kulish E.I., Salikhov T.R., Safargalin I.N., Ostaltsova A.D. Materials based on chitosan and silver iodide nanoparticles as a substrate for an organic thin-film photoresistor // All materials. Encyclopedia reference book, 2026, № 3, pp. 41-48.
2. Salikhov, R., Zilberg, R., Mullagaliev, I., Salikhov, T., Teres, Y., Bulysheva, E., Ostaltsova A. Composite and Nanocomposite Thin-film Structures Based on Chitosan Succinamide // Current Nanomedicine, 2025, Vol. 15, pp. 70-79.
3. Salikhov R.B., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R., Safargalin I.N., Meshkov I.K., Gizatulin A. R. Thin films of chitosan with the addition of silver iodide for flexible photodetectors. // Optical Technologies for Telecommunications, 2024, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, SPIE, 2025, p. 137380S, 1.
4. Salikhov R.B., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R. Electronic gas sensors based on polymer and nanocomposite materials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2025, Vol. 89, N. 3, pp. 408-413.
5. Salikhov R.B., Bazunova M.V., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N., Safargalin I.N., Ostaltsova A.D. Study of nanocomposite thin-film sensor materials // Factory laboratory. Diagnostics of materials, 2025, Vol. 91, № 11, pp. 41-48.

© Уткин Е.Г., Сафаргалин И.Н., 2026

РАЗВЁРТЫВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ n8n КАК СЛОЯ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ СЕТИ LORAWAN С ОБЛАЧНЫМ ПЕРСИСТЕНТНЫМ ХРАНИЛИЩЕМ

Актуальность работы определяется необходимостью построения гибкого middleware-слоя (это программный слой между клиентом и сервером или между разными приложениями, который обрабатывает запросы до их поступления к основному коду (или ответы перед отправкой).) для обработки данных, поступающих с IoT-устройств через сеть LoRaWAN. Эта работа важна, потому что нам нужно создать гибкий middleware-слой для обработки данных с IoT-устройств через сеть LoRaWAN. Традиционные коммерческие платформы автоматизации, такие как Zapier, Make и Power Automate, имеют ограничения в кастомной интеграции и требуют ежемесячных платежей. Платформа n8n (Рис. 1) с открытым исходным кодом решает эти проблемы, позволяя развёртывать её на своём сервере и иметь полный контроль над данными [1–3].

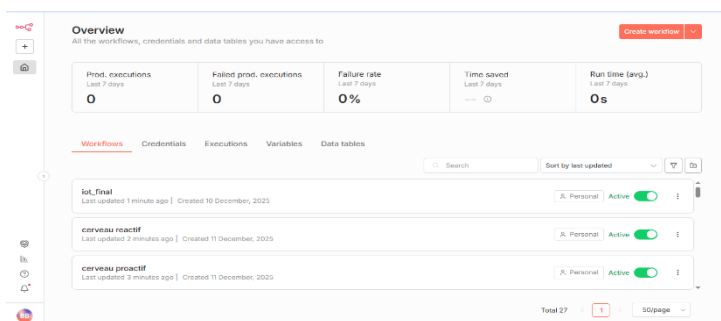


Рис. 1. Интерфейс платформы n8n: активные workflow системы автоматизации IoT

В этой работе мы реализовали развёртывание n8n на облачной платформе Render.com, используя репозиторий GitHub как источник конфигурации. После запуска контейнера мы настроили переменную окружения WEBHOOK_URL, которая обеспечивает корректный приём входящих HTTP-запросов от IoT Vega Server. Именно через этот webhook n8n получает данные, которые базовая станция Vega БС собирает от

оконечных устройств и передаёт на сервер. Платформа подписывается на события сервера и обрабатывает каждый пакет в момент его поступления [4-5]. Чтобы поддерживать постоянную доступность бесплатного инстанса Render, мы разработали workflow «Keep Live», который периодически отправляет запрос на endpoint/healthz (это специальный URL-адрес в API который используется для проверки состояния работоспособности сервиса) каждые 10 минут. Это было сделано с помощью узлов Schedule Trigger и HTTP Request. Одним из критических этапов стала миграция базы данных с временного PostgreSQL Render, который удаляется через 30 суток, на постоянное хранилище Supabase. Мы экспортировали workflow в JSON, создали проект PostgreSQL в Supabase, обновили переменные окружения и восстановили данные через импорт JSON-файлов.

Итоговая архитектура – n8n (Render.com) + PostgreSQL (Supabase) – функционирует на бесплатных тарифах без ограничения по времени. Сформированный middleware-слой обеспечивает приём телеметрии с базовой станции Вега БС, её маршрутизацию, хранение и передачу в Telegram-бот и аналитические сервисы посредством визуального no-code программирования, что существенно снижает порог входа для построения IoT-систем.

Литература

1. Сафаргалин И. Н., Абдрахманов В. Х. устройства для контроля климата на основе протокола loawan и модуля rak811 //теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. – 2022. – с. 108-108.Salikhov R. B., Хусаинова А.Э., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., Остальцова А.Д. В сборнике: Актуальные проблемы техносферной безопасности. Сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных, преподавателей. Ульяновск, 2024. С. 286-287.
2. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology//2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – С. 234-238.
3. Сагидуллина А. Р., Абдрахманов В. Х., Салихов Р. Б. Устройство контроля доступа в помещение с помощью rfid с использованием iot //Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. – 2023. – С. 73-74.
4. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.

© Баджассилона Г.Б., Абдрахманов В.Х., 2026

Баджассилона Г.Б.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Сафаргалин И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИОТ-СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ LORAWAN И СЕРВЕРА VEGA

Актуальность работы обусловлена необходимостью построения масштабируемых систем сбора данных с низким энергопотреблением для мониторинга удалённых объектов. Технология LoRaWAN позволяет передавать небольшие пакеты данных на большие расстояния, до 15 километров в открытой местности, что делает её очень подходящей для контроля состояния окружающей среды и автоматизации различных систем [1-3].

Основой такой сети является базовая станция Vega БС, произведённая компанией ООО «Вега-Абсолют» из Новосибирска. Эта станция работает в диапазоне частот от 863 до 870 мегагерц и служит как прозрачный мост между устройствами, находящимися на конце сети, и сервером. Чтобы настроить базовую станцию, мы использовали протокол SSH и программу PuTTY. В файле конфигурации, называемом `global_conf.json`, мы указали адрес и порт удалённого сервера, чтобы данные могли быть правильно переданы [4-5].

В качестве центрального узла управления использован облачный сервер (VPS) под управлением ОС Ubuntu 22.04 LTS. На этом сервере была установлена платформа IoT Vega Server, которая выполняет функции Network Server и Application Server. Эта платформа получает данные через порты TCP/UDP 1701. Нашим окончательным устройством был модуль RAK811 LoRa module, который работает на микроконтроллере STM32 и имеет трансивер Semtech SX1276. Мы настроили этот модуль с помощью интерфейса UART, используя AT-команды, и установили его на частотный план EU868. Для активации мы использовали метод Otaa, зарегистрировав идентификаторы DevEUI, AppEUI и ключ AppKey в консоли IoT Vega AdminTool.

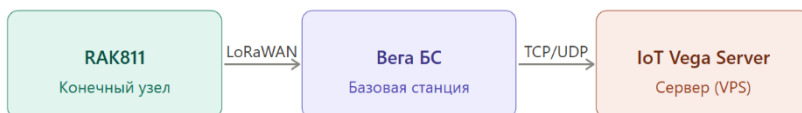


Рис. 1. Структурная схема комплекса:
RAK811 → Вега БС → IoT Vega Server (VPS)

В ходе эксперимента успешно реализована двусторонняя (uplink/downlink) передача данных по цепочке: RAK811 → Vega БС → IoT Vega Server (Рис. 1). Анализ логов консоли администратора показал, что средняя задержка обработки пакета составляет 19–23 мс, что свидетельствует о высокой стабильности инфраструктуры и отсутствии потерь в облачном сегменте. Полученная архитектура создаёт основу для интеграции тонкопленочных сенсорных элементов (в том числе разработанных ранее УФ-детекторов) в систему автоматизированного мониторинга реального времени.

Литература

1. Сафаргалин И. Н., Абдрахманов В. Х. Устройства для контроля климата на основе протокола logawan и модуля rak811 //теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. – 2022. – с. 108-108.

2. Ахняпов Э.Ш., Абдрахманов В.Х., Сафаргалин И.Н. Применение технологии интернет вещей для контроля за параметрами при эксплуатации месторождения. Тезисы докладов XV Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 300-летию Российской академии наук. Уфа, 2024. С. 111-112. 012109.

3. Хусаинова А.Э., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., Остальцова А.Д. В сборнике: Актуальные проблемы техносферной безопасности. Сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных, преподавателей. Ульяновск, 2024. С. 286-287.

4. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.

5. Салихов, Р.Б., Остальцова, А.Д., Салихов, Т.Р., Сафаргалин, И.Н., Мешков, И.К., и Гизатулин, А.Р. (2025, август). Тонкие пленки хитозана с добавлением йодида серебра для гибких фотодетекторов. В сборнике « Оптические технологии для телекоммуникаций 2024» (том 13738, стр. 208-211). SPIE.

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

ПРОБЛЕМЫ ПЕЧАТНОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Печатная электроника в настоящее время рассматривается как одно из наиболее динамично развивающихся направлений современной электроники. Основная идея заключается в формировании функциональных электронных слоёв методами печати, что открывает возможности создания гибких, лёгких и потенциально более доступных устройств. Такой подход позволяет реализовывать гибкие сенсоры, носимую электронику и интегрированные системы на основе органических материалов [1].

Интерес к печатной электронике во многом обусловлен стремлением снизить стоимость производства и упростить технологические процессы по сравнению с традиционной микроэлектроникой. Кроме того, печатные технологии позволяют использовать широкий спектр материалов и подложек, включая гибкие и биосовместимые. Однако переход от лабораторных образцов к массовому производству сопровождается рядом сложностей, связанных с физическими свойствами материалов и особенностями формирования тонкоплёночных структур, что напрямую влияет на электрические характеристики устройств [2].

Одной из ключевых проблем является ограниченная подвижность носителей заряда в органических и печатных полупроводниках. В полимерных материалах её значения обычно находятся в диапазоне 10^{-4} – 10^{-3} $\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, что ограничивает быстродействие устройств. Применение нанокompозитных материалов, содержащих углеродные наноструктуры, позволяет повысить подвижность до порядка 10^{-2} $\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, однако достижение стабильных и воспроизводимых характеристик требует точного контроля состава и структуры материала, а также условий его формирования [3].

Существенное влияние на электрические свойства оказывает морфология тонкоплёночных слоёв. В процессе печати могут возникать неоднородности, фазовое разделение компонентов и структурные дефекты, что приводит к появлению областей с различной проводимостью. Практика показывает, что даже небольшие изменения параметров печати, таких как температура, скорость нанесения или состав чернил, способны заметно влиять на характеристики устройств и приводить к их разбросу [4].

Важным фактором является наличие ловушек заряда и энергетического беспорядка в органических материалах. Эти явления связаны как с дефектами структуры, так и с примесями. Их концентрация может достигать 10^{17} – 10^{18} см⁻³, что приводит к снижению подвижности носителей, нестабильности параметров и появлению гистерезиса в характеристиках устройств [5].

Отдельной проблемой остаётся долговременная стабильность печатной электроники. Воздействие внешней среды, включая влагу, кислород и температурные колебания, приводит к деградации органических и нанокompозитных материалов, что выражается в ухудшении электрических характеристик устройств в процессе эксплуатации и снижении их надёжности [6].

В нашей лаборатории органической наноэлектроники исследуются растворимые формы фуллеренов и полианилинов. Решение проблем печатной наноэлектроники требует дальнейшего развития материалов, оптимизации нанокompозитных систем и совершенствования технологий печати, что в перспективе позволит повысить надёжность и расширить области применения печатных электронных устройств.

Литература

1. Salikhov R.B., Zilberg, R.A., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R., Teres, Y.B. Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers //Mendelevov Communications, 2022, v. 32, № 4, pp. 520-522.
2. Latypova L.R., Andriianova, A.N., Usmanova, G.S., Salikhov, R.B., Mustafin, A.G. Influence of copolymer composition on the properties of soluble poly (aniline-co-2 [2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl] aniline)s // Polymer International, 2023, v. 72, № 4, pp. 440-450.
3. Sadretdinova Z.R., Akhmetov, A.R., Salikhov, R.B., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R. 1, 2, 3-Triazolylfullerene-based n-type semiconductor materials for organic field-effect transistors // Mendelevov Communications, 2023, v. 33, № 3, pp. 320-322.
4. Salikhov R.B., Mustafin, A.G., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R., Andriianova, A.N., Latypova, L.R., Sharafullin, I.F. Photoconductivity of thin films obtained from a new type of polyindole //Materials, 2021, v. 15, № 1, pp. 228.
5. Crispin R., Zozoulenko I. Hall measurements reveal band-like transport in high-mobility solution-processed organic semiconductor films //National Science Review, 2024, v. 11, № 8, pp. nwae266.
6. Pais N., Shirodkar M.J., Bhagavath P. Metal oxide doped organic thin film transistors: a comprehensive review //Materials Advances, 2025, v. 6, № 19, pp. 6664-6681.

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

ПРОБЛЕМЫ ГАЗОВЫХ НАНОСЕНСОРОВ

На примере исследований углеродных нанотрубок (УНТ), композитов $\text{SnO}_2/\text{УНТ}$ рассматриваются ключевые аспекты: селективность, стабильность, энергоэффективность, рабочая температура и токсичность материалов [1]. Разработка газовых наносенсоров имеет первостепенное значение для экологического надзора, обеспечения безопасности на производстве и точной медицинской диагностики.

Одной из ключевых проблем в разработке газовых сенсоров является их недостаточная способность различать отдельные газы. В работе [1] показано, что путем изменения соотношения компонентов в нанокompозите (многостенных УНТ) / SnO_2 и регулирования рабочей температуры можно добиться селективности к конкретным летучим органическим соединениям.

Авторы [2] подчеркивают, что стабильность датчика имеет первостепенное значение для получения повторяемого отклика, а также отмечают влияние способа интеграции рецептора с преобразователем на электронные процессы.

Перспективными подходами к решению проблем являются создание гибридных нанокompозитов с контролируемым гетеропереходом, использование каталитических добавок (Pd, Pt, Ru) и применение нанопористых подложек для оптимизации тепловых режимов работы сенсора. Также перспективны сенсоры на основе нанокompозитов с применением органических материалов [3].

Литература

1. Арутюнян В.М. Газовые и био-сенсоры из оксидов металлов, легированных углеродными нанотрубками // Известия НАН Армении, Физика, 2022, т. 57, № 1, с. 76-108.
2. Таратын И.А., Реутская О.Г., Горох Г.Г., Сердюк И.В., Федосенко В.С. Газочувствительные характеристики маломощных полупроводниковых газовых сенсоров при воздействии CO и H_2 // Приборы и методы измерений, 2024, т. 15, № 1, с. 18-29.
3. Salikhov R.B., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R. Electronic gas sensors based on polymer and nanocomposite materials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2025, т. 89, № 3, с. 386-390.

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Наиболее подробно изученной проблемой создания аппаратуры для искусственного интеллекта является не просто миниатюризация транзисторов, а более широкая задача построения вычислительных систем, способных эффективно, надежно и в нужном масштабе поддерживать работу все более крупных моделей. Проблемы вызывает полный аппаратный стек – производство полупроводников, корпусирование чипов, пропускная способность памяти, интерконнекты, отвод тепла, подача питания и устойчивость цепочек поставок.

На Китай приходится более 90% переработки и производства редкоземельных элементов, что создает стратегические уязвимости для других стран [1]. Создание аппаратуры для ИИ – это не просто задача «сделать транзистор меньше». Это системная проблема на стыке материаловедения, схемотехники и архитектуры [2].

Главные направления развития создания аппаратуры сегодня связаны с созданием компонентов, которые объединяют широкий набор функций, малый вес, гибкость и дешевизну. Одним из ключевых элементов здесь выступают органические полевые транзисторы (ОПТ, OFET), составляющие основу гибкой электроники [3].

Литература

2. Dave B. B. Geo-politics of rare earth elements: Assessing the influence of foreign direct investment, trade agreements, and environmental policies on rare earth elements: Production and global trade // *The Clarion – International Multidisciplinary Journal*, 2025, pp. 1-17.

2. Chouksey A., Rajan A. K., Gurjar V., Tiwari R., Mishra P. K. The green paradox: The climate, environmental, and sustainability implications of artificial intelligence // *Global Environmental Change Advances*, 2026, №6, pp. 1-9.

3. Салихов Р., Муллагалиев И., Остальцова А., Салихов Т. Тонкопленочные органические транзисторы на основе полиэлектролитного комплекса хитозана с добавлением углеродосодержащих наполнителей // *Вестник Башкирского университета*, 2025, v. 30, №. 3. pp. 114-121.

РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК И ПОРОШКОВ ПОЛИАНИЛИНОВ

Рамановская спектроскопия является одним из ключевых методов при исследовании молекулярной структуры различных форм проводящего полимера полианилина (PANI), включая тонкие пленки, порошки и нанотрубки [1]. Данный метод позволяет детально характеризовать структуру полимерной цепи, уровень допирования, типы носителей заряда (поляроны и биполяроны). Полианилин активно исследуется для применения в электронике и сенсорике [2].

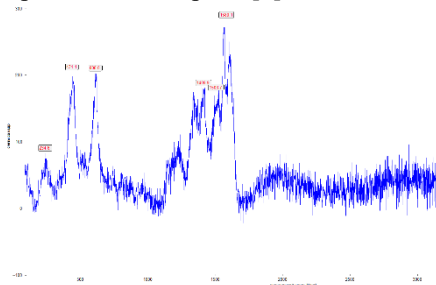


Рис. 1. Рамановский спектр порошка полианилина

Для тонких пленок полианилина, осажденных на различные подложки (золото, кремний, ITO-стекло), спектры комбинационного рассеяния демонстрируют характерные полосы, положение и интенсивность которых зависят от химического состояния полимера и условий его синтеза. Анализ спектров показывает, что на подложке собираются пленки на основе полианилина после термического напыления в вакууме.

Литература

1. Некрасов А.А., Якобсон О.Д., Грибкова О.Л. Особенности применения метода спектроскопии комбинационного рассеяния при исследовании электросинтеза полианилина в среде полимерных кислот // Электрохимия, 2019, Т. 55, № 11, С. 1327-1336.
2. Salikhov R.B., Andrianova A.N., Petrov I.S., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Mustafin A.G. Fluorescence and photoconductivity of thin films based on poly-2-(1-methylbut-2-en-1-yl)aniline // Letters on Materials, 2024, v. 14, № 2 (54). pp. 113-118.

© Гарипова Д.Р., Муллағалиев И.Н., 2026

СОЗДАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОНА

Тонкие пленки на основе тугоплавких материалов обладают высокой термической стабильностью, сопротивлением диффузии и хорошими электрическими характеристиками. К таким материалам относятся не только чистые металлы, а также нитриды переходных металлов [1]. Магнетронное напыление это низкоэнергетическое нанесение атомов на подложку – важно для создания электродов органических транзисторов [2].

В данной работе методом магнетронного напыления на подложки ситалла были нанесены кобальт и никель (рис. 1).

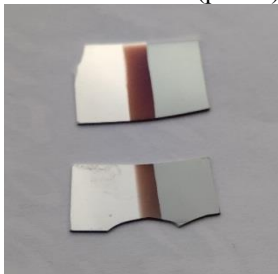


Рис. 1. Фото созданных тонких пленок кобальта и никеля, темная часть это пленки перекрывают друг друга

Для напыления кобальта можно использовать импульсный режим работы блока питания магнетрона. Необходимое условие не менее 200 Вт мощности блока питания и определённый расход газа аргона.

Литература

1. Dhanaraj R. et al. Structural properties of TiN thin films prepared by RF reactive magnetron sputtering //Materials Today: Proceedings, 2021, v. 36, pp. 146-149.

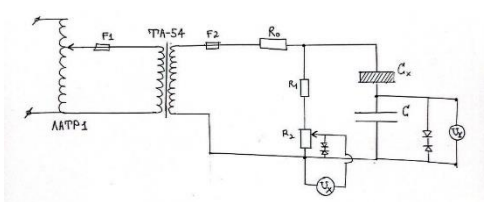
2. Akhmetov A.R., Aminov R.I., Sadretdinova Z.R., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. Synthesis of c60 fullerene hexakis adducts based on strained polycyclic hydrocarbons and their application in organic electronics //Chemistry Proceedings, 2023, v. 14, № 1, pp. 68.

© Габбасов Б.А., Муллағалиев И.Н., 2026 г.

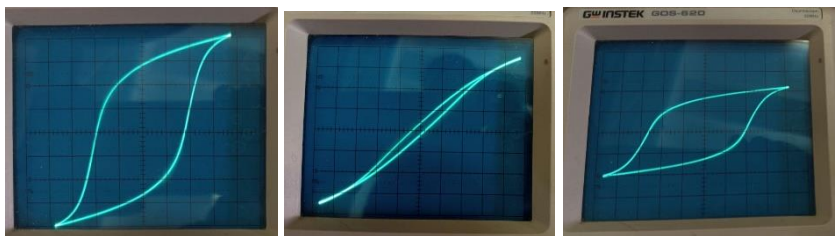
ИЗУЧЕНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ С ПОМОЩЬЮ СХЕМЫ СОЙЕРА-ТАУЭРА

Сегнетоэлектричество – явление возникновения в определённом интервале температур спонтанной поляризации в кристалле, даже в отсутствие внешнего электрического поля, которая может быть переориентирована его приложением. При наложении электрического поля поляризация P сегнетоэлектрика меняется. В полярной фазе она складывается из спонтанной поляризации P_s , не зависящей от поля E , и индуцированной поляризации P_i . Связь между P и E нелинейна.

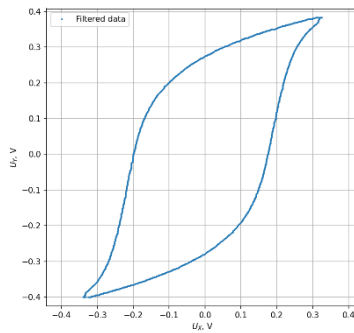
Нами были исследованы три образца сегнетоэлектриков PMN-PT (магнониобат-титанат свинца) на установке, работающей по схеме Сойера-Тауэра [1], [2]. Ниже приведены фото и схема установки.



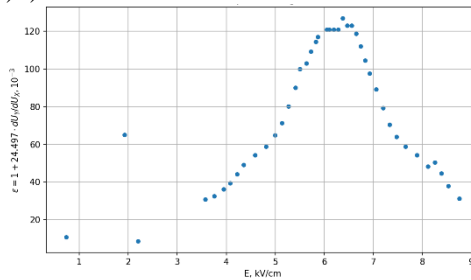
Полученные на экране осциллографа петли гистерезиса для трёх разных образцов:



Графики были оцифрованы с использованием Python. Например, для образца №1 при $U_F=150$ В:



Численно определив коэффициент наклона графика $U_X(U_Y)$ в каждой точке, строим график зависимости $\epsilon = 1 + 4\pi \frac{dP}{dE}$ от E , где $dP/dE = (CR_2d)/(R_1 + R_2)S$.



Вблизи $E_{сог}$ (коэрцитивной силы) виден максимум, как и ожидалось из графика петли гистерезиса. Полученные значения и качественный график говорят о сильной нелинейности диэлектрических свойств. Большие значения диэлектрической проницаемости являются хорошим подспорьем для различных приложений.

Схема Сойера-Гауэра подтвердила свою работоспособность, что позволяет с помощью довольно простого оборудования исследовать различные материалы. В дальнейшем планируется изучение температурных зависимостей параметров материала.

Литература

1. Sinha J K. Modified Sawyer and Tower circuit for the Investigation of ferroelectric samples. J. Sci. Instrum. 42, 696 (1965)
2. Das S.C., Shahee A., Lalla N.P., Shripathi T. (2009). A simple and low cost Sawyer-Tower ferro-electric loop tracer with variable frequency and compensation circuit. Proc. 54th DAE Solid State Physics Symposium 439-440 (2009).

© Фазуллин А.З., 2026

ПОСТРОЕНИЕ УМНОГО ДОМА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИК ХОЛЛА

Современный мир требует непрерывного развития технологий, особенно в области Умного дома, что делает этот проект весьма актуальным и значимым. Вот несколько основных аспектов актуальности данного проекта: повышенный интерес к умным решениям для безопасности и управления ресурсами. Общие недостатки аналогов: ограниченный диапазон действия, зависимость от энергопитания, огромная цена, закрытая экосистема и габариты. Изначально найти выход из ситуации пытались с помощью внедрения соответствующих проводных датчиков и исполнительных устройств. Но, как показала практика, такие автоматизированные системы стоят недешево и, к тому же, монтаж таких датчиков – дополнительный ущерб, что влечет за собой увеличение затрат. Справиться с поставленной задачей помогут решения Интернета вещей – LoRaWaN [1–5].

Многие производители предлагают датчики холла использующие различные технологии связи (обычно WiFi или ZigBee), например Bega Smart-MC0101 [6]. Проводные Zigbee решения от компании TuYa Zigbee Devices, мы же предлагаем создать более мобильные и малопотребляющие.

В своей разработке построения умного дома с использованием датчика Холла я использую технологию связи LoRaWAN, что позволяет снизить энергопотребление и сделать компактное устройство для мониторинга положения открытия/закрытия. Преимуществом моего проекта является то, что он имеет низкую себестоимость, низкое энергопотребление, малые габариты. Моя разработка предлагает пользователям мониторить позиции ОТРЫТО/ЗАКРЫТО для окон/дверей в реальном времени.

Я разработал устройство работающее на стандартном батарейном питании ВН-18650 с форм фактором АА (рис.1). Использовал микроконтроллер STM32L072KZ, датчик холла DRV5032FCDBZR, а также приёмопередатчик RAK3172-T-8-SN-I. Благодаря энергоэффективным компонентам устройство может работать от батареи достаточно долго. Устройство находится в глубоком сне и просыпается

только тогда, когда приходит сигнал с датчика холла, это позволяет экономить энергию, что делает проект низко-энергопотребляющим.

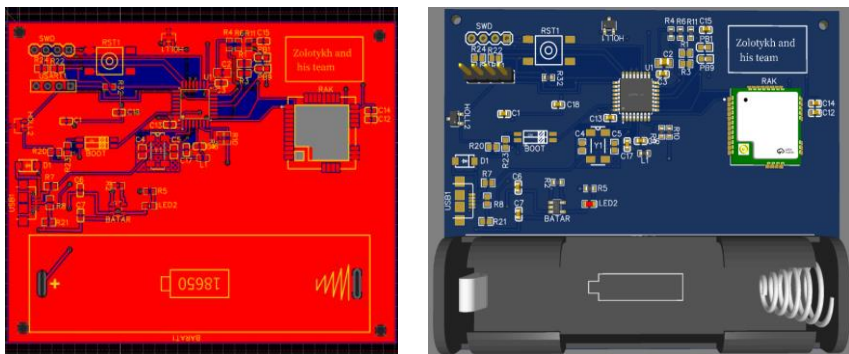


Рис. 1. Черновая разработанная конструктивная часть устройства

Такое устройство может точно определять положение открыто/закрытия окон или дверей. Это особенно полезно в случае отъезда из дома или жилья человека в большом пространстве. Также это полезно для больших зданий, торговых центров, больниц и других мест, где тяжело обращать внимание на положение открытия и закрытия дверей или окон.

Литература

1. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Safargalin I.N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. V. 2096. No. 1. P. 012109
2. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Yumalin T.T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2021. P. 229-233.
3. Abdrakhmanov V.K., Salikhov R.B., Zinnatulina A.A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.
4. Abdrakhmanov V.K., Salikhov R.B., Popov S.A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. V. 2096. №. 1. P. 012098.
5. Abdrakhmanov, V. Kh., Salikhov, R.B., Vazhdaev, K.V. (2018, October). Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects. In Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2018 15th International Scientific-Technical Conference on (Vol. 1, pp. 170-173). IEEE.

6. Bega Smart-MC0101. Access mode:
<https://iotvega.com/content/ru/smart/mc0101/ava.jpg>

© Золотых Я.В., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 618.518.3

Закиров Д.А.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

АВТОНОМНОЕ УСТРОЙСТВО ГОЛОСОВОГО ВВОДА-ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ НА LORAWAN

В современном мире необходимо непрерывное развитие технологий. Сейчас популярны направления устройств автономного голосового ввода информации с использованием искусственного интеллекта. На рынке не предоставлены прямые аналоги моего устройства, ближайшие к ним это Plaud NotePin – продвинутый AI-диктофон и умные станции от Яндекса [1,2]. Их недостатками является узконаправленная работа, работа от сети и необходимость Wi-Fi.

Я предлагаю разработку автономного устройства с батарейным питанием, которое будет работать за счет малопотребляющей технологии связи LoRaWAN. Оно будет использовать искусственный интеллект прямо на устройстве и передавать уже обработанную информацию.

Я поставил себе техническое задание, что устройство должно быть класса А, работающее от батарейного питания. Также необходимо использовать цифровой микрофон и аудио-звуковой ЦАП.

Для своей работы, я использовал малопотребляющий микроконтроллер со встроенным фильтром DFSDM. Я начал разработку конструктивной части печатной платы. Использовал микроконтроллер STM32L476RGT6 и цифровой микрофон MP34DT01TR. Также в моей работе использовался приёмопередатчик RAK3172-T-8-SN-I, работающий на технологии связи LoRaWAN, поскольку она позволяет понизить энергопотребление. Благодаря энергоэффективным компонентам устройство может работать от батареи достаточно долго. Реализация ИИ в моем проекте возможно благодаря решению от фирмы STM [3].

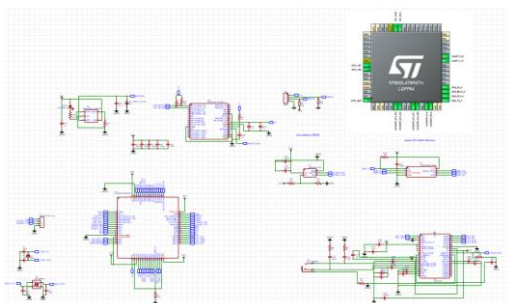


Рис. 1. Черновой вариант схемы конечного устройства

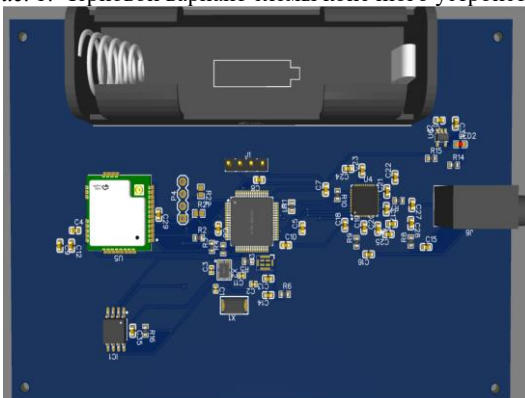


Рис. 2. Черновой вариант печатной платы конечного устройства

В настоящий момент разрабатываю программное обеспечение на базе отладочной платы Discovery STM32L476 с цифровым микрофоном и аудио-звуковым ЦАП [4].

Устройство предполагается использовать на крупных предприятиях для голосового управления оборудованием и передачи голосовой информации другому пользователю, поскольку в современных условиях из-за неполадок в средствах связи имеются проблемы.

В результате своей работы я провел анализ рынка, нашел аналоги и выделил их недостатки. На основе анализа аналогов и технического задания были выбраны ключевые компоненты, собрал схему, спроектировал печатную плату и выбрал корпус исходя из размеров получившейся платы. Рассчитал стоимость компонентов, корпуса, изготовления и итоговую стоимость производства данного устройства.

Литература

1. Plaud NotePin. Режим доступа: <https://www.dns-shop.ru/product/77bfb9616a8d582/ii-diktofon-plaud-notepin/>
2. Яндекс станция Миди. Режим доступа: <https://www.dns-shop.ru/product/e498e4397a02ed20/umnaa-kolonka-andeks-stancia-midi-cernyj/>
3. STMicroelectronics – STM32 model zoo services. Режим доступа: <https://github.com/STMicroelectronics/stm32ai-modelzoo-services/blob/main/README.md>
4. Discovery STM32L476. Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/457/DOC001457322.pdf>

© Закиров Д.А., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 681.518.3

Юсупова К.З.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Абдрахманов В.Х.
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТОРГОВОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IOT

С каждым годом благодаря технологиям интернет вещей и обработки больших данных становится все больше возможностей для автоматизации, что позволяет ускорить процессы, а также сделать их точнее и эффективнее [1–5].

Является актуальным проект по автоматизации учета энергоресурсов в торговом комплексе (ТК) для решения проблемы больших финансовых расходов на обслуживание ТК, отсутствие единой автоматизированной системы по сбору и учёту энергоресурсов (вода и электричество), бесконтрольное и нерациональное использование энергоресурсов, воздействие человеческого фактора при передаче данных, дополнительные затраты на ручной труд, отсутствие контроля оплаты ресурсов, отсутствие механизма воздействия на должников. Необходимо реализовать следующие задачи: автоматизация сбора и учёта энергоресурсов, сокращение издержек на «ручной труд», обеспечение арендаторов достоверной информацией по расходам ресурсов в режиме онлайн, снижение расходов на эксплуатацию.

Многие производители предлагают конвертеры для автоматического сбора показаний с приборов учета, использующие различные технологии связи (обычно WiFi или ZigBee), мы же предлагаем создать более мобильные и малопотребляющие [6-7].

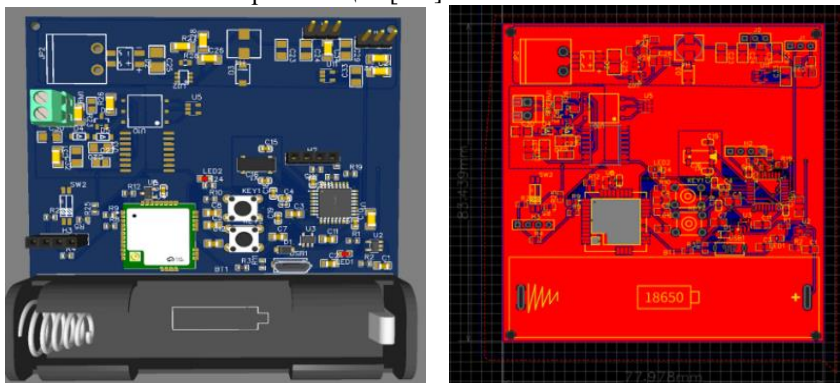


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант печатной платы

Для считывания показаний с энергосчетчиков требуется использование протокола ModBus-RTU RS485. Я разработала устройство, которое может работать с устройствами ModBus через связь LoRaWAN. Устройство может работать либо от стационарного питания с непрерывным мониторингом ModBus-устройств, либо на батарейном питании. Для этого используется малопотребляющий микроконтроллер, который будет с определенной периодичностью опрашивать энергосчетчики и другие ModBus-устройства и большую часть времени находиться в спящем режиме.

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM // Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - No 1. - С. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller // 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 229-233. EDN: LAWPLM0
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology // 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 234-238.

4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. – № 1. - С. 012098.

5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдаяв К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.

6. Vega СИ-13-485 - конвертер RS-485 LoRaWAN // ВЕГА абсолют URL: https://iotvega.com/product/si13_485 (дата обращения: 29.12.2025).

7. Vega M-BUS-2 - конвертер M-BUS LoRaWAN® // ВЕГА абсолют URL: <https://iotvega.com/product/mbus2> (дата обращения: 29.12.2025)

© Юсупова К.З., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 632.221.21

Урвачев М.А.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

УМНЫЙ ДОМ НА БАЗЕ LORAWAN: ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Внедрение LoRaWAN-совместимых датчиков температуры и влажности в «умные дома» – это шаг навстречу глобальному тренду цифровизации городской среды. Эти сенсоры отвечают насущным потребностям в безопасности, улучшении здоровья и ускорении технологического прогресса, открывая путь к созданию более экологичных, энергоэффективных и адаптивных пространств для жизни. Мониторинг влажности и температуры критически важен для таких сфер, как фармацевтика, пищевая промышленность и метрология, делая эти датчики ключевыми элементами современных IoT-решений и концепции «умного дома», которую эффективно реализует LoRaWAN [1-3].

Хотя на рынке представлено множество датчиков температуры и влажности с различными технологиями связи (Wi-Fi, ZigBee, например, Vega SMART-UM0101[2], Zigbee), наш проект фокусируется на создании более мобильных и энергосберегающих решений.

Мы уже провели анализ актуальности темы, изучили существующие аналоги, выбрали необходимые компоненты – микроконтроллер, датчики, средства связи. Разработан первый эскиз схемы и печатной платы, а также проведена предварительная оценка стоимости

комплектующих и сборки. Технологии Интернета вещей, включая «умный дом», стремительно развиваются. В основе нашей системы – малопотребляющий микроконтроллер STM32L072KZT6 с оптимальным набором портов (USB, UART). Для измерения температуры и влажности выбран SHT30-DIS-B. Питание будет осуществляться от стандартной батареи 18650 с интегрированной цепью заряда и сверхнизкопотребляющим стабилизатором MC78LC33NTRG. Связь обеспечит модуль RAK811 с поддержкой LoRaWAN. Это позволит устанавливать датчики в самых разных местах – от гостиничных номеров до бассейнов. LoRaWAN гарантирует надежную передачу данных на большие расстояния при минимальном энергопотреблении. Устройство будет универсальным и автономным. В итоге, наша система предлагает эффективные решения для оптимизации ресурсов, повышения безопасности в домах и на предприятиях [4-7].

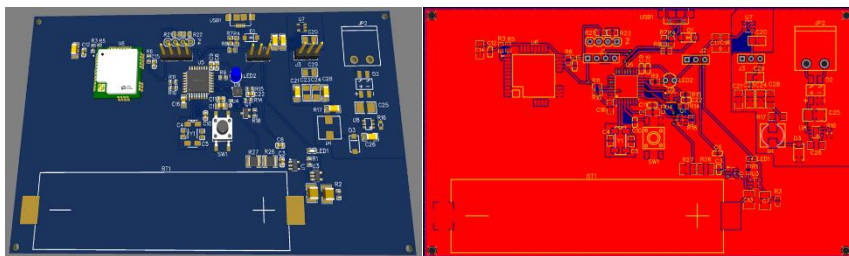


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант печатной платы

Литература

1. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Safargalin I.N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - No. 1. - С. 012109.
2. Vega датчик Vega SMART-UM0101 [Электронный ресурс] -Режим доступа <https://iotvega.com/product/ss0102>
3. Ozon датчик качества воздуха Zigbee [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.ozon.ru/product/datchik-kachestva-vozduha-zigbee>, для доступа к информ. ресурсам требуется авторизация
4. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Yumalin T.T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 229-233. EDN: LAWPLM0
5. Yumalin T., Salikhov R., Salikhov T. Sustainable production: Leveraging energy-efficient data exchange protocols //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 542. – С. 01005.

6. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - № 1. - С. 012098.

7. Ilyas M., Mahgoub I. Smart Dust: Sensor network applications, architecture and design. – CRC press, 2018.

© Урвачев М.А., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 618.518.3

Таланкина А.Р.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

УЧЕТ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LoRaWAN

Интернет вещей (IoT) представляет собой ключевую технологию для оптимизации процессов в различных отраслях, позволяя собирать и анализировать данные в реальном времени, что способствует повышению эффективности и снижению затрат. Современные исследования показывают, что интеграция IoT в производственные цепочки и городскую инфраструктуру открывает новые горизонты для инновационных решений и улучшения качества жизни. [1–4].

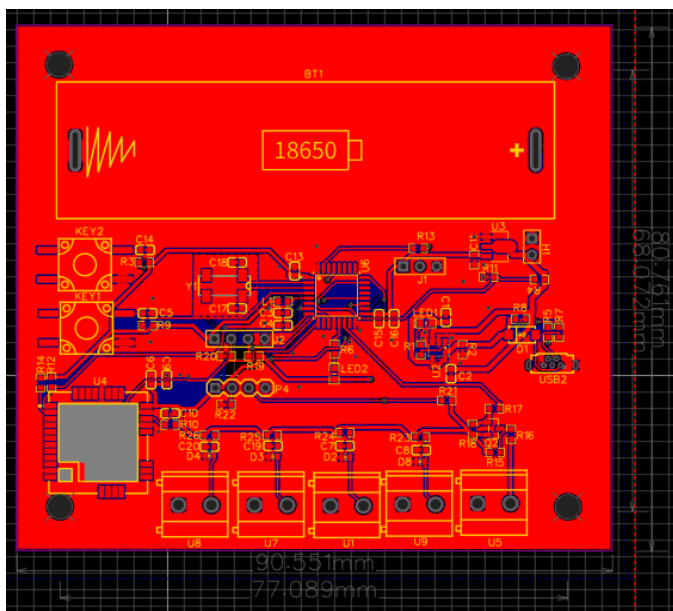
На рынке представлены промышленные аналоги, такие как счетчик импульсов EM300-DI от Milesight и интеллектуальные водомеры от GAOTek и JDWaterMeter [6-7]. Данные устройства используют технологии LoRaWAN и NB-IoT, однако имеют высокую стоимость и закрытую архитектуру, что ограничивает возможности их кастомизации. Кроме того, NB-IoT решения зависят от покрытия сотовых сетей, а некоторые модели требуют полной замены узла учета, что усложняет модернизацию существующих систем [4–8].

В рамках разрабатываемого проекта применяется низкопотребляющий микроконтроллер STM32L072KZT6 в сочетании с модулем связи RAK811. В отличие от стандартных решений, в данном устройстве предусмотрен внешний модуль реального времени (RTC), который подключается через шину I2C. Это обеспечивает высокую точность работы и позволяет избежать зависимости от режимов энергосбережения микроконтроллера. Для передачи данных используется энергоэффективная сеть LoRaWAN класса А. Устройство большую часть времени функционирует в режиме глубокого сна, активируясь по сигналу

от внешнего RTC или при срабатывании охранных датчиков (GPIO EXTI). Питание осуществляется от аккумулятора формата 18650 с емкостью 3000 мАч.

Цикл работы устройства следующий: импульсы от водосчетчика поступают на вход таймера LPTIM1, который производит подсчет в спящем режиме без участия ядра. Накопленные данные сохраняются в энергонезависимой памяти EEPROM (буфер на 200 пакетов) и передаются на сервер Rightech.io с интервалом 5–10 минут.

Конструктивно устройство реализовано в унифицированном корпусе G212 (115×90×55 мм), габариты которого соответствуют разработанной печатной плате и позволяют установку герметичных разъемов. Полная стоимость реализации проекта, включая производство плат, компоненты и корпус, составляет 3152 рубля, что значительно ниже рыночных.



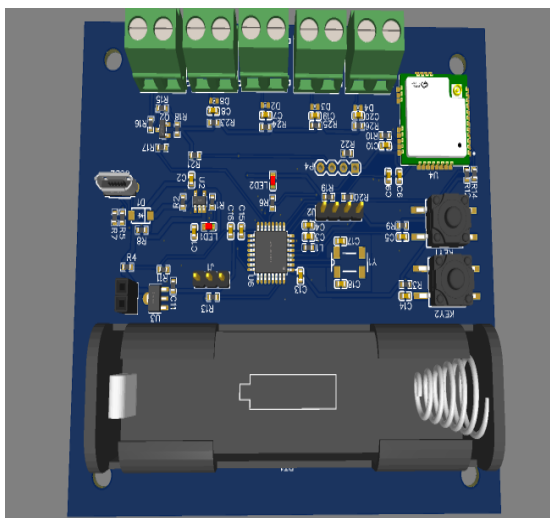


Рис. 16. Черновая разработанная конструктивная часть устройства

Литература

1. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Safargalin I.N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. V. 2096. No. 1. P. 012109
2. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Yumalin T.T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2021. P. 229-233.
3. Abdrakhmanov V.K., Salikhov R.B., Zinnatulina A.A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.
4. Abdrakhmanov V.K., Salikhov R.B., Popov S.A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. V. 2096. № 1. P. 012098.
5. Abdrakhmanov, V. Kh., Salikhov, R. B., Vazhdaev, K. V. (2018, October). Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects. In Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2018 15th International Scientific-Technical Conference on (Vol. 1, pp. 170-173). IEEE.
6. EM300-DI LoRaWAN Pulse Counter [Электронный ресурс] // Milesight IoT. – URL: <https://www.milesight.com/iot/product/lorawan-sensor/em300-di>

7. Advanced NB-IoT 4G Water Meter with Remote Monitoring [Электронный ресурс] // GAOTek. – URL: <https://gaotek.com/product/advanced-nb-iot-4g-water-meter-with-remote-monitoring-gaotek/>

8. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.

© Таланкина А.Р., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 681.518.3

Шагапов И.И.,
студент 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

«РАДИОНЯНЯ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОТ

В условиях роста требований к безопасности и комфорту детей разработка современных систем удаленного мониторинга [1-5] является важной задачей. Традиционные радио-няни обладают ограниченным радиусом действия, зависимостью от качества радиоканала и часто лишены возможности видеонаблюдения.

Для лучшего понимания данной темы рассмотрим следующие примеры. Alcatel Baby Link 160 — современное IoT-устройство, которое подключается к сети Wi-Fi и передает данные на смартфон родителей. Это уже не просто радио-няня, а многофункциональный монитор с возможностью удаленного контроля через приложение, видео аналитикой и интеграцией в экосистему умного дома. Высокая технологичность рождает принципиально новые риски: зависимость от инфраструктуры (интернет, серверы), угрозы приватности и появление задержки сигнала. Это не просто радио-няня, а сложное электронное устройство со всеми его потенциальными сбоями [6].

Также можно рассмотреть следующую модель радио-няни Maman VM2300 цифровая радио-няня с поддержкой двусторонней связи (обратная аудиосвязь). Часто оснащена дополнительными функциями, такими как ночник, колыбельные и датчиком температуры, то есть базовым набором необходимым для простейшей радио-няни. Представляет собой компромисс между простотой и расширенными возможностями. [7].

При использовании технологий интернета вещей (IoT) позволяет преодолеть эти ограничения, обеспечивая очень надежный и много функциональный мониторинг.

Для разработки макетного образца была выбрана отладочная плата Discovery STM407F4VET6 и камера OV7670, предлагается использовать сеть LoRaWAN. Устройство будет срабатывать по инфракрасному датчику присутствия и сохранять данные на SD карту, будет применяться встроенная нейронная сеть для распознавания образов на STM32 [4], а также предполагается для распознавания плача ребенка. Через сеть LoRaWAN будут передаваться результаты распознавания. Также была разработан черновой вариант печатной платы устройства, который приведен на рис. 1.

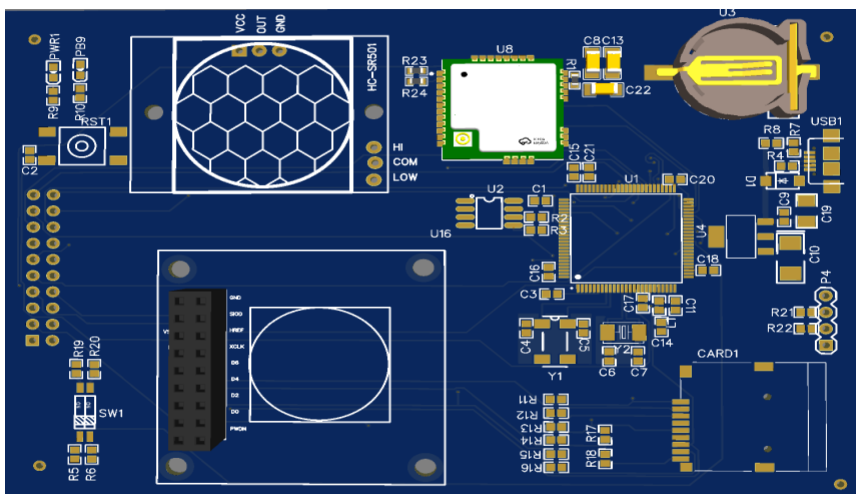


Рис. 1. Разработанная конструктивная часть в виде 3D

Литература

1. Abdrakhmanov, V.Kh., Salikhov, R.B., Vazhdaev, K.V. (2018, October). Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects. In Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2018 15th International Scientific-Technical Conference on (Vol. 1, pp. 170-173). IEEE.
2. STMicroelectronics – модельный ряд STM32 Режим доступа: [https:// github.com/ STMicroelectronics/stm32ai-modelzoo-services /blob/main /README.md](https://github.com/STMicroelectronics/stm32ai-modelzoo-services/blob/main/README.md).
3. Research on the Feasibility of Implementing Precision Positioning Technology Abdrakhmanov V.Kh., Vazhdaev K.V., Salikhov R.B.

Electrotechnical and Informational Complexes and Systems. 2019. Vol. 15. No. 3. P. 118-129.

4. Режим просмотра: https://huggingface.co/STMicroelectronics /face_detect_front.

5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдаяв К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.

6. Alcatel Baby Link 160. Режим доступа: <https://www.technopark.ru/radionyanya- alcatel -baby-link-160>.

7. Maman BM2300. Режим доступа: <https://www.mvideo.ru/products/radionyanya -maman-bm230050102491>.

© Шагапов И.И., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 618.518.3

Садрук А.В.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Абдрахманов В.Х.
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗВЕРТЫВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ ПУНКТОВ КОНТРОЛЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

В условиях стремительной климатической трансформации криолитозоны деградация вечномёрзлых грунтов перестала быть гипотетическим сценарием и превратилась в ежегодную оперативную угрозу для устойчивости северных территорий. Существующие методы мониторинга - основанные на эпизодических полевых замерах, точечных наблюдениях и косвенных данных - более не отвечают требованиям точности, оперативности и пространственного охвата, необходимым для прогнозирования опасных процессов. Это создает критические «слепые зоны» в управлении рисками, приводя к непредвиденным авариям инфраструктуры (разрушению фундаментов, деформациям дорог и трубопроводов), высвобождению значительных объемов метана и углекислого газа, а также к непредсказуемым изменениям ландшафтов и гидрологического режима.

В этой связи остро необходима принципиально новая технологическая платформа, способная обеспечить непрерывный, синхронный, многоточечный и автономный мониторинг температурных полей в массиве мёрзлых пород. Разрабатываемая беспроводная система

термометрических пунктов контроля призвана стать именно такой платформой. Она позволяет получать распределённые высокоточные данные о тепловом состоянии грунта по глубине с привязкой к географическим координатам, формируя тем самым цифровую динамическую модель термического режима на контролируемой территории.

В области IoT и встраиваемых систем [1, 2, 5], видим устойчивый тренд на конвергенцию технологий. Разработанный опыт создания систем безопасности на ESP32-CAM [1] и энергоэффективного обмена данными на BLE [2] логично дополняется построением комплексных экологических мониторинговых сетей [5]. Это создает прочный фундамент для дальнейших работ, в том числе с использованием современных средств проектирования [4] и методов точного позиционирования [3], для создания интеллектуальных распределенных систем следующего поколения.

Я разработал устройство работающее на стандартном батарейном питании ВН-18650. Использовал микроконтроллер STM32L072KZT6, датчик **DS18B20**, а также приёмопередатчик RAK3172. Благодаря энергоэффективным компонентам устройство может работать от батареи достаточно долго. В ходе разработки я нашел аналоги **CR1000X** - высокопрочные программируемые логгеры с широкими возможностями, и **АСТ-2М** - отечественные специализированные термометрические станции для контроля мерзлых грунтов [6,7], выявил их недостатки и плюсы моей разработки на их фоне

Мой проект работает так: находится в спящем режиме, потом включается по времени благодаря часам реального времени (RTC), собирает данные о температуре грунта, отправляет их на сервер и уходит в сон.

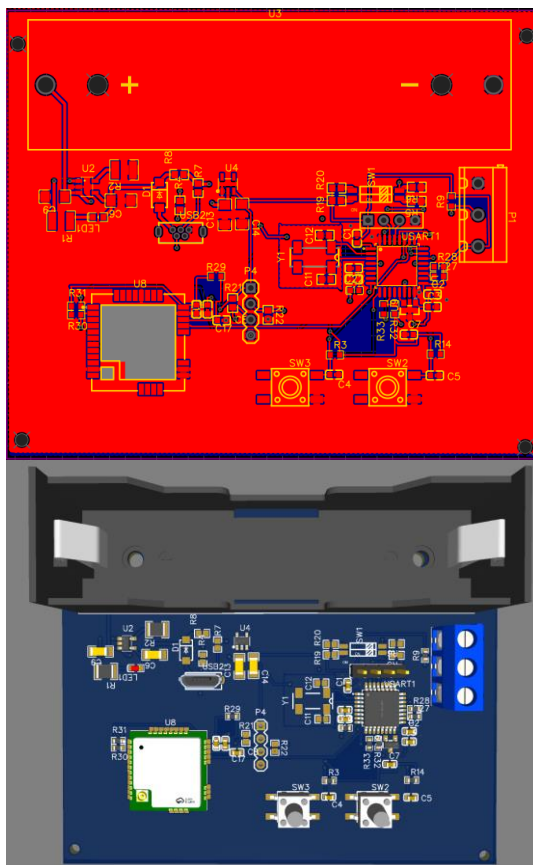


Рис. 1. Разработанная конструктивная часть устройства

Это устройство способно в полностью автономном режиме, без необходимости постоянного присутствия человека, вести непрерывный и точный мониторинг термического состояния вечномёрзлых грунтов на различных глубинах в реальном времени. Оно мгновенно передаёт собранные данные через беспроводные сети, позволяя удалённо строить детальные трёхмерные модели температурных полей, отслеживать динамику оттаивания и оперативно генерировать предупреждения об опасных изменениях под объектами инфраструктуры. Это обеспечивает принципиально новый уровень контроля и прогнозирования рисков в условиях криолитозоны, работая годами в самых суровых арктических условиях.

Литература

1. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Safargalin I.N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. V. 2096. No. 1. P. 012109

2. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Yumalin T.T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2021. P. 229-233.

3. Abdrakhmanov V.K., Salikhov R.B., Zinnatulina A.A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.

4. Abdrakhmanov V.K., Salikhov R.B., Popov S.A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. V. 2096. № 1. P. 012098.

5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242

6. Campbell Scientific (CR1000X, CR6) с цифровыми мультиплексорами и датчиками. Режим доступа: <https://www.campbellsci.com/cr1000x>

7. АйСиМ (АСТ-2М, АСТ-4). Режим доступа: <https://www.electronpribor.ru/catalog/184/ast-2m.htm?ysclid=mjmkvnso3e222013824>

© Садрук А.В., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 618.518.3

Колотов В.Н.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВИДЕОКАМЕРА С LTE-МОДЕМОМ

Данная работа посвящена разработке гибридной системы видеонаблюдения, ключевой особенностью которой является комбинированное использование каналов связи LTE и LoRaWAN. Основная цель проекта – создание устройства, способного обеспечивать надежный видео-мониторинг и интеллектуальный контроль доступа в условиях нестабильной или отсутствующей инфраструктуры сотовой

связи. Интеграция алгоритмов машинного зрения для распознавания объектов непосредственно на устройстве позволяет осуществлять не только видеозапись, но и автоматическую аналитику, минимизируя объем передаваемых данных и зависимость от постоянного облачного соединения [1–4].

Методология разработки включала несколько последовательных этапов: анализ актуальности и рыночного спроса, сравнительный анализ существующих аналогов, обоснованный подбор элементной базы (микроконтроллер, датчики, модули связи) с учетом критериев производительности, энергопотребления и стоимости. [6,7]. На основе проведенного анализа был разработан вариант электрической схемы устройства и печатная плата, а также выполнена оценка себестоимости прототипа. Разрабатываемый прототип построен на модульной архитектуре с разделением функций. В его основе – микроконтроллер STM32F407VGT6, управляющий модулем камеры OV7670 и обрабатывающий видеоданные. Для коммуникаций предусмотрены два независимых канала: высокоскоростной LTE-модем SIM7670 для передачи видео и низкоскоростной, но дальнобойный и энергоэффективный LoRaWAN-трансивер RAK3172. Датчик HC-SR501 служит для энергосберегающей активации системы по движению [5–7].

Более подробно со схемой устройства можно ознакомиться на рисунке 1. В отличие от аналогов устройство может работать либо как GSM LTE видеочамера, либо как LoraWAN видеофиксация. При работе с использованием LTE модема устройство будет постоянно передавать видеоданные в облачный сервис, где предполагается использование искусственного интеллекта для распознавания объектов. В случае использования LoraWAN устройство может сохранять данные видеофиксации на SD карточке и также, будут использоваться встроенная нейронная сеть для распознавания образов [8].

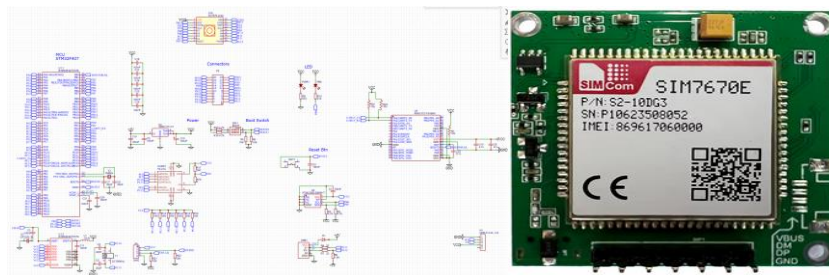


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант схемы и используемый LTE-модем

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – No 1. – С. 012109
2. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – С. 234-238.
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2096. – № 1. – С. 012098.
4. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
5. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>
6. Tiandy-IPEYE-TC-32XN-PVZ. Режим доступа: <https://sale-sb.ru/shop/2186/desc/ipeye-tc-32xn-pvz?ysclid=mjmrsw7v2ij827321261>
7. Onviz U3450. Режим доступа: <https://www.podohranoy.ru/collection/all/product/ulichnaya-kamera-onviz-u3450-provodnaya?ysclid=mjmrsw7a43762523439>
8. STMicroelectronics – STM32 model zoo services: <https://github.com/STMicroelectronics/stm32ai-modelzoo-services/blob/main/README.md>

© Колотов В.Н., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 629.221.21

Иванов В.И.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

УМНЫЙ ДОМ НА БАЗЕ LORAWAN: ДАТЧИК ДЫМА И ПЫЛИ

IoT дает возможность устройствам коммуницировать между собой и выполнять различные сценарии автоматически, что способствует созданию более удобной и эффективной среды для пользователей [1-3]. В настоящее время технологии для точного измерения пылевых частиц в воздушных массах необходимо использовать датчик пыли. Для точного измерения пылевых частиц в воздушных массах необходимо использовать

датчик пыли. Современный и функциональный датчик пыли измеряет концентрацию частиц на основе данных анализа скопления молекул веществ на определенной площади в соотношении плотности размещения. Актуальность датчика дыма и пыли обусловлена ключевыми потребностями в безопасности, здоровье и технологическом прогрессе. Раннее обнаружение дыма позволяет предотвратить крупный пожар. Мониторинг уровня пыли критически важен для здоровья, особенно в условиях плохой экологии и для людей с аллергией или астмой. Такие датчики – ключевые элементы современных IOT решений и концепции Умного дома. Все это позволяет реализовать LoRaWAN [4-5].

Многие производители предлагают датчики пыли и дыма, использующие различные технологии связи (обычно WiFi или ZigBee), например Vega SMART-SS0102, Agara JY-GZ-03AQ [6], мы же предлагаем создать более мобильные и малопотребляющие.

В настоящее время мы проанализировали актуальность темы, рассмотрели имеющиеся аналоги, подобрали компоненты системы - микроконтроллер, датчики, средства связи, разработали первый черновой вариант схемы и печатной платы, оценили стоимость комплектующих и сборки устройства. В схеме используется микроконтроллер STM32L072KZT6 малопотребляющий серии с оптимальным количеством пинов и с портами USB и UART, датчик дыма и пыли GP2Y1010AU0F-SHARP, предполагается использовать литий - ионную батарею стандартного размера 18650, цепь заряда аккумулятора, специальный линейный стабилизатор MC78LC33NTRG у которого собственное потребление тока наименьшее, модуль связи RAK811 технологии LoRaWAN.

Данные с датчиков передаются с использованием LoRaWAN, что позволяет передавать данные о концентрации пыли и дыма на большие расстояния с низким энергопотреблением. Устройство предлагается сделать универсальным, с возможностью батарейного питания, при котором устройство будет автоматически уходить в спящий режим и пробуждаться периодически от часов реального времени, что встроены в микроконтроллер.

Таким образом, наш продукт по сравнению с аналогами имеет высокую эффективность работы даже на больших расстояниях, не требует отдельного совместимого устройства и по стоимости выгоднее, чем у конкурентов. Данная система предоставляет возможности для

оптимизации работы и обеспечения безопасности на предприятиях, где важно поддерживать определенный уровень чистоты. Датчик также служит для повышения уровня комфорта простых пользователей.

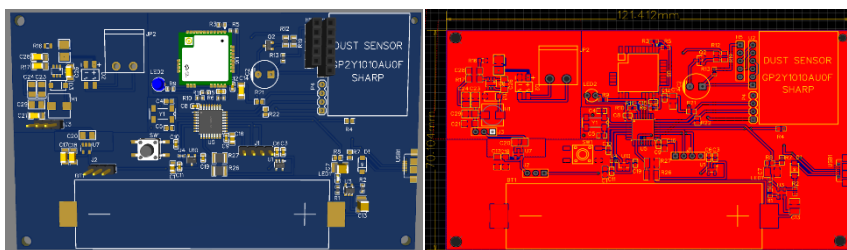


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант печатной платы

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - No 1. - С. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 229-233. EDN: LAWPLM0
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - № 1. - С. 012098.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller // Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - № 1.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242
6. Agara JY-GZ-03AQ. Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/s>

© Иванов В.И., Абдрахманов В.Х., 2026

СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОГО ЭНЕРГОУЧЕТА И МОНИТОРИНГА КОМПРЕССОРОВ

В эпоху глобальной цифровой трансформации промышленности, движимой принципами «Индустрии 4.0», ключевым источником конкурентных преимуществ становится операционная эффективность и минимизация издержек. В этом контексте энергопотребление, как одна из крупнейших статей расходов, выходит на первый план стратегического планирования. Особую актуальность приобретает мониторинг и оптимизация работы компрессорных установок - оборудования, которое является основой пневматических систем и может потреблять до 40% всей электроэнергии предприятия. Традиционные подходы к энергоучету на этом участке - будь то периодические ручные обходы с записью показаний или внедрение проводных систем сбора данных SCADA - демонстрируют свою принципиальную несостоятельность в условиях динамичного производства. Ручной метод страдает от низкой оперативности, человеческого фактора и не дает данных для глубокого анализа режимов работы, что исключает саму возможность оперативной оптимизации. Внедрение же проводных решений сопряжено с колоссальными капитальными и эксплуатационными затратами на проектирование, прокладку кабельных трасс в условиях цеха, их обслуживание и обеспечение помехозащищенности. Более того, такие системы крайне инертны и экономически неоправданны при необходимости масштабирования или реконфигурации производственных линий.

Для решения этой проблемы разрабатывается беспроводная система мониторинга на базе LPWAN-технологий. Её ядро построено на энергоэффективном микроконтроллере STM32L072KZT6 с применением протокола LoRaWAN, что обеспечивает многолетнюю автономность и надёжную связь в условиях цеха без прямой видимости [1-4]. Система агрегирует данные с импульсных выходов счётчиков или датчиков тока, передавая их для анализа, что позволяет выявлять утечки, холостой ход и оптимизировать нагрузку в реальном времени.

Анализ рыночных аналогов выявил их ограничения для данной задачи: счётчики «Меркурий» с BLE, например модель 206 Позволяют снимать показания со смартфона, но требуют непосредственного приближения оператора до 10–15 м [5]. Отсутствие автономного канала в

облако делает их непригодными для постоянного дистанционного мониторинга распределённого оборудования.

Универсальные ПЛК, например ОВЕН ПЛК100 – обеспечивают высокоскоростной сбор данных и локальную обработку [6]. Однако их работа жёстко зависит от стабильной промышленной Wi-Fi-сети и наличия питания 220В у каждого компрессора, что резко повышает сложность и стоимость развёртывания масштабируемой системы.

Специализированные сборщики данных например «ВЕГА СИ-22»: Ближайший аналог, также использующий LoRaWAN [7]. Однако для мониторинга компрессоров часто требуется расширенный функционал: прямое подключение датчиков тока, а не только импульсных входов, вычисление мгновенной мощности и более гибкая логика обработки сигналов непосредственно на устройстве.

Таким образом, разрабатываемая система, в отличие от аналогов, целенаправленно сочетает энергоавтономность и дальность связи LoRaWAN с аппаратно-программной гибкостью для комплексного мониторинга компрессоров.

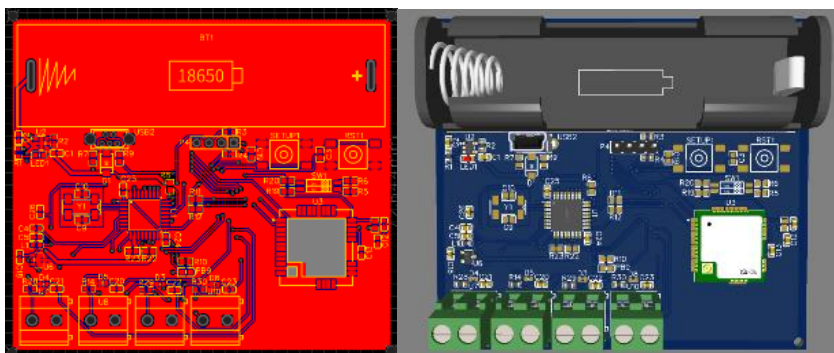


Рис. 1. Разработанная конструктивная часть устройства

Устройство подключается к счетчикам: например, через геркон или «открытый коллектор». Оно имеет 4 независимых входа, каждый из которых фиксирует электрические импульсы, возникающие при прохождении ресурсов. Полученные импульсы суммируются и сохраняются в энергонезависимой памяти устройства. С заданным интервалом от 5 минут до 24 часов – счетчик импульсов передает накопленные значения по радиоканалу в сеть LoRaWAN на базовую станцию.

Литература

1. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.K., Yumalin T.T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2021. P. 229-233.

2. Abdrakhmanov V.K., Salikhov R.B., Zinnatulina A.A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology // 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.

3. Abdrakhmanov V.K., Salikhov R.B., Popov S.A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. V. 2096. № 1. P. 012098.

4. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.П., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242

5. Счетчик Инкотекс Меркурий 206 Режим доступа: <https://owen-ufa.ru/shop/proizvoditeli/owen/plk100-220-r-l-programmiruemyj-logicheskij-ko/?etext=2202.O8->

[_QYv03_FDtipsXsohhNBdbdPRF7NaXIUIgbbbMHNmbHhqanpvamplb3pwY296.d52f99fba533f2bc7fe5bf7dafc9aa9f9299007c&yclid=13464288803253911551&ybaip=1](https://owen-ufa.ru/shop/proizvoditeli/owen/plk100-220-r-l-programmiruemyj-logicheskij-ko/?etext=2202.O8-_QYv03_FDtipsXsohhNBdbdPRF7NaXIUIgbbbMHNmbHhqanpvamplb3pwY296.d52f99fba533f2bc7fe5bf7dafc9aa9f9299007c&yclid=13464288803253911551&ybaip=1)

6. ПЛК100 ОВЕН Режим доступа: <https://owen-ufa.ru/shop/proizvoditeli/owen/plk100-220-r-l-programmiruemyj-logicheskij-ko/?etext=2202.O8->

[_QYv03_FDtipsXsohhNBdbdPRF7NaXIUIgbbbMHNmbHhqanpvamplb3pwY296.d52f99fba533f2bc7fe5bf7dafc9aa9f9299007c&yclid=13464288803253911551&ybaip=1](https://owen-ufa.ru/shop/proizvoditeli/owen/plk100-220-r-l-programmiruemyj-logicheskij-ko/?etext=2202.O8-_QYv03_FDtipsXsohhNBdbdPRF7NaXIUIgbbbMHNmbHhqanpvamplb3pwY296.d52f99fba533f2bc7fe5bf7dafc9aa9f9299007c&yclid=13464288803253911551&ybaip=1)

7. Вера СИ-22 | IOT VEGA | Счетчик импульсов | LoRaWAN Режим доступа: <https://owen-ufa.ru/shop/proizvoditeli/owen/plk100-220-r-l-programmiruemyj-logicheskij-ko/?etext=2202>.

© Иванов Е.В., Абдрахманов В.Х., 2026

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32

Потребность в автономных и надежных системах стимулирует развитие периферийного интеллекта (Edge AI), позволяющего обрабатывать данные непосредственно на устройстве без постоянного подключения к облаку [1–5].

Актуальность. В задачах, где критичны скорость отклика, конфиденциальность данных и независимость от внешней инфраструктуры, необходимо создавать локальные и недорогие системы. Готовые решения на базе платформ вроде NVIDIA Jetson [6] или Google Coral [7] часто требуют стационарного питания, обладают избыточной вычислительной мощностью и высокой стоимостью, что делает их непригодными для массовых, компактных и энергоэффективных устройств на батарейном питании.

Я решил разработать и протестировать недорогую систему на базе микроконтроллера STM32 для распознавания образов. Система должна работать без облачной инфраструктуры, используя встроенную камеру, и обходиться без постоянного сетевого подключения, что исключает проблемы с нестабильностью и задержками сети.

Анализ и адаптация нейронной сети. Подбор и адаптация архитектуры нейронной сети для работы в условиях ограниченных вычислительных ресурсов и памяти микроконтроллера с использованием специализированного программного обеспечения.

Оптимизация модели. Проведение квантования модели до формата int8 для кардинального сокращения использования памяти и ускорения вычислений.

Конвертация и интеграция. Преобразование модели с помощью фреймворка STM32Cube.AI [8] в оптимизированный код и его интеграция в прошивку микроконтроллера.

Разработка аппаратной части. Создание устройства на базе STM32: проектирование платы, подбор корпуса, интеграция модуля камеры OV7670, слота для карты памяти microSD, и организация системы питания по USB.

Результат. В рамках работы был разработан рабочий прототип на базе микроконтроллера STM32, который способен захватывать изображение с

камеры OV7670, выполнять распознавание образов (например, лиц, жестов, простых предметов) и выводить результат на TFT-экран, сохранять данные на карту microSD или передавать их по USB

Выводы. Работа доказывает, что микроконтроллеры STM32 в сочетании с методами квантования, инструментарием STM32Cube.AI [8] и глубокой системной оптимизацией, являются практичной платформой для создания доступных и энергоэффективных устройств Edge AI. Ориентировочная себестоимость решения составляет около 5000 рублей, что в 2-4 раза дешевле готовых аналогов. Этот подход открывает возможности для разработки широкого спектра недорогих устройств для промышленности, умного дома, мониторинга и IoT.

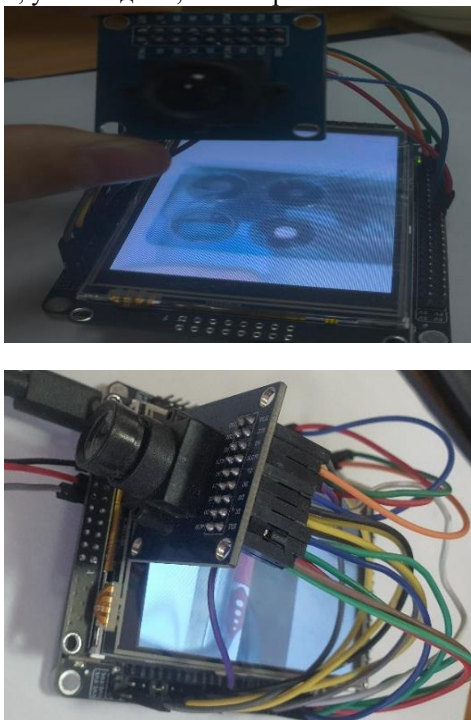


Рис. 1. Разработанный макет устройства на базе отладочной платы STM32F407 и камерой OV7670

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. V. 2096. No. 1. P. 012109

2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2021. P. 229-233.

3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.

4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. V. 2096. №. 1. P. 012098.

5. Abdrakhmanov, V. Kh., Salikhov, R. B., Vazhdaev, K. V. (2018, October). Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects. In Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2018 15th International Scientific-Technical Conference on (Vol. 1, pp. 170-173). IEEE.

6. NVIDIA Corporation. NVIDIA Jetson Linux Developer Guide [Электронный ресурс]. – Версия 35.1. – 2023. – URL: <https://docs.nvidia.com/jetson/archives/14t-archived/14t-3531/index.html> (дата обращения: 15.01.2023).

7. Google LLC. Официальный сайт платформы Coral для устройств искусственного интеллекта на периферийных вычислениях (Edge AI) [Электронный ресурс]. URL: <https://coral.ai/> (дата обращения: 15.01.2023).

8. STMicroelectronics. STM32 AI Model Zoo Services: репозиторий инструментов и сервисов для развертывания моделей ИИ на микроконтроллерах STM32 [Электронный ресурс] // GitHub. – 2023. – URL: <https://github.com/STMicroelectronics/stm32ai-modelzoo-services/blob/main/README.md> (дата обращения: 15.01.2023).

© Исламгулов Д.А., Абдрахманов В.Х., 2026

ЦИФРОВОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО НА БАЗЕ LoRaWAN

В современных условиях глобализации и нарастания экологических вызовов сельское хозяйство приобретает качественно новую роль, выступая не только фундаментальным базисом продовольственной безопасности, но и критически важным элементом экологической стабильности. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса, таким образом, эволюционирует из факультативного конкурентного преимущества для отдельных передовых хозяйств в императивную стратегическую необходимость для обеспечения устойчивого развития всего сектора. Данная технологическая платформа подразумевает формирование распределенных сетей физических объектов (сенсоров, исполнительных механизмов, контроллеров), оснащенных встроенными средствами для взаимодействия друг с другом и с централизованными аналитическими системами. Это создает основу для сквозной автоматизации процессов сбора телеметрической информации и управления производственными циклами в режиме, приближенном к реальному времени, что детерминирует скачкообразный рост операционной эффективности [1–3].

В качестве альтернативы в данной работе был избран протокол LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), который представляет собой низкоскоростной протокол дальней связи, оптимизированный для интернета вещей (IoT). Ключевые преимущества, детерминировавшие его выбор, заключаются в следующем: экстремальная дальность связи. Радиус действия между конечным устройством и шлюзом может достигать 20–40 км в условиях прямой видимости, что на порядок превосходит возможности классических беспроводных решений и делает технологию идеальной для покрытия значительных площадей сельхозугодий, включая удаленные и неосвоенные участки. Сверхнизкое энергопотребление.

Архитектурное решение системы включает в себя два ключевых аппаратных компонента, функционально интегрированных в единый информационный контур: Сканирующее устройство (Сканер). Данный модуль выполняет роль шлюза связи (gateway). Он оснащен BLE-приемником для детектирования сигналов от маяков и LoRaWAN-трансивером (на базе чипа RAK811), ответственным за ретрансляцию агрегированных данных в облачную среду. Конфигурация устройства

оптимизирована для обеспечения устойчивого покрытия и длительной автономной работы благодаря минимальному энергопотреблению. Идентификационный маяк (Маяк). Это компактное автономное устройство, предназначенное для закрепления на контролируемых объектах (персонал, сельскохозяйственные животные, специализированная техника). Его функция заключается в периодической широкополосной трансляции BLE-сигнала, содержащего уникальный идентификатор, что позволяет осуществлять его однозначную идентификацию и определение пространственных координат. Для агрегации, хранения и последующего анализа поступающих данных была задействована облачная IoT-платформа Rightech IoT Cloud (RIC). Использование данного сервиса позволило существенно упростить процесс интеграции гетерогенных устройств в систему, минимизировав необходимость разработки низкоуровневого программного кода. Совокупное взаимодействие описанных компонентов формирует целостный цифровой контур управления, ориентированный на оптимизацию операционных процессов и, как следствие, повышение рентабельности и экологической устойчивости сельскохозяйственного производства [4-6].

Таким образом, разработанное решение является не просто инструментом оптимизации, а критически важным фундаментом для построения агропродовольственной системы будущего. Формирование таких технологически совершенных моделей является императивом для гарантированного удовлетворения возрастающих глобальных потребностей в продовольственных ресурсах в условиях ограниченности природного капитала и климатических изменений. Дальнейшие исследования в данной области целесообразно направить на интеграцию платформы с системами искусственного интеллекта для развития предиктивной аналитики и полной автоматизации управления агротехнологическими циклами.

Литература

1. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology // International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE. - 2021. - с. 234-238
2. Abdrakhmanov Vali Kh., Salikhov R. B., Vazhdaev K.V. Intelligent residential zone system based on information and measurement control systems. - 2017.
3. Abdrakhmanov, V. K., Salikhov, R. B., Vazhdaev, K. V. Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the

state of biological objects // In Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). - 2018. - Т.1. - с. 170-173

4. Юмалин, Т. Т., Салихов, Р. Б., Абдрахманов, В. Х., Салихов, Т. Р., Важджев, К. В., & Мунтянова, Т. Д. (2023). Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Нефтегазовое дело. - №21(3). - с.232-242

5. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series., IOP Publishing. - 2021. - Т. 2096. - № 1. - с. 012109

6. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>

© Абдрахманов В.Х., Бурханова А.Д., 2026

УДК 618.518.3

Бочкарева В.А.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОНИТОРИНГ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LoRaWAN

Интернет вещей является перспективным направлением цифровой трансформации, обеспечивающим сбор, передачу и анализ данных от распределённых устройств в режиме реального времени. Применение IoT-технологий позволяет повысить эффективность управления процессами, снизить эксплуатационные затраты и обеспечить более высокий уровень автоматизации в различных отраслях. Актуальность внедрения подобных решений обусловлена ростом требований к надёжности и оперативности обработки информации в современных киберфизических системах. [1–4].

На рынке представлены аналоги, такие как Elitech RCW-360 [5], система INDIS [6] и СканЭйр Темп 101. Данные устройства имеют высокую стоимость внедрения, зависят от стабильности локальной IT-инфраструктуры или требуют абонентской платы за трафик в сетях NB-IoT [3-6]. Кроме того, проводные решения (RS-485) сложны в монтаже на действующих объектах. Для решений NB-IoT характерно наличие «мертвых зон» в подвальных помещениях и зависимость от удаленности вышек сотовых операторов, что делает невозможным развертывание собственной зоны покрытия [5–10].

В разрабатываемом проекте используется ультранизкопотребляющий микроконтроллер STM32L072KZT6 (архитектура Cortex-M0+) и модуль связи RAK3172. Также устройство оснащено не только интерфейсом 1-Wire для высокоточного измерения температуры, но и цифровым датчиком Холла DRV5032FCDBZR. Также предусмотрен датчик вскрытия корпуса (тампер) для защиты от несанкционированного доступа.

Питание осуществляется от литий-ионного аккумулятора формата 18650 с контроллером заряда MCP73831T. Устройство большую часть времени находится в режиме глубокого сна (Stop mode), пробуждаясь для плановой передачи показаний или экстренно – по прерыванию от охранных датчиков (GPIO EXTI).

Конструктивно устройство (Рис. 1) реализовано в компактном пластиковом корпусе G906020L (90×60×19 мм), габариты которого оптимизированы под разработанную топологию печатной платы. Полная стоимость реализации проекта, включая компоненты, плату и корпус, составляет 2478 рублей, чтократно ниже стоимости промышленных аналогов.

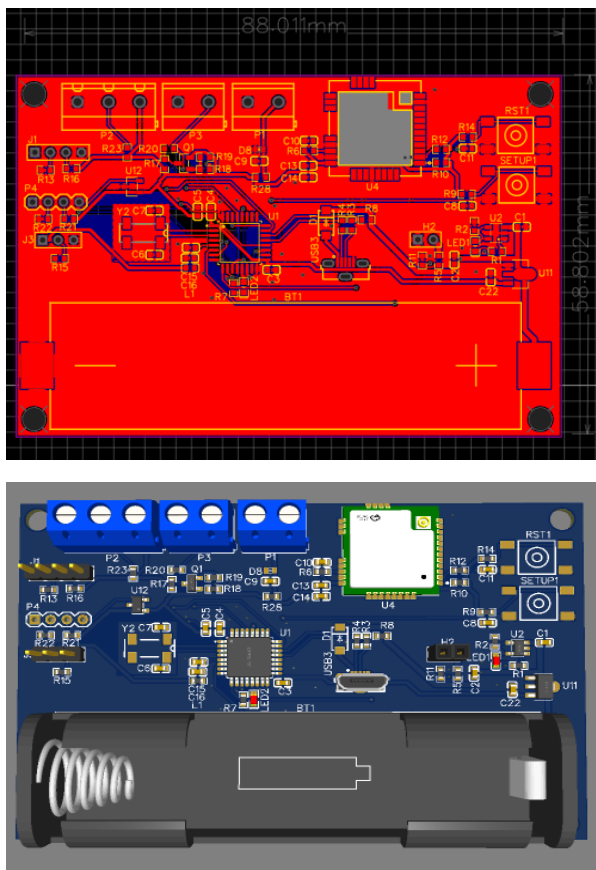


Рис. 1. Черновая разработанная конструктивная часть устройства

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. V. 2096. No. 1. P. 012109
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2021. P. 229-233.
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology // 2021

International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.

4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. V. 2096. №. 1. P. 012098.

5. Elitech RCW-360 PLUS TH WiFi [Электронный ресурс] // Терморегистратор. – URL: <https://termoregistrator.com/product/elitech-rcw-360-plus-th-wifi/>

6. Система мониторинга холодильного оборудования INDIS [Электронный ресурс] // INDIS. – URL: <https://indis.ru/lookbooks/monitoring-kholodilnogo-oborudovaniya/>

7. Abdrakhmanov, V. Kh., Salikhov, R. B., Vazhdaev, K. V. (2018, October). Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects. In Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2018 15th International Scientific-Technical Conference on (Vol. 1, pp. 170-173). IEEE.

8. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдарев К.В., Мунтянова Т.Д. Беспроводная система контроля качества окружающей среды // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242

© Бочкарева В.А., Абдрахманов В.Х., 2026

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЖКХ НА ОСНОВЕ IOT И ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN

Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) – это сфера деятельности, обеспечивающая благоустройство и поддержание домов, придомовых территорий, дорог в функциональном состоянии. Жилищно-коммунальное хозяйство остается одной из наиболее консервативных отраслей российской экономики. Эксперты считают, что основная причина медленного внедрения современных технологий и инноваций в ЖКХ заключается в отсутствии достаточного финансирования и низком уровне приоритетности этой отрасли для государства. На рынке доступно множество типов счетчиков воды, газа или электроэнергии без необходимой поддержки удаленного считывания показаний. Они предназначены в первую очередь для визуального представления потребления энергоресурсов, когда все еще требуется присутствие человека-оператора. Однако необходимо устанавливать только устройства, которые позволяют использовать удаленное считывание, чтобы повысить энергоэффективность на всем протяжении энергетической цепочки и предоставить потребителям точную, правдивую и надежную информацию об их потреблении энергии. Тем не менее, рынок не предлагает открытого и широко известного стандарта связи для передачи данных. Таким образом, большинство производителей разрабатывают собственные решения с использованием новых протоколов связи, таких как LoRaWAN, Sigfox или NarrowBand IoT [1-3].

Сегодня удаленный мониторинг большинства объектов ЖКХ, даже в географически локализованных местностях, становится легко реализуемой задачей благодаря развитию технологий, таких как LoRaWAN. Технология LoRaWAN обеспечивает надежную связь на большие расстояния с низким энергопотреблением, что делает ее идеальным решением для сбора данных с датчиков и удаленного контроля объектов ЖКХ (рис.1).

Шлюз, основанный на технологии LoRaWAN, представляет собой протокол беспроводной сети с низким энергопотреблением, предлагаемый для недорогой и безопасной связи в области Интернета вещей. LoRa – это физический уровень, используемый для установления удаленного канала связи, основанный на модуляции Frequency-shift keying (FSK) (частотно-

сдвиговая манипуляция), но значительно увеличивает возможный диапазон связи. LoRa – первая недорогая реализация этой технологии для коммерческого использования [4-5].

Рисунок 2 демонстрирует общую архитектуру системы мониторинга ЖКХ на базе технологии LoRaWAN.

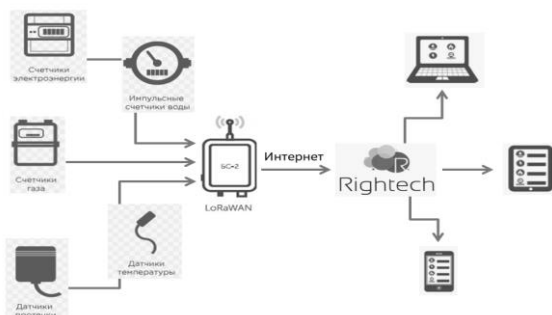


Рис. 2. Общая схема LoRaWAN- сети мониторинга ЖКХ

Технология LoRaWAN представляет собой перспективное решение для цифровизации жилищно-коммунального хозяйства. Ее внедрение позволяет устранить ключевые проблемы учета энергоресурсов, повысить оперативность выявления аварий и снизить затраты на обслуживание. Благодаря низкому энергопотреблению и высокой надежности связи, LoRaWAN обеспечивает эффективный мониторинг инженерных сетей и оборудования, что способствует улучшению качества жизни населения и оптимизации городских бюджетов. Дальнейшее развитие и масштабирование подобных систем открывает новые возможности для создания «умных городов» и устойчивого управления коммунальной инфраструктурой.

Литература

1. Abdrakhmanov Vali Kh., Salikhov R. B., Vazhdaev K.V. Intelligent residential zone system based on information and measurement control systems. - 2017.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series., IOP Publishing. - 2021. - Т. 2096. - № 1. - с.012109
3. Abdrakhmanov V.Kh., Vazhdaev K.V., Salikhov R.B. and Bikbaev N.N. Development of automation tools using ESP8266 WI-FI modules and LPWAN technologies // Electrical and information complexes and systems. 2017. – V.13. - pp. 98-108

4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE. - 2021. - с. 234-238

5. Abdrakhmanov, V. K., Salikhov, R. B., Vazhdaev, K. V. Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects // In Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). - 2018. - Т. 1. - с. 170-173

© Баранов В.С., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 618.518.3

Баляков Д.М.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

УМНЫЙ ДОМ НА БАЗЕ LORAWAN: ДАТЧИК КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

Задумывались ли вы, насколько сильно качество воздуха влияет на наше здоровье? Ухудшение его показателей – и в помещениях, и в городах в целом – напрямую связано с ростом респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. По статистике, это приводит к миллионам преждевременных смертей ежегодно. Особую опасность представляют мелкие частицы PM2.5, углекислый газ (CO₂) и летучие органические соединения. В плохо проветриваемых комнатах они накапливаются незаметно, но ощутимо сказываются на самочувствии и работоспособности: появляется усталость, снижается концентрация, может начать болеть голова. На этом фоне концепция «умного дома» предлагает разумное решение: сделать мониторинг воздуха такой же привычной частью системы безопасности и комфорта, как сигнализация или датчики протечки. Представьте: датчики качества воздуха работают в фоновом режиме и автоматически управляют вентиляцией, очистителями и другими устройствами. Они поддерживают параметры среды в безопасных и комфортных пределах – без вашего участия. Это особенно важно в тех местах, где мы проводим больше всего времени: в жилых комнатах, на кухне, в рабочем кабинете. Но чтобы такие системы стали массовыми, нужны недорогие, энергоэффективные и дальнобойные сети датчиков. И здесь на помощь приходит технология LoRaWAN. Она обеспечивает связь на расстояния до нескольких километров при очень

низком энергопотреблении. Именно поэтому её всё чаще используют для мониторинга качества воздуха – причём не только внутри зданий, но и на уровне целых районов и городов. Узлы такой сети могут работать от батареи или солнечных панелей и в режиме реального времени передавать данные в облако и мобильные приложения. Получается, разработка «умного дома» с датчиком качества воздуха на базе LoRaWAN – это не просто технологичная идея, а актуальное решение на стыке экологии, заботы о здоровье и развития Интернета вещей (IoT). Такая система показывает, что недорогой, автономный и масштабируемый мониторинг воздуха в обычной квартире или доме – вполне реальная задача. А возможность получать оповещения и удалённо следить за показателями делает эту тему по-настоящему значимой: она помогает защитить здоровье и одновременно внедряет современные IoT-решения в нашу повседневную жизнь.

В области IoT и встраиваемых систем [1, 2, 5], видим устойчивый тренд на улучшение качества воздуха. Разработанный опыт создания систем улучшения воздуха на ESP32-CAM [1] и энергоэффективного обмена данными на BLE [2] логично дополняется построением комплексных экологических мониторинговых сетей [5]. Это создает прочный фундамент для дальнейших работ, в том числе с использованием современных средств проектирования [4] и методов точного позиционирования [3], для создания интеллектуальных распределенных систем следующего поколения.

В курсовой работе разрабатывается датчик дыма и пыли на базе модели CCS811[1] с подключением по шине I² C – он измеряет уровни eCO₂, TVOC и температуру. Для связи используется энергоэффективная технология LoRaWAN[2]: она обеспечивает дальность до нескольких километров, надёжное проникновение сигнала через стены и многолетнюю работу от батареи. Устройство разместится в пластиковом, а печатную плату с корректной распиновкой пинов микроконтроллера планируется спроектировать в программе EasyEDA. В ходе разработки я нашел аналоги Vega Smart-UM0101, и Датчик качества воздуха Zigbee [6, 7], выявил их недостатки и плюсы моей разработки на их фоне.

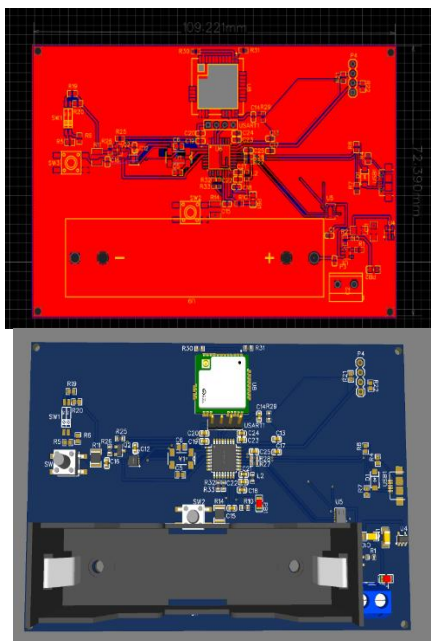


Рис. 1. Разработанная конструктивная часть устройства

Это устройство в полностью автономном режиме, без участия человека, непрерывно и с высокой точностью отслеживает качество воздуха в помещениях: фиксирует уровни эквивалентной концентрации углекислого газа (eCO_2), летучих органических соединений (TVOC) и температуру. Данные в реальном времени передаются по энергоэффективной беспроводной сети LoRaWAN – это позволяет удалённо анализировать состояние воздушной среды, выявлять критические отклонения и мгновенно отправлять оповещения о снижении качества воздуха. Такой подход обеспечивает принципиально новый уровень контроля микроклимата в жилых, офисных и промышленных зданиях, гарантируя безопасность и комфорт на протяжении многих лет работы даже в сложных условиях эксплуатации.

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. V. 2096. No. 1. P. 012109
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based

on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2021. P. 229-233.

3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.

4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. V. 2096. № 1. P. 012098.

5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242

6. Датчик Vega Smart-UM0101, Режим доступа: <https://iotvega.com/product/ss0102>

7. Формальдегид/VOC/CO2/температуры/влажности/PM2.5, Режим доступа: <https://www.ozon.ru/product/datchik-kachestva-vozduha-zigbee>

© Баляков Д.М., Абдрахманов В.Х., 2026

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОФИЗИКА»

УДК 621.398

Шарафутдинов В.М.,
студ. 1 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарипов Т.И.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЬНОГО АУДИОИНТЕРФЕЙСА НА ОСНОВЕ DSP-ПРОЦЕССОРА ADAU1467

С развитием микроэлектронной промышленности современные средства цифровой обработки сигналов (DSP) становятся всё более доступными для проектирования кастомных аудиорешений. В отличие от стандартных бытовых звуковых карт, модульный подход позволяет реализовать специализированное устройство, адаптированное под задачи профессионального мониторинга и лабораторных исследований звуковых полей [1–3].

ADAU1467 – это мощный 32-битный аудиопроцессор с архитектурой SigmaDSP, обладающий широкими возможностями маршрутизации. Он выступает центральным узлом системы, обеспечивая взаимодействие между USB-транспортом Reflex 3.0 и многоканальными кодеками AD1938 и PCM5242 (Рис. 1). Особенностью данной платформы является возможность аппаратной обработки сигналов в реальном времени, что позволяет задействовать её во многих сферах, включая область образования и профессиональной звукозаписи.

Особое внимание в работе уделено помехозащищенности аналогового тракта. Для минимизации синфазных наводок все входные и выходные интерфейсы реализованы по полностью балансной (симметричной) схеме на базе разъемов TRS 6.3 мм. Согласование уровней обеспечивается активными буферными каскадами на операционных усилителях, работающих в дифференциальном режиме. Это позволило использовать встроенные возможности кодека AD1938 по обработке дифференциальных сигналов без потери динамического диапазона.

Цель работы: разработать модульный учебный стенд – аудиоинтерфейс на основе ADAU1467 с использованием балансных входных и выходных трактов для исследования физических процессов, алгоритмов фильтрации и работы с цифровыми аудиопотоками высокого разрешения.

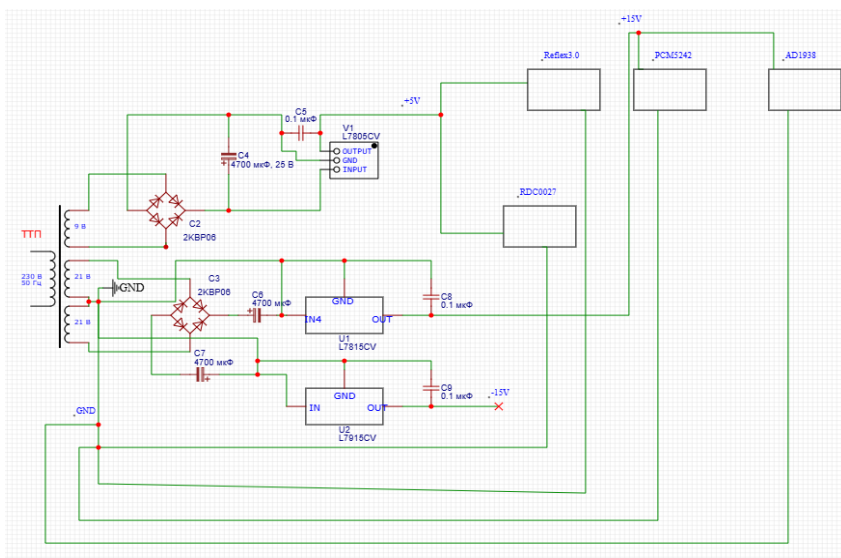


Рис. 1. Принципиальная схема согласования плат с блоком питания

Мы спроектировали модульный макет, плата RDC работает в режиме Master, остальные платы в режиме Slave соответственно; тактируем платы по портам BCLK, MCLK и LRCLK. Все необходимые электронные компоненты (процессорный блок, кодеки, линейный блок питания) располагаются внутри корпуса. Питание аналоговых каскадов осуществляется от двухполярного источника напряжения $\pm 12\text{В}$, что гарантирует высокую линейность тракта при работе с уровнями сигналов стандарта +4 dBu. Использование дюралюминия в качестве материала корпуса обеспечивает надежную экранировку и эффективный теплоотвод для компонентов системы.

Литература

1. Глиэр А. А. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие / А. А. Глиэр. – М.: Техносфера, 2021.
2. Ричард Л. Принципы построения высококачественных аудиоинтерфейсов / Л. Ричард. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020.
3. 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.

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

УДК 621.375.024

Гладких И.А.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарипов Т.И.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШАЮЩЕГО DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Современные радиоэлектронные устройства предъявляют повышенные требования к эффективности и габаритам вторичных источников питания. Одним из ключевых направлений развития преобразовательной техники является применение импульсных DC-DC преобразователей, которые обеспечивают высокий коэффициент полезного действия и широкий диапазон регулирования выходных параметров [1-2]. Среди множества топологий импульсных преобразователей особое место занимают повышающие преобразователи,

позволяющие получать напряжение на нагрузке, превышающее входное напряжение источника питания.

Был изучен учебный стенд, состоящий из следующих компонентов:

1. Источник питания - 4 батарейки типа “AAA” на 1,5 В
2. Повышающий DC-DC преобразователь МТ3608
3. Вентилятор 12V DC FAN (FB8025B12H)

Плата (рис. 1) состоит из следующих элементов: микросхема МТ3608, подстроечный резистор ВАОТЕР 3296, диод Шоттки SS34, 2 конденсатора 22 мкФ, дроссель на 22 мкГн, резистор 2,2 кОм.



Рис. 1. Исследуемая плата

При минимальном положении ручки усилитель будет выдавать примерно такое же напряжение, что и на входе (рис. 2). При максимальном - будет наблюдаться увеличение напряжение на выходе примерно в 2 раза (рис. 3). Отметим, что входное напряжение на плате будет падать с увеличением усиления.



а)



б)

Рис. 2. Минимальное положение ручки усилителя:
а) входное напряжение, б) выходное напряжение



а)
б)
Рис. 3. Максимальное положение ручки усилителя:
а) входное напряжение, *б)* выходное напряжение

Кроме того для визуального наблюдения работы платы в схеме присутствует вентилятор. При минимальном положении ручки усилителя (рис. 2) вентилятор будет работать в стандартном режиме. При выкручивании ручки до максимального положения (рис. 3) можно заметить, что увеличилась скорость вращения вентилятора, и появился характерный гудящий звук. К сожалению, в стенде отсутствует датчик оборотов для численного измерения скорости вращения вентилятора.

Литература

1. Битюков В.К., Симачков Д.С., Бабенко В.П. “Схемотехника электропреобразовательных устройств”: учебник. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 384 с.
2. Шайхуллин Т.А., Шарипов Т.И. Нелинейные электрические цепи постоянного тока: основы анализа, расчета и применения. //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. 77.

© Гладких И.А., Шарипов Т.И., 2026

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Исследование биологических объектов на СЗМ важно для изучения структуры и функций живых систем на микро- и наноуровнях. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) и атомная (сканирующая) силовая микроскопия (АСМ) изменили концепцию микроскопии. В настоящее время является стандартом в физических науках, СТМ и АСМ проложили путь к разработке целого семейства новых сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ).

АСМ привлекла внимание биологов, поскольку позволяет визуализировать объекты с высоким расширением, работать с более щадящими для биологических образцов методами пробоподготовки, что важно для исследования биологических объектов.

Важной частью исследования является выбор подложки и метод иммобилизации биологического объекта. Простейший и наиболее часто используемый метод иммобилизации биологического образца основан на физической адсорбции из раствора (нековалентная иммобилизация), когда суммарная сила притяжения притягивает образец к твердой подложке. В этом процессе задействованы различные силы, в том числе ван-дер-ваальсовы [1].

Наиболее важные аспекты для изучения структурно-функциональных взаимосвязей биологических объектов: получение изображений высокого разрешения с высоким отношением сигнал/шум в молекулярном/субмолекулярном диапазоне и возможность работы в водной среде, что позволяет наблюдать динамические молекулярные процессы в режиме реального времени и в физиологических условиях.

Целью работы являлось углубленное изучение теории об исследованиях свойств биологических объектов с помощью СЗМ. Структура может быть искажена в зависимости от метода иммобилизации, а также от условий эксперимента: измерения проводятся при различных условиях окружающей среды (температуре и влажности), на подложках, изготовленных из различных материалов.

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].

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

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

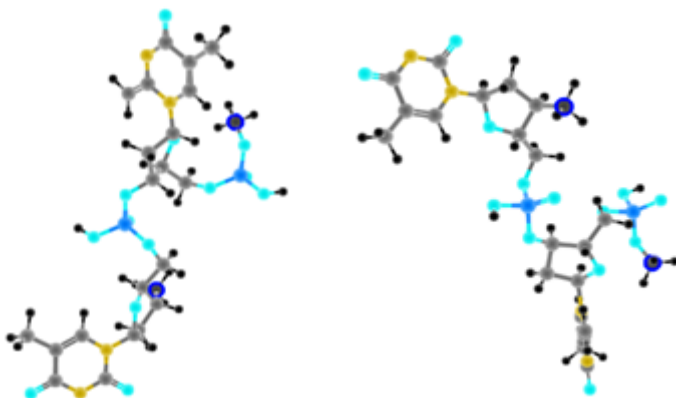


Рис. 1. Модель фрагмента гомоолигонуклеотида

На рис. 1 (а, б) представлен результат моделирования. На схеме цепочки из двух фрагментов мы можем увидеть тимин – азотистые основания, имеющие однокольцевую структуру, дезоксирибозы и фосфатные группы.

После этого мы переходим к экспериментальным исследованиям на СЗМ.

Литература

1. P. Wagner. Immobilization strategies for biological scanning probe microscopy. // FEBS Letters, 1998, v.430, p. 112-115.
2. Т. И. Шарипов, А. К. 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.

© Пиль Л.М., Шарипов Т.И., 2026

ПОЛУЧЕНИЕ НАВЫКОВ КАЛИБРОВКИ АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУЦЕПОЧЕЧНЫХ ПРИРОДНЫХ ДНК НА НЕМ

Целью данной работы является детальная визуализация молекул ДНК большой длины на атомно-силовом микроскопе (АСМ) и определение параметров (размеров и др.). В ходе работы были получены АСМ-изображения молекул ДНК на скеле слюды, произведена калибровка микроскопа.

Создание в 1986 году АСМ положило начало новой странице истории изучения микро- и нанообъектов. Преимуществами АСМ являются его универсальность в работе, высокое разрешение получаемых изображений, множество режимов работы (многофункциональность). Именно такие параметры наиболее подходят для измерения поверхностных свойств природных ДНК.

При исследовании ДНК, а равно как и других нанообъектов, необходимо раз в месяц проводить калибровку микроскопа, что и было проделано нами. Калибровка в свою очередь включает в себя установление положения пьезосканера в пространстве, определение чувствительности фотодетектора и жесткости кантилевера; для этого специально существуют калибровочные (тестовые) решетки (рис.1). Была использована калибровочная решетка TG01. Изначально период по осям OX и OY не совпадал с паспортными данными периода решетки, вследствие чего в программе Nova-Px были откалиброваны параметры XScale и YScale. Также были определены числовые значения параметров Setpoint и Gain конкретно для данной работы.

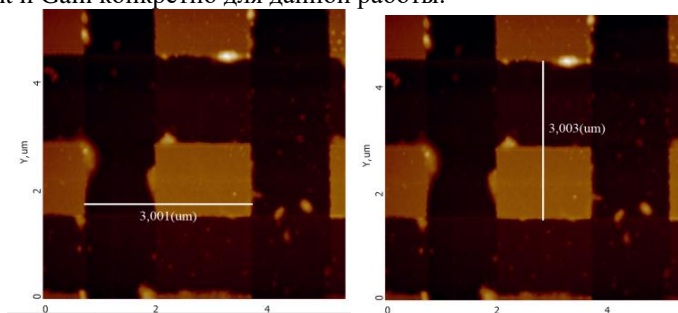


Рис. 1. Калибровочная решетка TG01 с периодом $3\pm 0,05$ мкм

На рис. 1 приведено АСМ-изображение калибровочной решетки. После проведения процедуры калибровки мы вновь отсканировали поверхность решетки (рис. 1) и измерили с помощью специального инструмента период по осям X и Y и получили, что по оси $x=3,001$ мкм, а по оси $y=3,003$ мкм, что в пределах погрешности сходится с паспортными данными.

После калибровки мы приступили к исследованию природных молекул ДНК вида Calf thymus DNA type I. Измерения проводились в полуконтактном режиме с кантилевером NSG 10. Были получены топографические АСМ-изображения, а также выполнено сечение по предполагаемому «пучку» молекул ДНК и получены профили сечения. По профилю видно, что высота этих объектов достигает 4-4.5 нм, а ширина порядка 60 нм. Это указывает на то, что перед нами не единичная молекула, а агрегат (пучок) из нескольких соединенных между собой единичных молекул.

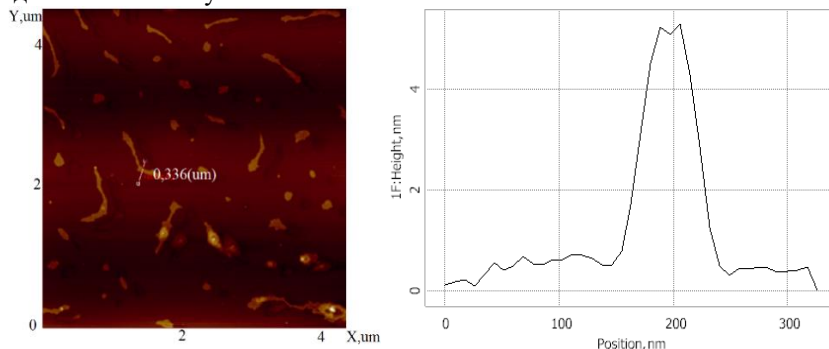


Рис. 2. а) АСМ-изображение молекул ДНК;
б) профиль сечения «пучка» молекул

Литература

1. Kavitha 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

ПОЛУЧЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО ТУННЕЛЬНОГО МИКРОСКОПА

С помощью СТМ можно снимать вольт-амперные характеристики (ВАХ) туннельного контакта в различных точках поверхности, что даёт возможность лучше судить о локальной проводимости образца и изучать особенности локальной плотности различных состояний в энергетическом спектре электронов. Схема регистрации ВАХ туннельного промежутка СТМ представлена на рис 1. Для регистрации ВАХ туннельного контакта в СТМ применяется следующая процедура. На СТМ изображении поверхности выбирается область образца, на которой будут производиться измерения. Зонд СТМ выводится сканером на определенную точку поверхности. Для получения ВАХ контакта обратная связь на короткое время разрывается, и к туннельному промежутку прикладывают линейно нарастающее напряжение. При этом синхронно с изменением напряжения регистрируется ток, протекающий через туннельный контакт [1].

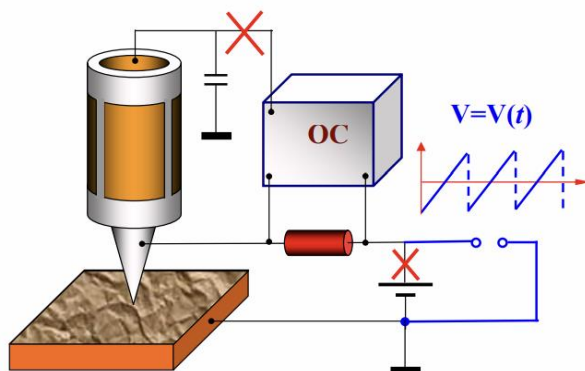


Рис. 1. Схема регистрации ВАХ туннельного промежутка СТМ

При измерении ВАХ во время разрыва обратной связи на электрод сканера прикладывается потенциал, равный потенциалу непосредственно перед разрывом. В каждой точке измеряется несколько ВАХ. Конечная характеристика получается путем усреднения набора ВАХ, измеренных в

одной точке. Усреднение позволяет существенно минимизировать влияние шумов туннельного промежутка [2].

Для характерных напряжений на туннельном контакте порядка 0,1–1 В и туннельных токов на уровне 0,1–1 нА сопротивление туннельного контакта R_t по величине составляет 10^8 – 10^{10} Ом. Сопротивление исследуемых образцов R_s существенно меньше R_t , и характер ВАХ в основном определяется свойствами небольшой области образца вблизи туннельного контакта. Характер туннельной ВАХ существенно зависит от энергетического спектра электронов в образце. В туннельном токе в основном участвуют электроны с энергиями вблизи уровня Ферми. При прямом смещении электроны туннелируют из заполненных состояний зоны проводимости зонда на свободные состояния зоны проводимости образца. При обратном смещении электроны туннелируют из образца в зонд. Величина туннельного тока определяется коэффициентом прозрачности барьера, напряжением смещения и плотностью состояний вблизи уровня Ферми. СТМ позволяет исследовать не только морфологию поверхности образца, но и ее локальную электронную структуру.

Туннелирование электронов через барьер между двумя металлами для малых напряжений смещения, имеет линейную зависимость туннельного тока от напряжения, для очень высоких напряжений форма барьера будет сильно изменяться, и ток будет описываться формулой Фаулера-Нордгейма. ВАХ туннельного контакта металл-металл нелинейна и практически симметрична. Полупроводниковые образцы имеют более сложную структуру энергетического спектра электронов. Также существенный вклад в туннельный ток дают уровни энергии и поверхностные состояния, связанные с адсорбированными на поверхности чужеродными атомами и биологическими молекулами [3].

Литература

1. В.Л. Миронов Основы сканирующей зондовой микроскопии. Учебное пособие. Российская академия наук, Институт физики микроструктур, г. Нижний Новгород, 2004 г. - 110 с.
2. Антонов А.С. и др. Сканирующая туннельная микроскопия для нанопокртия "серебро/слода": морфология рельефа и электрические характеристики // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2015. – № 7. – С. 31-46.
3. Татлыбаев Д.Д., Шарипов Т.И. Морфология высокоориентированного пиролитического графита // Проблемы современного физического образования: материалы VIII Всероссийской

научно-методической конференции (г. Уфа, 13–14 ноября 2025 г.) / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2025. – С. 62.

© Габбасов Б.А., Шарипов Т.И., 2026 г.

УДК 537.86

Татлыбаев Д.Д.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарипов Т.И.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОРФОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ГОМОГЕННЫХ ПОЛИНУКЛЕОТИДНЫХ ЦЕПОЧЕК ДНК dT₁₂ и dG₁₂: СТМ-ИССЛЕДОВАНИЯ

Современная наноэлектроника вступает в фазу поиска альтернативных материалов для создания элементной базы на молекулярном уровне. Одной из наиболее перспективных систем является молекула дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), обладающая уникальными свойствами самосборки, химической специфичности и способности к эффективному переносу заряда. Особый интерес представляют гомогенные полинуклеотидные цепочки, такие как dT₁₂ (тиминовые) и dG₁₂ (гуаниновые), поскольку они позволяют исследовать фундаментальные механизмы электропроводности в зависимости от нуклеотидного состава. Целью данной работы является исследование морфологических особенностей данных цепей и экспериментальное обоснование их транспортных свойств методами СЗМ.

Ключевым этапом настоящего исследования являлась подготовка поверхности подложки. В отличие от традиционно применяемой в атомно-силовой микроскопии (АСМ) слюды, в данной работе использовались подложки на основе золота (Au). Применение металлической поверхности обусловлено необходимостью обеспечения прямого электрического контакта с молекулой, что выступает обязательным условием для последующей реализации методов сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Золотые подложки подвергались процедуре предварительной очистки.

Осаждение гомоолигонуклеотидов dT₁₂ и dG₁₂ проводилось методом физической адсорбции из водного раствора. Контроль морфологии образцов осуществлялся с использованием сканирующего зондового микроскопа NT-MDT Nova PX.

На полученных АСМ-изображениях наблюдаются изолированные цепи и небольшие кластеры молекул (рис. 1). Анализ профилей высот показал, что средняя высота ДНК на золоте составляет 1.4–1.6 нм, что несколько ниже теоретического диаметра нативной В-формы (2 нм). Это объясняется эффектом деформации молекулы под действием адсорбционных сил и особенностями взаимодействия зонда с мягким биообъектом на жесткой проводящей подложке. Сравнительный анализ выявил, что цепочки dT₁₂ демонстрируют меньшую структурную стабильность на поверхности золота по сравнению с dG₁₂. Это может быть связано с различиями в энергии взаимодействия азотистых оснований с атомами Au и внутренней стабильностью стекинг-взаимодействий в гомополимерах.

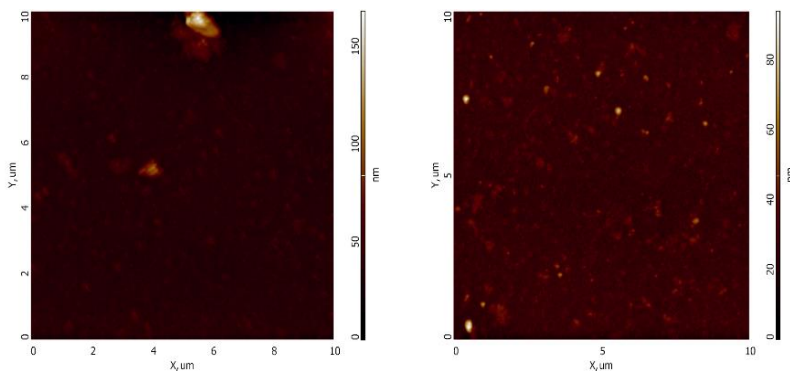


Рис. 1. АСМ-изображение гомолигонуклеотида dT₁₂ на золотой подложке

Переход от АСМ к СТМ-исследованиям открывает возможность прямого зондирования электронных состояний молекулы. При подведении платино-иридиевой иглы к молекуле при заданном напряжении смещения (V_{bias}) возникает туннельный ток, величина которого экспоненциально зависит от расстояния и высоты энергетического барьера. Согласно кластерной модели переноса заряда, развиваемой в работах В.Д. Лахно, проводимость ДНК определяется процессами перескока (hopping) носителей заряда между азотистыми основаниями. В СТМ-эксперименте это должно проявляться в виде «токового контраста». Проведенные исследования морфологии гомогенных цепей ДНК на золотых подложках подтвердили возможность визуализации методами зондовой микроскопии. Дальнейшие задачи исследования включают экспериментальное получение вольт-амперных характеристик (ВАХ) и построение карт локальной плотности электронных состояний.

Литература

1. Лахно В.Д. Кластерная модель перескока дырок в ДНК // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2018. – Т. 49, № 3. – С. 360–390.
2. Т.И Шарипов, А.К. Мишра, Р.Р. Гарафутдинов. Электрическое сопротивление некоторых типов гомоолигонуклеотидов. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2025. Том 89 № 3. С. 414- 418.
3. Porath D. et al. Charge Transport in DNA-based Devices // Topics in Current Chemistry. – 2004. – Vol. 237. – P. 183–227.

© Татлыбаев Д.Д., Шарипов Т.И., 2026

УДК 628.12 +62-503.55

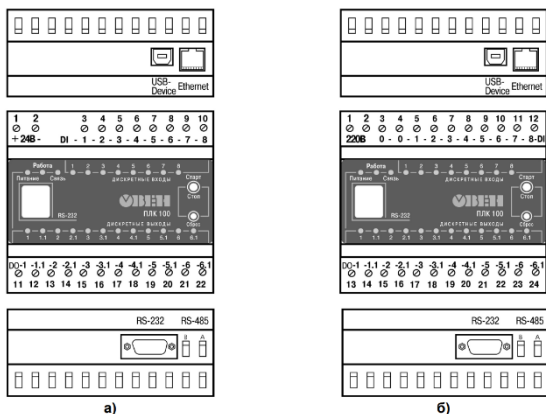
Мухамедьянов М.М.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Рыжиков О.Л.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАКЕТОМ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

В настоящее время правительство Российской Федерации активно поддерживает процесс импортозамещения во многих областях жизнедеятельности государства, в том числе в секторе автоматизации различных процессов промышленности.

Использование отечественных программируемых логических контроллеров (ПЛК) и программного обеспечения (ПО) снижает зависимость от зарубежных партнеров, тем самым обеспечивая своевременное обслуживание и поставку оборудования для нужд технологических процессов производства или организации.

ОВЕН ПЛК100 – моноблочный контроллер для малых и средних систем автоматизации со встроенными дискретными и аналоговыми входами/выходами.



Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК100 предназначен для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в энергетике, на ж/д транспорте, в различных областях промышленности, жилищно-коммунального и сельского хозяйства, на опасных производственных объектах.

Насосная станция (НС) – установка, состоящая из двух или более насосов, запорной и регулирующей арматуры, а также системы управления её производительностью.

Современные насосные станции должны снабжаться следующими видами защиты и автоматики: поддержание заданного давления или расхода в системе водоснабжения; контроль питающего напряжения и восстановление работы после сбоев питания; защита от перегрузки; защита от работы в режиме сухого хода; переключение с одного из насосов на другой при его отказе; переключение с насоса на насос для обеспечения их одинаковой наработки; автоматическое распределение нагрузки между насосами для обеспечения максимальной эффективности; диагностирование и индикация неисправностей насосной станции.

Объектом нашей работы является макет насосной станции, демонстрирующий технологический процесс перекачки жидкости между емкостями на основе отечественного контроллера. Предметом работы являются способы автоматизации управления макетом насосной станции.

Анализ литературы показал, что большая часть работ была выполнена с использованием зарубежных контроллеров и с применением сложных технологий, учитывающих множество факторов.

Литература

1. Ильинский, Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. – М.: Издат. центр «Академия», 2008. – 203 с.
2. Электропривод: учебник / Н.Е. Кабдин, В.Ф. Сторчевой. – М.: МЭСХ, 2021. – 286 с.
3. Программируемые логические контроллеры для управления технологическими процессами: учебно-методическое пособие: в 2 ч./Ю. Е. Лившиц, В. И. Лакин, Ю. И. Мониц. – Минск: БНТУ, 2014. – Ч. 2. – 164 с.
4. Теория электропривода. Часть 3: Переходные процессы в электроприводе: учебное пособие / А. А. Кувшинов, Э. Л. Греков; Оренбургский гос. ун-т. Оренбург : ОГУ, 2017. – 114 с.

© Мухамедьянов М.М., Рыжиков О.Л., 2026

УДК 621.396.62

Гибадатов Д.А.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Рыжиков. О.Л.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ SDR-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРИЕМА РАДИОСИГНАЛОВ

Технология SDR характеризуется следующими возможностями: визуализация спектра принимаемого сигнала в реальном времени, применение различных программных настраиваемых фильтров в радиосистеме, реализация функционала для измерений уровня сигнала, настройка приема/передачи разных модуляций в одной радиосистеме без внесения конструктивных изменений. Однако основное преимущество SDR-системы – ее универсальность.

По принципу работы среди различных SDR-приемопередатчиков можно выделить три основных типа:

– устройства SDR, в которых цифровая обработка сигнала происходит не за счет ресурсов устройства, а на стороннем средстве вычислительной техники (ПК, ПЛИС, микроконтроллер и т. д.). Задача таких устройств – выполнить перенос нулевой частоты входного сигнала, а затем передать такой сигнал по интерфейсам связи на вычислительное устройство. В настоящее время этот тип устройств практически не применяется;

– SDR-приемопередатчики с интегрированной микросхемой АЦП. Передача сигнала на средство вычислительной техники в таких

устройствах осуществляется в цифровом виде. Устройства имеют архитектуру супергетеродинного приема сигнала с полосой пропускания до 20 МГц.

Основной недостаток таких приемопередатчиков связан с появлением зеркального канала из-за аналоговых компонентов в фильтрах. Также в этих приемниках мощные сигналы излучения, находящиеся поблизости от приемника, могут оказывать негативное влияние на прием сигнала, что проявляется в виде помех. Однако соотношение цена/функциональность – основное преимущество устройств данного типа.

Наиболее современной технологией является DDC (direct down conversion) SDR. Основное ее отличие от других SDR-приемопередатчиков заключается в отсутствии аналогового генератора для подстройки на частоту приема. Задачу по оцифровке сигнала с антенны берет на себя АЦП с большой частотой дискретизации. Цифровая обработка сигнала с АЦП выполняется в быстродействующей ПЛИС прямо на плате устройства, и нужный частотный канал (обычно до 6 МГц) передается на средство вычислительной техники. У такого типа устройства отсутствуют недостатки, характерные для предыдущих типов, однако их стоимость остается высокой.



На рис. представлен WEB SDR приемник, размещенный в Западном округе города Москва.

Литература

1. Торокин, А. А. Инженерно-техническая защита информации / А. А. Торокин. М.: Гелиос АРВ, 2005.
2. Bunevich, M. A. The Use of Search Technology Based on Resonant Reflectometric Location for the Detection of Embedded Radio Devices / M. A. Bunevich, A. I. Maiorov, I. A. Vrublevskii // Journal of Radio Electronics. 2021. No 12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.12.5>.

3. Liu, B. Software-defined Radar and Waveforms for Studying Micro-Doppler Signatures / B. Liu, R. Chen // Proc. SPIE 9077, Radar Sensor Technology XVIII, 907718, 29 May 2014. <https://doi.org/10.1117/12.2051044>.

4. Майоров, А. И. Оптимизация зондирующего сигнала резонансно-рефлектометрической локации при работе в условиях промышленных помех / А. И. Майоров, М. А. Буневич, И. А. Врублевский // Технические средства защиты информации: тезисы докл. XX Белор.-Рос. науч.-техн. конф., 2022. 69 с.

© Гибадатов Д.А., Рыжиков О.Л., 2026

УДК 532.51

Тляубасв Т.Ю.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шайхитдинов Р.З.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Водный мостик (ВМ) возникает между двумя диэлектрическими сосудами, наполненными полярным жидким диэлектриком, при подаче постоянного высоковольтного напряжения между электродами, погруженными в жидкость [1, 2]. Наблюдаемый мостик, имеющий форму, близкую к цилиндрической, длиной до 25 mm и диаметром 1-3 mm, может существовать десятки минут. Результаты экспериментов показывают, что мостики могут образоваться не только в воде, но и в ряде полярных жидкостей с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r > 5$.

В настоящее время нет общепринятого механизма, объясняющего динамическое равновесие ВМ. Так, в работе [4] представлена теория возникновения ВМ, основанная на тензоре давления Максвелла, индуцированном внутри мостика продольным электрическим полем напряженности порядка 10^6 В/м. Согласно этой теории, существуют силы давления, перпендикулярные, и силы натяжения, параллельные силовым линиям электрического поля. По мнению авторов [4], это напряжение можно рассматривать как термодинамическую причину устойчивости изогнутого мостика, которое приводит к появлению силы, противоположно направленной силе тяжести, действующей на ВМ. Также предполагается, что в сильном электрическом поле упорядоченная

система диполей молекул воды создает упругую цепочку, играющую роль несущей конструкции ВМ.

В связи с этим представляет интерес изучение распределения электрического поля в жидком диэлектрике.

Эксперименты проводились на установке, аналогичной в работе [3] с тем отличием, что вместо медных электродов использовались платиновые. В начальный момент экспериментов чашки Петри, наполненные дистиллированной водой ниже верхних краев на 1 мм, находились в тесном контакте. Спустя 5 с после подачи на электроды напряжения 15 кВ, чашки раздвигались. Длина ВМ составляла 1 см при диаметре 1-2 мм, сила тока 0,2 мА. Массовый расход жидкости через мостик был около 8 мг/с и оставался постоянным в течение 8 мин, после чего направление потока менялось на противоположное.

Зондовым методом определялось распределение электрического поля вдоль прямой, соединяющей электроды. Для этого зонд, представляющий собой платиновую проволоку диаметром 0,2 мм, через балластное сопротивление 320 Ом с последовательно включенным микроамперметром соединялся с катодом. Измерения силы тока, которая прямо пропорциональна разности потенциалов между катодом и зондом, позволили определить распределение потенциала вдоль прямой x между катодом и анодом. Путем численного дифференцирования полученной кривой была рассчитана зависимость $E(x)$, которая приведена на рис. 3. Полученные результаты показывают, что электрическое поле локализовано, в основном, в самом мостике; максимальное значение его напряженности примерно равно 950 кВ/м.

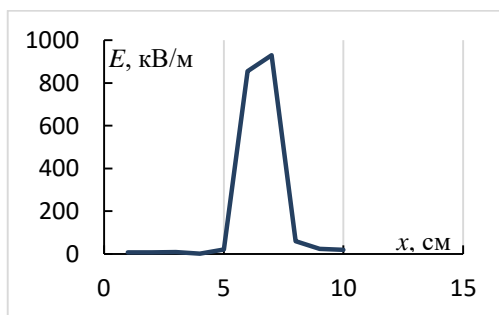


Рис. 3. Распределение напряженности электрического поля вдоль прямой между катодом (расположен в точке $x=0$) и анодом

Это приводит к тому, что между концами ВМ возникает коронный разряд, который, в свою очередь, создает ЭВ. Теневым методом проведенные измерения скорости воздушного потока над ВМ показали,

что ее значения могут достигать до 6 м/с. Этого достаточно, чтобы возникающая подъёмная сила уравновешивала силу тяжести, действующую на ВМ.

Литература

1. E.C. Fuchs et al. J. Phys. D: Appl. Phys. 40(19), 6112 (2007).
2. A.D. Wexler et al. J. Vis. 20(1), 97 (2017).
3. R.Z. Shaikhitdinov et al. Technical Physics Letters, 48(6), 31 (2022).

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

УДК 532.525.2

Миназов И.И.,
асп. 1 г. об. УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шайхитдинов Р.З.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ OPENFOAM С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕШАТЕЛЯ ISOFOAM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

Эффект температурного разделения воздушного потока в вихревой трубке, механизм которого до сих пор не выяснен, можно исследовать при помощи CFD-моделирования, которое отлично показывает себя в ПО OpenFOAM.

В текущем тесте применялся стандартный решатель isoFoam, предназначенный для расчёта нестационарных, ламинарных, несжимаемых течений ньютоновской жидкости. isoFoam решает полную систему уравнений Навье-Стокса:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u},$$

\mathbf{u} – поле скорости,

p – давление,

ρ – плотность,

ν – кинематическая вязкость.

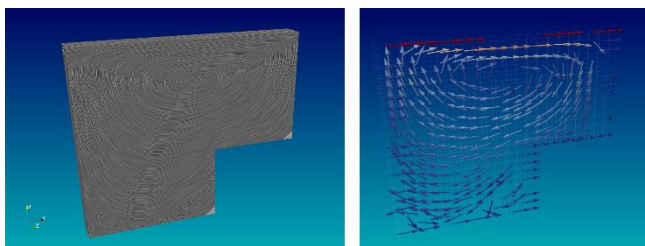


Рис. 1. а – линейная интегральная свёртка, б – направление линий потока

Рис. 1 представляет тестовую сетку cavityClipped с 12 вершинами. На рис. 1 (а) мы можем наблюдать линии потока. На рис. 1 (б) отображено направление и величина скорости потока в каждой ячейке. В данном примере движение потока возникает за счёт движения вправо верхней горизонтальной стенки.

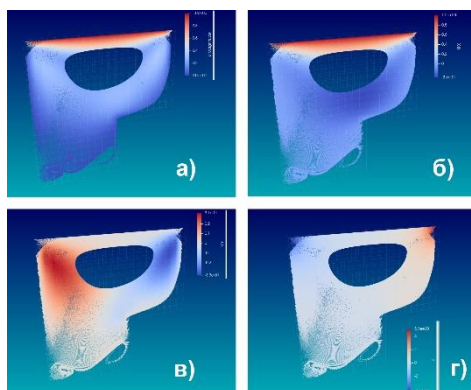


Рис. 2. а – длина вектора полной скорости потока, б – скорость потока по X, в – скорость потока по Y, г – распределение давления

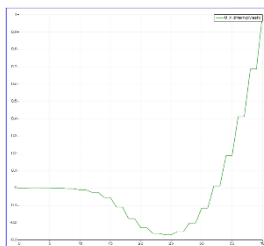


Рис. 3. График зависимости скорости в продольном сечении по оси X от высоты

Решатель isoFoam в стандартном виде не способен моделировать температуру. Поэтому в дальнейшем исследовании будут задействованы более сложные решатели, такие как rimpleFoam или rhoPimpleFoam.

Литература

1. Burazer, J. M., et al.: Numerical Research of the Compressible Flow in... THERMAL SCIENCE, Year 2017, Vol. 21, Suppl. 3, pp. S745-S758
2. А.Т. Калмурзаева, А.Ы. Курбаналиев, С.С. Мамаев, С.С. Акназарова, Проблемы оптимизации сложных систем 1, 1–6 (2019).
3. Сайт OpenFOAM Tutorial Guide. URL: <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide>

© Миназов И.И., Шайхитдинов Р.З., 2026

УДК 537.86

Хадыев Т.Э.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарипов Т.И.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ. ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

Целью работы является получение четких изображений искусственно синтезированных олигонуклеотидов на подложке из напыленного золота методом атомно-силовой микроскопии и оптимизация концентрации раствора при разбавлении исходного препарата для достижения равномерного распределения молекул и высокой информативности изображений.

Теоретическая возможность проведения электрического тока через ДНК была предложена в 1962 году. Однако до настоящего времени вопрос о проводящих свойствах ДНК остаётся открытым: в разных экспериментах она проявляет себя как изолятор, полупроводник или проводник.

Для разрешения этих противоречий и изучения электрических свойств вначале необходима прямая визуализация олигонуклеотидов на поверхности. Атомно-силовая микроскопия (АСМ) позволяет получить данные о морфологии и свойствах молекул, что является важным критерием для дальнейшего исследования их электрических свойств.

Объектом нашего исследования является искусственная ДНК dT₁₂ (T-thymine, 60 нг/мкл). Проводилось разбавление бидистиллированной водой

до концентраций 4, 2, 1 и 0,5 нг/мкл. Подготовленные растворы наносили на золотую подложку и сушили около 80 минут. Измерения проводились в Intermittent Contact Mode с применением NSG 10 кантилеверов.

Нами были получены топографические АСМ-изображения иммобилизованных олигонуклеотидов. На изображениях наблюдаются преимущественно скопления молекул. По профилям сечения высота объектов составляет от 2 до 8 нм, а ширина от 25 до 50 нм. Эти размеры существенно превышают диаметр одиночной молекулы ДНК (примерно 2 нм), что свидетельствует об образовании многомолекулярных скоплений. Лучшее качество АСМ-изображений наблюдается при концентрациях 1 и 0,5 нг/мкл.

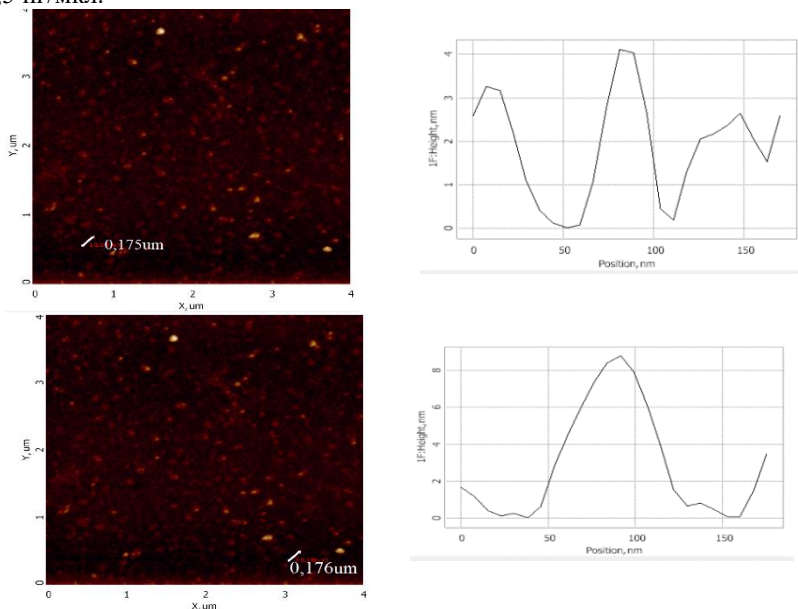


Рис. 1. АСМ-изображение и профили сечений скоплений ДНК при концентрациях 1 нг/мкл

Полученные результаты демонстрируют возможность визуализации искусственно синтезированных олигонуклеотидов на золотой подложке методом АСМ и дают возможность для дальнейшего изучения электрических свойств.

Литература

1. Kavita 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. Ткачук Е.А., Шарипов Т.И. Эксплуатация программно-аппаратного комплекса PX Ultra-Hybrid 2.0 в различных рабочих конфигурациях //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. 89.

© Хадыев Т.Э., Шарипов Т.И., 2026

УДК 550.380.8

Изюров Д.С.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Латыпов К.Ф.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ МАКЕТА ИНДУКЦИОННОГО МАГНИТОМЕТРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Мониторинг электромагнитных полей НЧ-диапазона (0,1 Гц – 30 кГц) является актуальной задачей для современной радиофизики и геофизики, так как данные поля несут уникальную информацию о состоянии системы «Земля–Ионосфера», глобальной грозовой активности и геодинамических процессах. Индукционные магнитометры составляют основу измерительного тракта метода магнитотеллурического зондирования (МТЗ), широко применяемого при поиске полезных ископаемых. Однако высокая стоимость коммерческих аналогов (сотни тысяч рублей) ограничивает их использование в учебных и малобюджетных исследованиях.

В данной работе предложен и реализован макет индукционного магнитометра на базе серийного автомобильного трансформатора зажигания Б117А, используемого в качестве широкополосной приёмной антенны. Применение нестандартного чувствительного элемента с числом

витков вторичной обмотки около 20 000 в сочетании с прецизионным инструментальным усилителем AD620 позволило создать работоспособный прибор.

Архитектура разработанного аппаратно-программного комплекса включает следующие блоки:

Приёмный элемент: Трансформатор зажигания Б117А с замкнутым стальным сердечником и встроенным электростатическим экраном.

Усилительный тракт: Дифференциальный усилитель на базе микросхемы AD620 с автономным батарейным питанием для минимизации сетевых наводок.

Цифровой тракт: Внешняя USB звуковая карта, выполняющая функции АЦП с частотой дискретизации до 48 кГц.

Программное обеспечение: ПО «Spectrum Lab» для визуализации сигналов в реальном времени и библиотека «Python/SciPy» для постобработки данных.

В ходе подготовки выяснилось, что макет сможет регистрировать естественные импульсные сигналы (сферики, твики), а также техногенные сигналы навигационных систем «Альфа» (11,9–14,8 кГц). Достигнутые характеристики позволяют использовать макет для мониторинга резонанса Шумана и внезапных ионосферных возмущений (SID).

Таким образом, разработанная система демонстрирует высокую эффективность применения доступной элементной базы для решения задач экспериментальной радиофизики. Полученные результаты будут иметь практическую значимость для создания недорогих геофизических станций мониторинга и учебных лабораторных стендов.

Литература

1. Nickolaenko A.P., Hayakawa M. Resonances in the Earth-Ionosphere Cavity. – Springer, 2002. – 380 с.
2. Buescher W. (DL4YHF) – Using a PC with soundcard as VLF receiver. – URL: QSL.NET.
3. Жамалетдинов А.А. Взаимодействие электромагнитных полей КНЧ-СНЧ диапазона с земной корой. – КНЦ РАН, Апатиты, 2015.

© Изюров Д.С., Латыпов К.Ф., 2026

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНАЯ И ФАЗО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА

В современных условиях развития радиоэлектроники особую актуальность приобретает исследование частотных характеристик керамических резонаторов, являющихся важнейшими элементами частотоподающих цепей различных электронных устройств. Данные исследования необходимы для оптимизации процесса проектирования радиоэлектронной аппаратуры и повышения её эксплуатационных характеристик.

Целью работы является исследование амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных характеристик (ФЧХ) керамического резонатора для определения его основных параметров и возможностей применения в электронных схемах. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведён теоретический анализ принципов работы керамических резонаторов
2. Разработана методика измерения АЧХ и ФЧХ
3. Выполнены экспериментальные исследования характеристик резонатора
4. Проведён анализ полученных результатов
5. Определены оптимальные условия применения

Объектом исследования выступает керамический резонатор как элемент колебательной системы. Предметом исследования являются частотные характеристики керамического резонатора в различных режимах функционирования.

В процессе исследования применялся комплекс методов, включающий теоретический анализ, экспериментальные измерения с использованием специализированного измерительного оборудования, математическую обработку полученных данных и компьютерное моделирование.

В ходе экспериментальных исследований были получены зависимости амплитуды и фазы от частоты, определены резонансные частоты резонатора, измерены значения добротности и полосы пропускания.

Построены графические зависимости АЧХ и ФЧХ, выявлены особенности поведения резонатора в различных режимах работы.

Проведённые исследования позволили определить основные параметры керамического резонатора и возможности его применения в электронных устройствах. Полученные характеристики могут быть использованы при проектировании колебательных систем и фильтров различного назначения.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных результатов при разработке радиоэлектронной аппаратуры с повышенными требованиями к стабильности частоты.

Литература

1. Справочник по радиоэлектронным компонентам / Под ред. С.И. Москалева. – М.: Радио и связь, 2025. – 450 с.
2. Основы радиоэлектроники: учеб. пособие / А.А. Иванов, Б.Б. Петров. – Уфа: УУНиТ, 2026. – 320 с.
3. Керамические резонаторы в современной электронике // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2025. – № 4. – С. 78-85.

© Баязитов И.И., Рыжиков О.Л., 2026

УДК 621.316.7

Янгиров Г.Р.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Рыжиков О.Л.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Импульсные источники питания (ИИП) являются основой современной силовой электроники благодаря высокому КПД (80–95%), малым габаритам и низкой материалоемкости по сравнению с линейными стабилизаторами. Классическая архитектура ИИП базируется на аналоговых ШИМ-контроллерах (TL494, UC3842, SG3525), в которых частота преобразования и закон регулирования скважности задаются жестко – внешними резисторами и конденсаторами. Такой подход эффективен при работе на постоянную или медленно меняющуюся нагрузку. Однако реальные устройства (зарядные станции, лабораторные блоки питания, бортовые преобразователи электромобилей, серверные

системы) работают в широком диапазоне токов потребления – от 1% до 100% от номинала. В этих условиях аналоговый ИИП демонстрирует резкое падение КПД на малых нагрузках (ниже 60% при 10–15% от номинала), повышенное тепловыделение и недостаточную гибкость в реализации защит. Причина – фиксированная частота переключения силовых ключей, которая приводит к сквозным потерям на перезаряд затворов и перемагничивание дросселя даже тогда, когда нагрузка не требует высокой мощности.

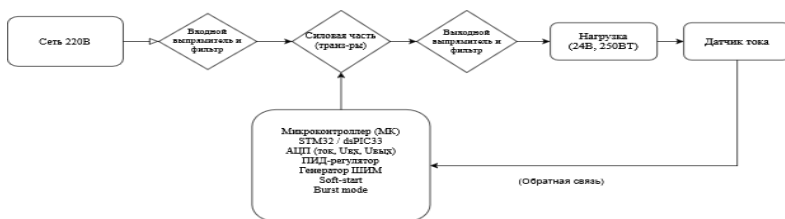


Рис. 1. Структурная схема ИИП с микропроцессорным управлением

Решением проблемы является переход от аналогового задатчика режимов к микропроцессорному управлению. Микроконтроллер (МК) позволяет в реальном времени оцифровывать ток и напряжение на нагрузке, динамически изменять частоту и скважность ШИМ-сигнала, а также реализовывать адаптивные алгоритмы энергосбережения (burst mode, пауза при холостом ходе, цифровой soft-start).

Целью настоящей работы является обоснование того, что внедрение микропроцессорного управления в ИИП топологии forward позволяет повысить интегральный КПД (усредненный по циклу «малая нагрузка – номинальная нагрузка») не менее чем на 12–15% по сравнению с аналоговым ШИМ-контроллером при сопоставимой стоимости серийного производства.

Литература

1. Семёнов, Б. Ю. Цифровое управление импульсными источниками питания на базе микроконтроллеров STM32 / Б. Ю. Семёнов // Силовая электроника. – 2023. – № 2. – С. 34–41.
2. Мелешин, В.И. Управляемые транзисторные преобразователи / В.И. Мелешин. – Москва: Техносфера, 2021. – 640 с. – ISBN 978-5-94836-436-5.
3. Иванов, П.А. Разработка импульсного источника питания с микропроцессорным управлением для зарядных станций / П.А. Иванов, Д.С. Петров // Актуальные проблемы электроэнергетики: материалы XI

УДК 628.3

Байгузин Г.В.,
асп. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шайхитдинов Р.З.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛА

Известны две группы методов очистки сточных вод: регенеративные и деструктивные. Первая группа методов, к которым относятся экстракция, перегонка, ректификация, адсорбция, ионообменная очистка, обратный осмос, биологическая очистка, не всегда может быть применена в силу экономической нецелесообразности извлечения примесей из сточных вод из-за их малого содержания [1]. Поэтому на практике широко применяются методы окислительной деструкции органических соединений в водной среде под действием озона, кислорода и пероксида водорода [2]. Однако в свободном режиме при простом механическом перемешивании процессы окисления (деструкции) загрязнителей происходит медленно (до 20 ч) и неполностью (до 50%). Поэтому в настоящее время проводятся активные исследования интенсификации окислительных процессов путем внешнего воздействия; причем, в качестве исследуемого загрязнителя, как правило, выбирается фенол, являющийся наиболее трудноокисляемым из-за циклической структуры.

Проведенный анализ литературы показывает, что не все из перечисленных методов позволяют производить очистку сточных вод от различных загрязнителей до уровня ПДК и ниже. Второй, наиболее важный недостаток этих методов – сложность применения этих способов в технологических процессах очистки. Например, ультрафиолетовое облучение и плазменное воздействие активно воздействует лишь на тонкий слой поверхности (до 0,5 мм), вследствие чего производительность установки очистки низкая. Распыление сточных вод экономически нецелесообразно и обеспечивает неравномерную обработку жидкости.

Нами предлагается использовать воздействие ударных волн, возникающих при электрогидравлическом эффекте (ЭГЭ). Сущность данного эффекта состоит в том [3], что при прохождении импульсного

тока через жидкую среду вследствие резкого расширения парогазовой области возникают ударные волны, создавая области высоких давлений (до 10^5 атм). Этот процесс сопровождается мощным электромагнитным излучением, кавитацией, появлением ускоренного потока заряженных и нейтральных частиц. Предварительно проведенные исследования показали эффективность предлагаемого метода разрушения фенола под воздействием ударных волн с добавлением пероксида водорода. При этом обрабатывались как модельные водные растворы фенола с различным его содержание в воде, так и промышленные сточные воды. Для примера в табл.1 приведены сравнительные результаты этих экспериментов в проточном режиме.

Таблица 1

Скорость потока, л/мин	Содержание фенола в сточных водах, мг/дм ³		Содержание фенола в модельном растворе, мг/дм ³	
	исходное	после УВВ	исходное	после УВВ
2	223,38	<0,002	392,74	0,073
4		0,22		<0,002
6		0,043		0,043

Как видно, в зависимости от скорости пропускания образцов через реактор содержание фенола уменьшается примерно на 4-5 порядков.

Проведенные измерения показывают, что удельные потери электроэнергии не превышают 5 кВт ч/м³.

На основании проведенных экспериментов получен патент [4].

Литература

1. Хенце М. Очистка сточных вод. – М: Мир, 2004. – 471с.
2. Кофман, В. Я. Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 10. С. 68-78.
3. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л: Машиностроение, 1986. 253 с.
4. Шайхитдинов Р.З. и др. Патент на изобретение RU 2712565 С1, 29.01.2020.

© Байгузин Г.В., Шайхитдинов Р.З., 2026

АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ИССЛЕДУЕМЫЕ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Адгезионные взаимодействия играют ключевую роль в процессах закрепления молекул, формирования биологических структур и взаимодействия клеток с окружающей средой. Особое значение имеет исследование адгезии на наноуровне, где доминируют межмолекулярные силы. Метод АСМ позволяет проводить измерения сил взаимодействия в диапазоне пиконьютонов и получать информацию о механических и адгезионных характеристиках поверхности с высоким пространственным разрешением.

Для иммобилизации ДНК на поверхности слюды часто применяют двухвалентные катионы, которые формируют электростатические мостики между фосфатным остовом ДНК и отрицательными центрами слюды [1]. При этом выбор типа катиона и его концентрации определяет, как прочность адгезии, так и возможность стабильного измерения адгезионных сил методом силовой спектроскопии [2]. Адсорбция ДНК на слюде опосредована двухвалентными катионами (Ni^{2+} , Co^{2+}), которые выступают в роли электростатических мостиков между отрицательно заряженным фосфатным остовом ДНК и поверхностью слюды [4]. В обозреваемой статье приведено, что прочность адгезии зависит от концентрации катионов и достигает максимума в диапазоне 1–10 мМ. Данная работа заложила основу для количественных измерений адгезионных сил между ДНК и твёрдыми подложками методом силовой спектроскопии.

Проведено исследование адгезионных свойств природной молекулы ДНК (Calf thymus DNA), иммобилизованной на поверхности слюды. Измерения выполнены с использованием АСМ-микроскопа NT-MDT NTEGRA Prima. На рис. 1 представлена топография подложки с адсорбированной на ней молекулой ДНК (а) и силовые кривые (б).

На рис. 1 представлены силовые кривые, полученные при взаимодействии кантилевера с молекулами ДНК, адсорбированными на слюде. Проведенные исследования позволяют количественно оценить адгезионные свойства природных молекул ДНК на слюде в зависимости от условий эксперимента.

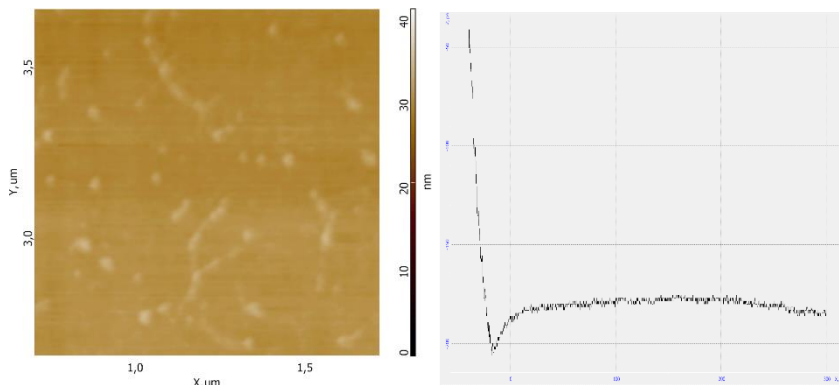


Рис. 1. а) Молекулы ДНК (Calf thymus DNA); б) Силовые кривые

Таким образом измерения с использованием СЗМ NT-MDT NTEGRA Prima методом АСМ позволяет эффективно исследовать адгезионные свойства ДНК (Calf thymus DNA) на поверхности слюды. Силовые кривые позволяют качественно охарактеризовать взаимодействие зонда с молекулой ДНК на слюде, выявить особенности адгезионного контакта и оценить влияние условий эксперимента на процесс отрыва.

Литература

1. Быков В.А., Матюшин Т.Г., Шепелев А.Д. Сканирующая зондовая микроскопия для биологии и медицины // Приборы и техника эксперимента. – 2000. – № 3. – С. 5–24.
2. Tanigawa M., Okada T. // *Analytica Chimica Acta*. 1998. V. 365. P. 19–25.
3. T. I. Sharipov, A. K. Mishra, and R. R. Garafutdinov. // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2025, Vol. 89, No 3, pp. 391-395
4. Hansma H.G., Bezanilla M., Zenhausern F., Adrian M., Sinsheimer R.L. // *Nucleic Acids Res.* – 1993. – Vol. 21. – P. 505–512.

© Полухин Р.В., Шарипов Т.И., 2026

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Для детального исследования явления «водный мостик», характеризующегося сложной внутренней структурой течения и наличием разнонаправленных потоков жидкости, требуется регистрация процессов, протекающих в масштабе, недоступном для визуального наблюдения невооружённым глазом, в связи с чем возникает необходимость применения увеличительных и регистрирующих устройств. С этой целью в работе предложена конструкция цифрового микроскопа, обеспечивающего получение увеличенного изображения в реальном времени с возможностью его последующей обработки и анализа.

В качестве основы устройства использован видеомодуль на базе камеры Sony Effio 800TVL, обеспечивающий преобразование оптического изображения в электрический сигнал с достаточным пространственным разрешением. При этом для формирования увеличенного изображения применена система линз и объективов, заимствованных от фотоаппаратов, что позволяет реализовать требуемую кратность увеличения без использования специализированной оптики.



Рис. 1. Блок-схема устройства

Преобразование видеосигнала осуществляется с помощью видеоконвертера типа Video to VGA, обеспечивающего перевод аналогового сигнала формата AV в цифровой сигнал VGA с последующим выводом на монитор, при этом конвертер обладает возможностью регулировки параметров изображения (яркость, контраст, разрешение, частота), а также поддерживает режимы переключения источников сигнала и функцию «картинка в картинке», что расширяет функциональные возможности системы. Передача сигнала между

элементами реализуется посредством стандартных интерфейсов и кабелей AV и VGA, а питание обеспечивается отдельными источниками напряжения 12 В / 2 А для видеомодуля и 5 В / 2 А для видеоконвертора.

Конструктивная реализация выполнена с использованием корпуса фотоувеличителя, обеспечивающего жёсткую фиксацию элементов системы и стабильность положения оптической оси относительно исследуемого объекта. Сборка устройства включает последовательное подключение видеомодуля к входу конвертора, подключение монитора к выходу VGA и организацию питания компонентов, после чего производится настройка режимов работы и параметров изображения.

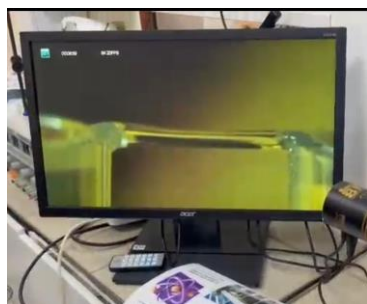


Рис. 2. Увеличенное изображение ВМ



Рис. 3. (можно использовать при пайке)

Проведённые испытания показали, что разработанный микроскоп обеспечивает получение устойчивого увеличенного изображения, позволяющего наблюдать динамические особенности водного мостика, включая внутренние и внешние контуры движения жидкости, что подтверждает эффективность предложенного подхода и возможность его применения для исследования быстропротекающих процессов в жидких диэлектрических системах.

Кроме основной задачи, микроскоп отлично подходит для пайки. Можно выводить на монитор увеличенное изображение микросхем, что дает возможность паять элементы размерами от 0,3 мм.

Литература

1. Elmar C Fuchs, Doekle Yntema and Jakob Woissetschläger // J. Phys. D: Appl. Phys. 2019. Vol. 52. P. 365302-365311.

© Татлыбаев С.А., Шайхитдинов Р.З., 2026

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ WI-FI НА ОСНОВЕ ПАССИВНОГО СБОРА ТЕЛЕМЕТРИИ И OPEN-SOURCE СТЕКА

Качество функционирования беспроводной Wi-Fi сетей является важным фактором, определяющим эффективность передачи данных и пользовательский опыт. С увеличением плотности устройств и объёма передаваемой информации возрастает необходимость в системах мониторинга, позволяющих своевременно выявлять проблемы и анализировать состояние сети.

Особую актуальность приобретает использование методов пассивного сбора телеметрии, при которых анализ сетевых параметров осуществляется без активного вмешательства в трафик. Это позволяет минимизировать нагрузку на сеть и получать более достоверную информацию о ее реальном состоянии. К основным параметрам качества относятся уровень сигнала (RSSI), отношение сигнал/шум (SNR), задержки, потери пакетов и загрузка каналов.

В работе предложена система мониторинга на основе использования open-source инструментов, таких как Prometheus и Grafana, а также собственного программного модуля, разработанного на языке Python с использованием фреймворка FastAPI. Сбор метрик осуществляется с помощью программного экспортёра, который представляет данные в формате, совместимом с системой Prometheus.

На рис. 1 представлена архитектура системы мониторинга Wi-Fi сети.

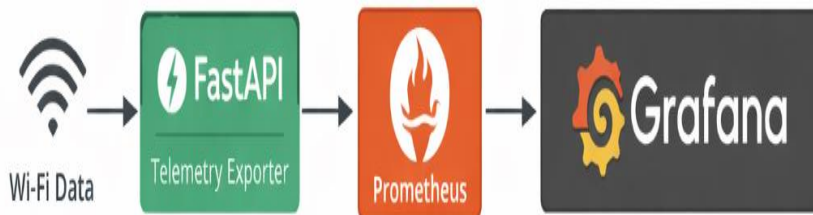


Рис. 1. архитектура системы мониторинга Wi-Fi сети

Проведённая реализация позволяет осуществлять мониторинг состояния Wi-Fi в реальном времени, выявлять аномалии, анализировать динамику изменения ключевых показателей качества.

Таким образом, разработанная система демонстрирует эффективность применения open-source стека для решения задач мониторинга беспроводных сетей. Использование пассивного сбора телеметрии позволяет получать точные данные без дополнительной нагрузки на инфраструктуру, а модульная архитектура обеспечивает гибкость и масштабируемость решения

Литература

1. <https://fastapi.tiangolo.com/> – Себастьян Рамирес – 2018.
2. Запускаем Prometheus. Мониторинг инфраструктуры и приложений – Жюльен Пивотто, Брафан Бразил – 2023
3. Компьютерные сети, принципы, технологии, протоколы – Олифер Виктор Григорьевич, Олифер Наталья Викторовна, 2024

© Каримов А.Х., Латыпов К.Ф., 2026

УДК 538.93

Баишев А.Х.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шайхитдинов Р.З.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ МОСТИК В ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Вертикальный мостик возникает при подачи постоянного напряжения между игольчатым катодом над поверхностью этилового спирта (на расстоянии примерно 1 см) и анодом, погруженным в жидкость. Он представляет собой вытянутый навстречу верхнему электроду цилиндр из жидкости, заканчивающийся сферически закругленным концом. При этом основание столбика вращается относительно вертикальной оси, совпадающей с осью катода.

Направление вращения носит случайный характер. Появление столбиков происходит только при отрицательной полярности верхнего электрода. При положительной полярности наблюдается лишь образование воронки, а при высоких напряжениях – пробой. Столбик (высота 5–7 мм) между электродом и поверхностью жидкости возникает при напряжениях примерно 20 кВ. Возникновение структур связывается [1] неустойчивостью Тонкса-Френкеля.

В нашей работе дается объяснение непредсказуемого по направлению вращения столбика переносом отрицательного заряда из игольчатого электрода в жидкость. Из-за коронного разряда в жидкости напротив острого электрода образуется воронка, на поверхности которой создается отрицательный объемный заряд. Как показывают результаты наших расчетов и анализ, максимальная напряженность электрического поля локализована на краях воронки. Поэтому из-за случайного характера распределения объемного заряда направление вращения столбика также носит вероятностный характер. Такое объяснение подтверждается применением в наших экспериментах спиралевидной формы положительного электрода, который снимает в жидкости отрицательный объемный заряд. При этом вращение столбика происходило преимущественно вдоль спирали в направлении раскручивания ее витков.

Литература

1. Александров А.Ф., Бычков В.Л., Бычков Д.В. Бычков и др. // Вестник Московского университета, 2011, № 4, с. 67-74.

© Баишев А.Х., Шайхитдинов Р.З., 2026

УДК 621.391.822.3

Захаров Ю.А.,
асс. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ФЛИККЕР-ШУМ В ВОЛЬФРАМОВЫХ ПРОВОДНИКАХ С РЕАЛИЗАЦИЯМИ НЕПРЕРЫВНОГО ТИПА

На полученных ранее реализациях [1, 2] фликкер-шума в вольфрамовых нитях накала можно выделить следующие случайные процессы: непрерывные, прямоугольные импульсные, многоуровневые, экспоненциальные импульсные. Особый интерес представляет изучение фликкер-шума с реализациями непрерывного типа. Для проведения экспериментов с таким видом фликкер-шума требуется более тщательная подготовка объекта исследования. В данной работе такая подготовка выполнялась.

На рис. 1 показаны экспериментальная реализация флуктуаций в вольфрамовой нити накала и модель m -связного случайного процесса. Для сглаживания спектральной плотности мощности (СПМ) экспериментальной реализации шума использовался алгоритм [1, 3]. СМП m -связного процесса усреднена по 4 реализациям (на верхней диаграмме показана последняя).

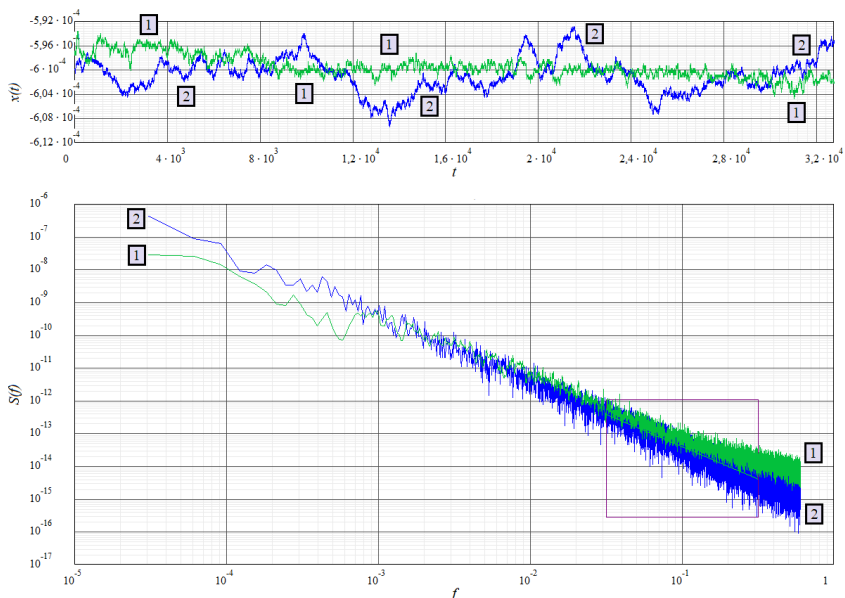


Рис. 1. Реализация (верхняя диаграмма) и СПМ (нижняя диаграмма) фликкер-шума в вольфрамовой нити накала (1) и модели m -связного процесса (2)

Изучение таких реализаций фликкер-шума в вольфрамовых нитях накала позволяет более тщательно сравнивать модели шума с результатами измерений.

Литература

1. Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З. Исследование спектра низкочастотных токовых флуктуаций в нитях накала электрических ламп // Известия вузов. Радиофизика. 2020. Т. 63, № 3. С. 250-265.
2. Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З. Мостовой метод исследования спектров токовых флуктуаций в вольфрамовых нитях накала в диапазоне частот $1,5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-1}$ Гц // Измерительная техника. 2021. № 5. С. 18-25.
3. Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019667792. Расчёт СПМ (с фильтрацией спектральной плотности мощности) / Захаров Ю.А., Гоц С.С. Заявка № 2019666742 пост. 16.12.2019; рег. 27.12.2019.

© Захаров Ю.А., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ СТРУКТУР Ni/Co НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ СИТАЛЛА

В рамках настоящей работы была предпринята попытка создания макромасштабной биметаллической термопары на основе никеля и кобальта, осаждённых на термически стабильную подложку из ситалла. Напыление металлических слоёв осуществлялось в два этапа: сначала методом резистивного испарения (оборудование – Универсальный вакуумный пост- УВП-250) наносился слой никеля размером $0,5 \times 1$ см, после чего методом магнетронного напыления (Вакуумная установка «ACADEMVAC-1M/1T/1L») поверх него – частично перекрывая границу – наносился тонкий слой кобальта. Такая геометрия была выбрана с целью формирования локального термоэлектрического контакта.

Однако полученные экспериментальные данные зависимости выходного напряжения от приложенного температурного перепада не продемонстрировали значимого термоэлектрического отклика. На основании анализа результатов был сделан вывод о неудаче эксперимента, обусловленной, по всей видимости, двумя ключевыми факторами. Во-первых, ширина активной зоны термопары составляла 0,5 см, что привело к чрезмерному рассеянию теплового потока и недостаточной локализации температурного градиента в области контакта. Как показывают теоретические модели и практика микроэлектроники, максимальная чувствительность термопар достигается при уменьшении геометрических размеров активной области до микронного или даже субмикронного масштаба, где плотность термотока возрастает, а паразитные тепловые потери минимизируются. Во-вторых, кобальтовый слой, будучи химически активным, подвергся окислению в атмосферных условиях уже в процессе или сразу после напыления, что могло привести к образованию поверхностного оксидного слоя CoO или Co_3O_4 . Исследования полупроводниковых оксидов переходных металлов [1, 2] указывают на то, что такие оксиды обладают собственной электропроводностью и могут кардинально изменять межфазные свойства контакта, снижая эффективность термоэлектрического преобразования.

С учётом опыта, накопленного при работе с оксидными системами, в частности NiO [1], известными своей чувствительностью к газовой среде

и зависимостью проводимости от степени окисления, представляется целесообразным в дальнейших экспериментах обеспечивать инертную атмосферу при напылении и последующем тестировании, а также использовать защитные покрытия или барьерные слои для предотвращения неконтролируемого окисления. Критически важным шагом станет переход к литографическим методам формирования контактов с уменьшением ширины активной зоны до 1 мкм и ниже – в идеале до нескольких микрон. Это позволит локализовать температурный градиент, повысить плотность теплового потока и, как следствие, получить измеримую термо-ЭДС.

Таким образом, несмотря на отрицательный результат, проведённый эксперимент выявил важные ограничения, связанные с химической нестабильностью кобальта и избыточными геометрическими размерами активной области, что представляет ценность для проектирования надёжных и чувствительных тонкоплёночных термоэлектрических датчиков на основе переходных металлов.

Литература

1. Смирнов, А.В. Электрофизические, оптические и газочувствительные свойства тонкоплёночных структур на основе оксида никеля / А.В. Смирнов, А.В. Кочергин, Н.Е. Анисимов // В сборнике: Физика и техника полупроводников. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2017. – С. 159–160.
2. Патент RU 2792616 С1, Российская Федерация, МПК В05D 5/12, С01В 13/18, С01G53/04, С01G51/04. Способ получения тонкоплёночных покрытий на основе двойного оксида кобальта-никеля / Е.В. Владимирова, А.В. Дмитриев, А.П. Есаулков; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт химии твёрдого тела Уральского отделения Российской академии наук». – № 2022121081; заявл. 03.08.2022; опубл. 22.03.2023, Бюл. № 9.

© Козин К.Д., Салихов Т.Р., 2026

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

УДК 532.546

Буджогра С.,
асп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарафутдинов Р.Ф.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА ФИЛЬТРАЦИЮ ГАЗОКОНДЕНСАТА В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Данная работа представляет собой теоретический обзор влияния водной фазы на процессы фильтрации газоконденсатных систем в пористых коллекторах, основанный на результатах и выводах предыдущих исследований в области многокомпонентного течения жидкостей в нефтегазовых пластах [1]. Актуальность темы определяется критическим влиянием воды на фильтрационные и продуктивные свойства газоконденсатных месторождений.

Многочисленные исследования показывают, что наличие воды значительно изменяет характеристики течения за счёт капиллярных эффектов и уменьшения относительной проницаемости газа и конденсата, а также приводит к образованию водяных барьеров, ограничивающих движение углеводородов в поровом пространстве [2]. Кроме того, увеличение водонасыщенности связано с заметным снижением подвижности газоконденсата, особенно в зонах, близких к скважине [3].

Взаимодействие различных фаз внутри порового пространства приводит к нелинейному поведению фильтрации, усложняя моделирование процессов и требуя применения продвинутых моделей, учитывающих динамическое распределение фаз. Игнорирование водной фазы в расчетах может привести к неточным оценкам продуктивности и коэффициента извлечения углеводородов.

Цель данного обзора – обобщить существующее теоретическое понимание физических механизмов фильтрации газоконденсата в присутствии воды и выделить ключевые факторы, влияющие на разработку и моделирование газоконденсатных месторождений.

Литература

1. Bear, J. (1972). Dynamics of Fluids in Porous Media. Dover Publications.
2. Aziz, K., & Settari, A. (1979). Petroleum Reservoir Simulation. Applied Science Publishers.
3. Ahmed, T. (2010). Reservoir Engineering Handbook. Gulf Professional Publishing.

© Буджогра С., Шарафутдинов Р.Ф., 2006

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ТРАЕКТОРИЕЙ

Интерпретация данных термогидродинамических исследований действующих горизонтальных скважин при наличии переменной траектории представляет сложную задачу. Это обусловлено спецификой термогидродинамических процессов в условиях сложной траектории ствола скважины, где имеются восходящие, горизонтальные и нисходящие участки, что влияет на распределение фазовых скоростей и положение границ раздела фаз, что формируют нетипичное распределение температурного поля в потоке. В этих условиях, актуальным является использование математических моделей при интерпретации данных термогидродинамических исследований действующих горизонтальных скважин. В работе рассматриваются результаты расчета объемного содержания и распределения температуры при наличии переменной траектории ствола горизонтальной скважины с использованием разработанной на кафедре геофизики симулятора [1, 2]. Представлены результаты расчетов

Для выделения изменения объемной доли, связанного с притоком, были проведены два расчета: с наличием зон притока вдоль ствола скважины и при их отсутствии (поток только с забоя скважины). Как видно (рис. 1), влияние траектории скважины более существенное. С учетом погрешности измерения объемной доли выделить зоны притока и рассчитать их дебиты достаточно проблематично.

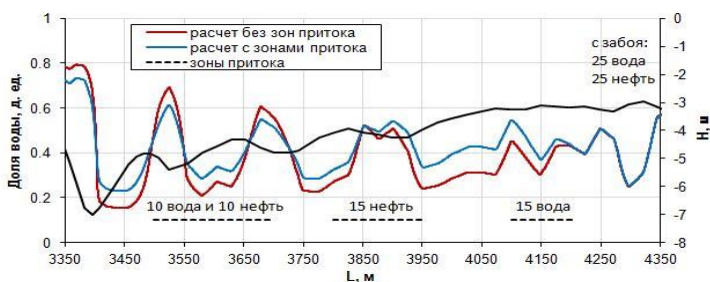


Рис. 1. Объемная доля (подписи указывают на объемный расход фаз в м³/сут)

Но при этом по температуре зоны поступления флюидов выделяются достаточно хорошо (рис.2), если имеется разница температур между потоком в скважине и притоком. Также появляется возможность идентифицировать состав притока.

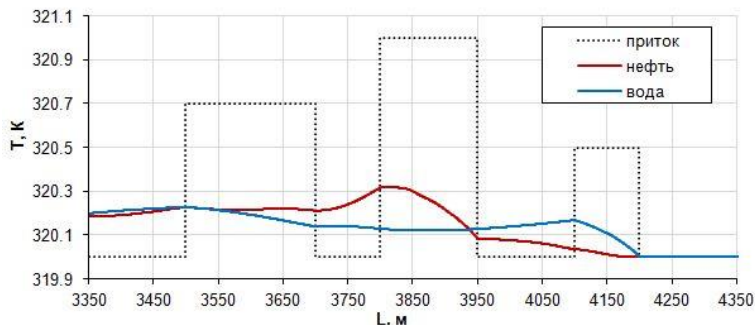


Рис. 2. Температуры фаз

Литература

1. Petalas N., Aziz. K. A Mechanistic Model for Multiphase Flow in Pipes // Journal of Canadian Petroleum Technology 39(06), January 1998.
2. SPE-182089. Валиуллин Р.А., Шарафутдинов Р.Ф., Яруллин Р.К., Рамазанов А.Ш., Шарипов А.М., Хабиров Т.Р., Низаева И.Г. Особенности термогидродинамических процессов в горизонтальных скважинах с переменной траекторией // В материалах Российской нефтегазовой технической конференции и выставки SPE, 24-26 октября, 2016, Москва, Россия.

© Хакимов Ф.Ш., Шарафутдинов Р.Ф., 2026

УДК 550.8.053

Кадияту М.,
 маг. 2 г.об. УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Закиров М.Ф.,
 к.т.н., доц. УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НЕФТИ И ВОДЫ ПРИ БАРЬЕРНОМ СПОСОБЕ ДОБЫЧИ

Одним из методов борьбы с преждевременным обводнением скважин является создание водяных или полимерных барьеров. Как показывают промысловые исследования [1], закачка рабочего агента в водоносную

зону или на границу раздела фаз позволяет снизить темпы подтягивания конуса воды к забюю (рис. 1).

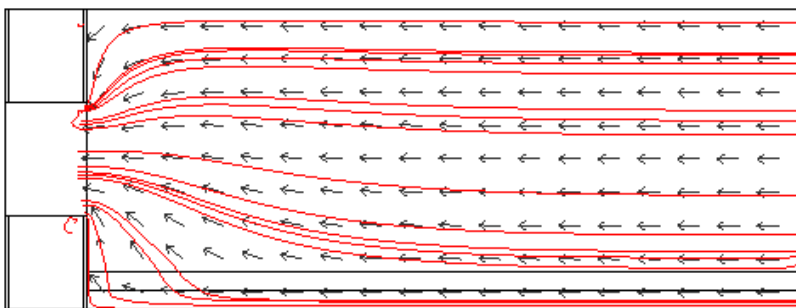


Рис. 1. Схема размещения барьерной закачки в системе «нефть-вода»

Процессы совместной фильтрации нефти и воды при создании подземных барьеров остаются недостаточно изученными из-за сложности прогноза. В данной работе построена двухмерная радиально-вертикальная модель вытеснения нефти водой при наличии барьерной закачки [2]. В модели учтены распределения давления и фазовых проницаемостей. Численное решение получено с использованием конечно-разностных методов при заданных граничных условиях. Результатами моделирования являются поля насыщенности и векторы скоростей фильтрации, демонстрирующие эффективность удерживающего барьера. Полученные зависимости могут быть использованы для оптимизации режимов закачки и продления периода безводной эксплуатации скважин.

Литература

1. Валиуллин Р.А. Термогидродинамические исследования пластов и скважин нефтяных месторождений: учебное пособие / Р.А. Валиуллин [и др.]. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. – 213 с.
2. Крылов В.А. Особенности конусообразования при разработке месторождений нефти и методы борьбы с ними. Автореф. дис. ... к. т. н. Москва: ИПНГ РАН, 2003. 25 с.

© Кадияту М., Закиров М.Ф., 2026

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКТОРОВ ФАМЕНСКОГО ЯРУСА БЕЛЕБЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

В работе анализируются карбонатные породы фаменского возраста, представленные сложным геологическим строением. В нефтегазовой геофизике под термином «сложнопостроенные коллекторы» понимают породы-коллекторы, обладающие ёмкостными и фильтрационными свойствами (ФЕС), но не описывающиеся классическими моделями гранулярных сред.

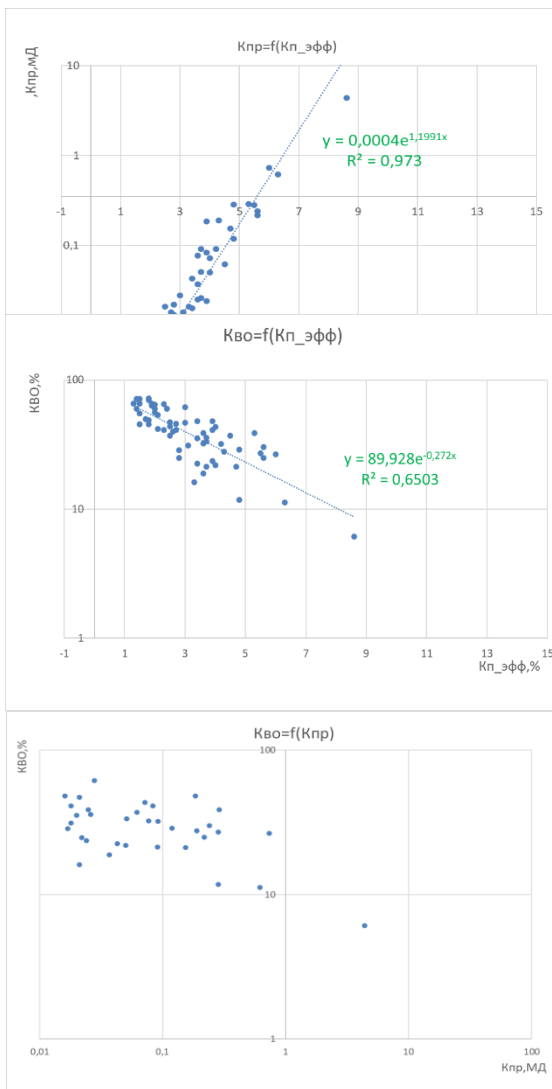
Основные трудности при изучении подобных объектов обусловлены гетерогенностью пустотного пространства, анизотропией физических свойств и особенностями литологического состава [1].

Стандартный комплекс ГИС в сложнопостроенных коллекторах часто даёт неоднозначные результаты. Традиционные методы каротажа позволяют получить лишь интегральные характеристики (в частности, заниженные значения удельного электрического сопротивления), но не обеспечивают достоверное выделение тонкослоистых интервалов, точную оценку сопротивления и характера насыщения [2]. В связи с этим возникает необходимость применения методов специального каротажа. Один из наиболее эффективных – метод ядерно-магнитного резонанса (ЯМР).

ЯМР обладает уникальной способностью регистрировать сигнал от флюида на фоне твёрдой матрицы породы [3]. Главная задача метода в геофизике – прямое обнаружение и количественная оценка содержания подземных флюидов, что особенно востребовано при исследовании неоднородных и нетрадиционных коллекторов. Основным анализируемым параметром является время поперечный релаксации T_2 . Ключевая особенность: ЯМР видит только подвижные флюиды (вода, нефть) в порах и не реагирует на скелет породы (песок, известняк). Это единственный метод, позволяющий напрямую оценивать «связанную» (капиллярную) воду и проницаемость коллектора [4].

В работе выполнена количественная интерпретация данных ЯМР, в результате которой оценены ФЕС и дан характер насыщенности карбонатных коллекторов.

На рис. 1 приведено сопоставление результатов интерпретации ФЕС.



А) $K_{пр} = f(K_{п_эфф})$

Б) $K_{во} = f(K_{п_эфф})$

В) $K_{во} = f(K_{пр})$

Рис. 1. Сопоставление результатов интерпретации ФЭС

Как видно из рис. 1 наблюдается анизотропия ФЕС в карбонатных коллекторах.

Анализ результатов интерпретации ЯМР позволил обосновать диагностические критерии для задачи определения коллекторов. На рис. 2 приведены распределены поперечной релаксации T2, тепловая карта распределения T2 распределение коллекторов и возможных коллекторов, а также характер насыщения.

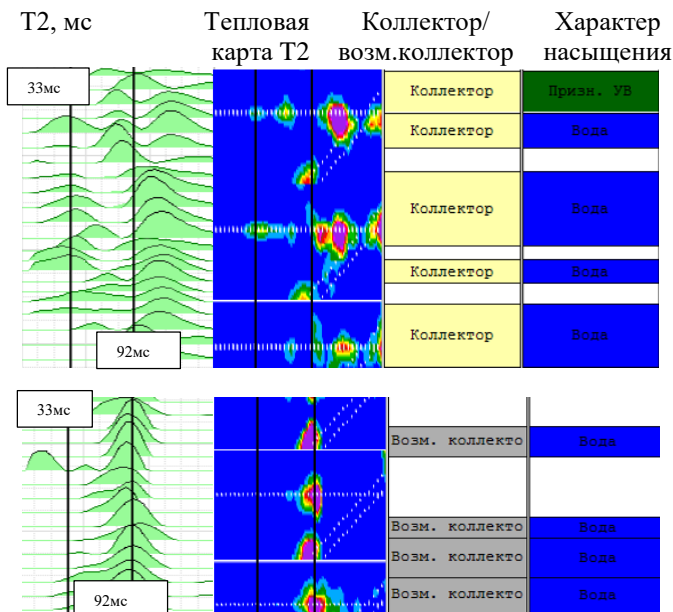


Рис. 2. Диагностические критерии для задачи определения коллекторов и возможных коллекторов

На рисунке 2 можно увидеть, что «коллекторам» и «возможным коллекторам» соответствуют разные значения времени T2 и карты дисперсии распределения T2. Коллектор определяется по ЯМР в карбонатном разрезе со значением T2 более, чем 92 мс, а возможный коллектор – со значением T2 в диапазоне от 33 до 92 мс.

Полученные диагностические признаки могут быть полезны в дальнейшей работе при выделении сложнопостроенных коллекторов карбонатных отложений. Кроме этого, будет полезно сформировать альбом типовых диаграмм T2 или карты дисперсии T2 для применения в учебных целях.

Анализ результатов интерпретации данных ЯМР в породах фаменского яруса показал, что величина эффективной пористости ($K_{п_эфф}$) в коллекторах, в среднем, составляет 4,22%, а для возможных коллекторов $K_{п_эфф}$ равно 2,08%, в среднем. Эти значения эффективной пористости являются довольно низкими, что очередной раз подтверждает сложность строения этих пород. Нужно отметить, что термин «возможный коллектор» в данном случае говорит о том, что порода характеризуется наличием связанной воды, и не представляет интереса для разработки. Вместе с тем, эта информация имеет большое значение для геомеханического и петроупругого моделирования.

Литература

1. Общая теория ЯМР. Химические сдвиги $1H$ и $13C$: Учебное пособие/ Ф.Х. Каратаева, В.В. Клочков. – Казань: Казанский федеральный университет, 2013. - 129 с.
2. Особенности изучения карбонатных пород-коллекторов лабораторными методами [Текст]: [монография] / И.П. Гурбагова, Д.В. Глушков, П. Н. Рехачев [и др.]; Филиал ООО "ЛУКОЙЛ-Инжиниринг" "ПермНИПИнефть в г. Перми". - Пермь: ЛУКОЙЛ-Инжиниринг, 2017. - 263 с: ил., схемы, табл., цв. ил.
3. И.С. Джафаров и др. Применение метода ядерного магнитного резонанса для характеристики состава и распределения пластовых флюидов / И.С. Джафаров, П.Е. Сынгаевский, С.Ф. Хафизов. – М.: Химия, 2002. – 439 с.
4. Джордж Р. Коатес, Ли Чи Хиао и Манфред Д. Праммер. Каротаж ЯМР. Принципы и применение. США. Халлибуртон Энерджи Сервисес. 2001.

© Шайхинов Ш.Н., Вахитова Г.Р., 2026

ОЦЕНКА ТЕКУЩЕЙ НАСЫЩЕННОСТИ ПЛАСТОВ МЕОТИЧЕСКОГО ЯРУСА НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОМ ИНГК-СО

На поздней стадии разработки нефтяных месторождений актуальной задачей является достоверное определение текущей нефтенасыщенности коллекторов в обсаженных скважинах. Особую сложность представляют неоднородные по строению пласты меотического яруса, в частности продуктивные горизонты верхней песчано-глинистой части (ВПГЧ) и основной песчаной (ОПЧ), где отмечается неравномерное чередование тонких прослоев алевролитов, рыхлых песчаников и глин невыдержанной мощности, в следствии чего изменчивость литологии существенно влияет на показания. В таких условиях наиболее информативным является метод спектрометрического импульсного нейтронного гамма каротажа (ИНГК-СО), позволяющий определять макроскопическое сечение захвата тепловых нейтронов и оценивать элементный состав породы [1].

Целью данной работы является оценка текущей нефтенасыщенности пластов меотического яруса (пласты ОПЧ и ВПГЧ) методом ИНГК-СО.

Импульсный спектрометрический нейтронный гамма каротаж – это геофизический метод, который основывается на регистрации гамма излучения неупругого рассеяния и радиационного захвата нейтронов. По спектрам определяются макроскопическое сечение захвата тепловых нейтронов и их время жизни, а также содержание ряда элементов (Si, Ca, S, Cl). Это позволяет уточнить литологию, глинистость и наличие флюида, что критически важно для сложных коллекторов [2].

Нефтенасыщенные коллекторы по данным ИНГК-СО характеризуются низким содержанием хлора, макроскопическим сечением захвата тепловых нейтронов $\Sigma_a = 22-23 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ (типичным для нефти), а также превышением значений кривой $\frac{C}{O}$ над $\frac{Ca}{Si}$, что указывает на присутствие углеводов. Водонасыщенные интервалы, напротив, отличаются повышенным содержанием хлора, увеличением сечения захвата (Σ_a варьируется от 23 до $100 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ и выше) и низкими значениями $\frac{C}{O}$ (измеренное отношение интенсивности гамма-квантов от углерода и кислорода в исследуемом интервале).

Особое внимание следует уделить анализу опорных соотношений $\frac{c}{o}W$ (расчетная кривая отношения $\frac{c}{o}$ при полном насыщении порового пространства водой) и $\frac{c}{o}N$ (расчетная кривая отношения $\frac{c}{o}$ при полном насыщении порового пространства нефтью). В сложных глинистых коллекторах пластов ОПЧ и ВПГЧ меотического яруса эти параметры необходимо корректировать с учётом объёмной глинистости (Кгл), так как глинистые прослойки вносят искажения в измеряемое отношение $\frac{c}{o}$ [3].

Расчет текущего коэффициента нефтенасыщенности выполняется на основе данной формулы:

$$K_{H_тек} = \frac{\frac{c}{o} - \frac{c}{o}W}{\frac{c}{o}N - \frac{c}{o}W}$$

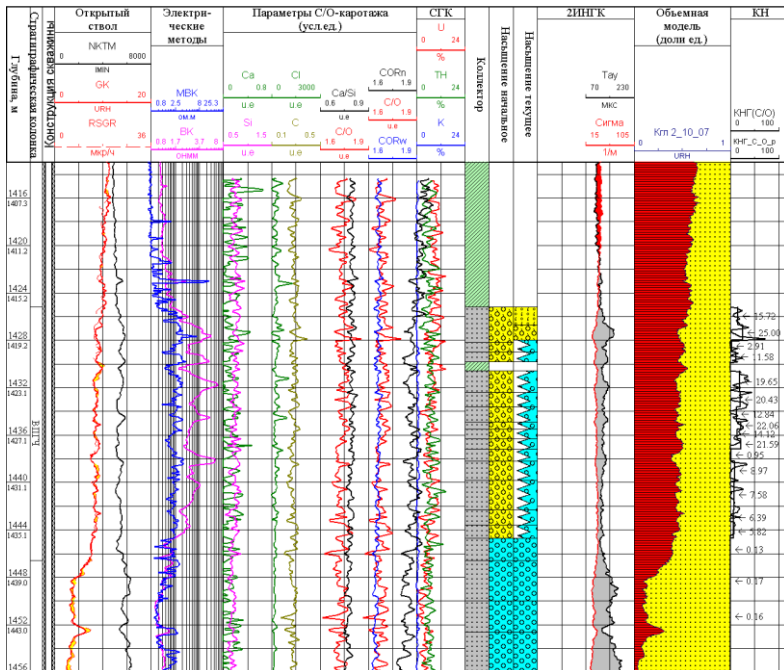


Рис. 1. Планшет с результатом интерпретации

В работе выполнена интерпретация данных ИНГК-СО в коллекторах меотического яруса. Учет прослоев глин и неоднородного геологического строения позволил уточнить текущую нефтенасыщенность в интервалах,

где стандартные методы давали неоднозначные результаты. Уточненные значения текущей нефтенасыщенности позволяют обоснованно выбирать методы увеличения нефтеотдачи для коллекторов IV горизонта.

Литература

1. Велижанин В.А., Бортасевич В.С., Лобода Д.Р. и др. Инструкция по проведению импульсного спектрометрического нейтронного гамма-каротажа аппаратурой серии АИМС и обработке результатов измерений при оценке текущей нефтенасыщенности пород. – Тверь: ООО «Нефтегазгеофизика», 2004г. – 81 с.

2. Вахитова Г.Р., Шарафутдинов Р.Ф., Бикметова А.Р. Определение минералогического состава сложных коллекторов по результатам интерпретации данных импульсного нейтронного гамма-каротажа спектрометрического // Научно-технический журнал «Нефтяное хозяйство», № 8, 2021 г., 27–29 с.

3. В.И. Петерсилье, Г.Г. Яценко. Методические рекомендации по применению ядерно-физических методов ГИС, включающих углерод-кислородный каротаж, для оценки нефте- и газонасыщенности пород коллекторов в обсаженных скважинах. – Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2006 г.

© Каримова Д.Ф., Вахитова Г.Р., 2026

УДК 538.955

Семенов К.А.,
асп. 1 г. об. ТюмГУ, г. Тюмень
Науч. рук.: Шевелев А.П.,
д.ф.-м.н., проф. ТюмГУ, г. Тюмень

СИНТЕЗ ИНТЕРВАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРОБЕГА ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ОСНОВЕ ПОЛНОГО КОМПЛЕКСА ГИС LWD В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН

Акустические методы исследования скважин являются важными для построения большого количество моделей, которые позволяет производить успешную разработку месторождения. Часто интервальное время пробега волн применяется для увязки с сейсмическими данными, построение скоростного закона и прогноза залежей [1, 2]. Помимо того, что данные ГИС является основой для выше описанного пороупруго моделирования, они также являются основой для построения геомеханической модели. Последняя необходима для прогноза того, как

будет вести себя горная порода при внешнем на нее воздействии (бурении или проведении операций по гидравлическому разрыву пласта).

На данный момент в нефтегазовой отрасли все компаний начинают работать со сложными запасами и месторождениями. Для их рентабельной разработки необходимо строительство высокотехнологических скважин (многозабойных, горизонтальных с МГРП и так далее). Бурение таких объектов сопряжено с высоким риском возникновения геологических осложнений. Для их прогноза выполняется построение геомеханической модели [3], а для ликвидации променяют различные технологические решения, описанные в работах [4, 5].

В данной работе рассмотрен способ синтезирования интервального времени пробега продольной и поперечной акустических волн при помощи метода машинного обучения (CatBoost). Для обучения модели использовались 50 разведочный скважин (вертикальных или субвертикальных с зенитным углом не более 20 градусов) с записью объёмной плотности, сопротивления, гамма-каротажа, водородсодержания и акустического широкополосного каротажа. Слепое тестирование показало сходимость записанной и предсказанной моделью волн не менее 87%. Применение данной модели позволит уточнять геомеханические свойства породы в процессе бурения и реагировать на ранее не спрогнозированные риски.

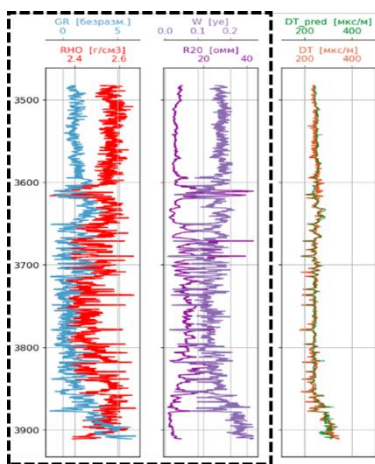


Рис. 1. Результаты слепого тестирования

Литература

1. Дернова А. С., Пирогова А. С. Петроупругое моделирование морских слабоконсолидированных осадков: дополненный обзор распростра-

нённых моделей и аспектов их применения при инженерных изысканиях на шельфе.

2. 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 – 2023

3. Поляков, Д. А. Внедрение геомеханического моделирования / Д. А. Поляков, В. А. Павлов, В. А. Морева, П. В. Ельсов, М. И. Самойлов, А. С. Нечаев // Тюменский нефтяной научный центр: [сайт]. – 2021. – URL: (дата обращения: 10.01.2026).

4. Цурихин, А. В. Бурение нефтяных и газовых скважин на обсадной колонне / А. В. Цурихин, И. В. Осинковская // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2024. – № 1. – С. 254–268.

5. Зайцев, В. И. Бурение скважин с комбинированным регулированием давления / В. И. Зайцев, А. В. Карпиков // Науки о Земле и недропользование. – 2022. – Т. 45, № 1. – С. 60–72. – DOI: 10.21285/2686-9993-2022-45-1-60-72. – Текст: непосредственный.

© Семенов К.А., Шевелев А.П., 2026

УДК 532.546

Акманов И.С.,
асп. 3 г. об. Сколтех, г. Москва
Науч. рук.: Абаимов С.Г.,
к.ф.-м.н., проф. Сколтех, г. Москва

РАСЧЕТ ПРОНИЦАЕМОСТИ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ОБРАЗЦОВ КЕРНА МЕТОДОМ ДАРСИ-БРИНКМАНА-СТОКСА

Цифровая петрофизика представляет собой вычислительную альтернативу традиционным экспериментальным методам исследования горных пород [1]. Она объединяет высокоразрешающую томографию и численное моделирование. Общий алгоритм включает получение трехмерного изображения керна, сегментацию на фазы, построение расчетной области и гидродинамическое моделирование.

В данной работе представлен подход прямого численного моделирования однофазного течения на основе метода Дарси-Бринкмана-Стокса (ДБС) [2] для оценки проницаемости образцов керна. Исследовались образцы низкопроницаемых песчаников Ачимовской толщи Западной Сибири. Особенность этих пород – наличие большой доли

микропористых областей, неразрешимых томографией. Цифровые модели сегментировались на три фазы: поры, микропоры и твердую матрицу. Модель ДБС дополняет уравнение Навье-Стокса членом сопротивления, зависящим от локальной проницаемости:

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \mu k^{-1} \mathbf{u} \quad (1)$$

В чистых порах течение описывалось уравнением Навье-Стокса. В микропористых областях локальная проницаемость определялась как функция пористости, течение описывалось моделью Дарси-Бринкмана.

Расчеты выполнены в OpenFOAM [3] – инструменте вычислительной гидродинамики, основанном на методе конечных объемов, с использованием стационарного решателя на основе алгоритма SIMPLE. Задавался перепад давления, проницаемость оценивалась по закону Дарси после достижения стационарного состояния.

На рисунке 1 показаны полная цифровая модель ядра с полем локальной пористости и установившееся поле давления после моделирования. На рис. 2 представлено сравнение численной проницаемости с экспериментальными данными для трех образцов. Полученные оценки показали хорошее согласие с экспериментальными данными.

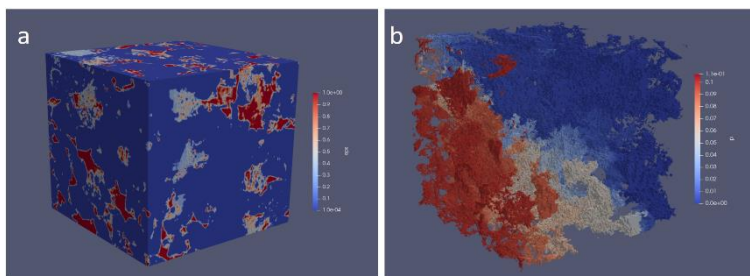


Рис. 1. (а) Цифровая модель ядра с полем локальной пористости, (б) установившееся поле давления в поровом пространстве образца

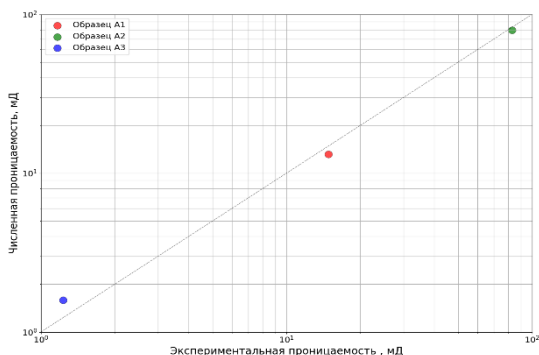


Рис. 2. Сравнение численной проницаемости, полученной на основе модели Дарси-Бринкмана-Стокса, с экспериментальными данными

Литература

1. H. Andrä, N. Combaret, J. Dvorkin, E. Glatt, J. Han, M. Kabel, Y. Keehm, F. Krzikalla, M. Lambert, A. Lesueur, and R. Weger, *Comput. Geosci.* 50, 25 (2013).
2. C. Soulaïne, S. Gjennestad, H. A. Tchelepi, and M. J. Blunt, *Transp. Porous Media* 113, 227 (2016).
3. H. G. Weller, G. Tabor, H. Jasak, and C. Fureby, *Comput. Phys.* 12, 620 (1998).

© Акманов И.С., Абаимов С.Г., 2026

УДК 532.546

Хусаинова Р.Р.,
 маг. 2 г. об. ФТИ УУНИТ, г. Уфа
 Науч.рук.: Вахитова Г.Р.,
 д.г.-м.н., доц. ФТИ УУНИТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПРИТОКА ДВУХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ

Количественно оценить общий дебит каждого перфорированного интервала возможно методом скважинной расходомерии. Но низкий дебит потока жидкости, менее порога страгивания прибора, является значимым ограничением этого метода. В таком случае, наиболее информативным методом является скважинная термометрия [1]. По распределению температуры в стволе скважины можно выделить интервалы притока только на качественном уровне. Однако для

добывающих компаний необходима детальная информация о вкладе каждого работающего интервала перфорации.

При помощи математических моделей, которые являются основой термодинамического симулятора PSim [2], возможно количественно определить дебит жидкости по данным измерения температуры в скважине.

Целью данной работы является моделирование профиля притока двухфазной жидкости в добывающей скважине в режиме компрессирования.

В скважине выполнен комплекс промыслово-геофизических исследований (ПГИ), включающий измерения температуры (Т), данных расходомерии (РГД) при компрессировании и после отключения компрессора в различное время и другие методы. По результатам интерпретации комплекса ПГИ отмечается работа интервала перфорации 2133,6-2136,0 м. При этом в составе притока – вода с нефтью, доля воды составила 95%. Расчетное значение дебита по данным РГД в режиме компрессирования составило 17,8 м³/сут при значении порога страгивания в 12 м³/сут.

На основе исходной информации об истории работы скважины, а также результатов оценки комплекса ПГИ выполнялось моделирование притока жидкости при помощи термосимулятора PSim. Полученные результаты приведены на рисунке 1.

Здесь красная кривая – это фоновое распределение температуры зарегистрированное в скважине; серая кривая – это фоновая модельная термограмма; синяя – это распределение температуры при компрессировании; зеленая – модельная термограмма в режиме компрессирования. При моделировании рассчитаны дебиты для каждой фазы в отдельности. В таблице 1 приведены результаты моделирования.

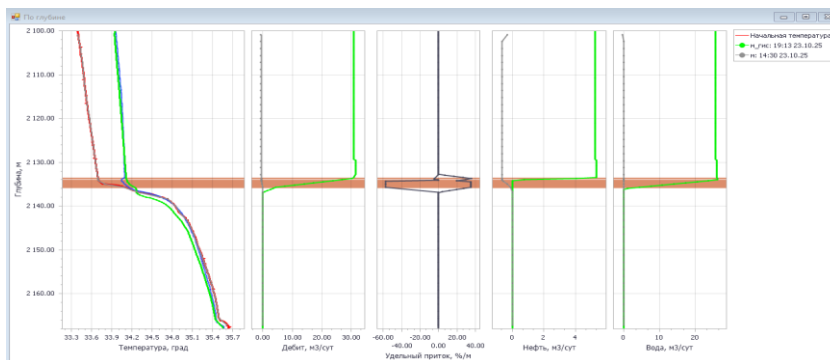


Рис. 1. Результаты моделирования в термосимуляторе Psim

Таблица 1

Результаты обработки с использованием термосимулятора

Кровля, м	Подошва, м	Фаза	Проницаемость, мД	Доля притока, %	Дебит, м ³ /сут
2133,60	2134,00	Нефть	33	16,15	5,2
2134,01	2136,00	Вода	33	83,85	27,0

Результаты моделирования хорошо согласуются с реальными данными ПГИ.

Литература

1. Валиуллин Р.А., Яруллин Р.К. Учебное пособие «Исследование действующих скважин» // Уфа: РИЦ БашГУ 2015 г. – 156 с.
2. Хабиров Т. Р., Канафин И. В., Рамазанов А. Ш. Учебное пособие «Использование термогидродинамических симуляторов „PSim“ и „ISim“ для интерпретации данных промыслово-геофизических исследований скважин» // Уфимский университет науки и технологий, 2025 г.

© Хусаинова Р.Р., Вахитова Г.Р., 2026

УДК 622.02

Асфина Р.Р.,
студ. 5 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Давлетшин Ф.Ф.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Знание напряженно-деформированного состояния (НДС) и прочностных свойств пород лежит в основе инженерного анализа и проектирования в нефтегазовой отрасли. НДС характеризует распределение нормальных, касательных напряжений и деформаций в горной призме под действием естественных и эксплуатационных нагрузок (гравитационных сил, пластового давления, режимов бурения и гидроразрыва). Прочностные свойства пород определяют их поведение при нагружении и возможность локальных деформаций, разрушений, трещинообразования и деформационного удлинения. Для бурения и

разработки месторождений следует учитывать, что высокие напряжения в стволе ведут к трещинообразованию, резкому снижению устойчивости колонны, повышению рисков обвала и выхода пласта в зону бурения [1].

С ростом требований к эффективной добыче, увеличением глубин залегания, сложности геологических условий и возрастанием затрат на эксплуатацию, точное знание НДС и прочностных свойств пород становится критическим фактором экономической и экологической безопасности проектов. Целью работы является изучение методических подходов и проведение оценки напряжений и прочностных характеристик горных пород на основе комплексного анализа данных геофизических исследований скважин. В рамках выполнения работы построена одномерная геомеханическая модель скважины, определены вертикальные и горизонтальные напряжения, рассчитаны упругие свойства (модуль Юнга и коэффициент Пуассона) горных пород.

Литература

1. Зобак М. Д. Геомеханика нефтяных залежей / перевод с английского В.Л. Фрика; под редакцией специалистов ООО «Газпромнефть НТЦ». – Ижевск: Институт компьютерных исследований, Газпромнефть, 2018. – 479 с.

© Асфина Р.Р., Давлетшин Ф.Ф., 2026

УДК 532.546

Хаматдинов М.Ф.,
студ. 5 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Давлетшин Ф.Ф.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОИНТЕРВАЛЬНОГО РАСХОДА ФЛЮИДА В НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ

Для повышения эффективности разработки месторождений традиционно применяются нагнетательные скважины, чтобы поддерживать пластовое давление и повышать нефтеотдачу продуктивных пластов за счёт закачиваемой воды. Важной задачей при эксплуатации нагнетательных скважин является определение поинтервального расхода закачиваемой жидкости в пласт [1]. Термометрия является самым доступным и информативным способом решения этой задачи.

В данной работе для определения поинтервального расхода флюида выполнено моделирование в симуляторе термогидродинамических процессов «ISim», были выполнены расчёты температурного поля в

нагнетательной скважине и проанализировано влияние скин-эффекта на распределение температуры напротив пласта (рис. 1).

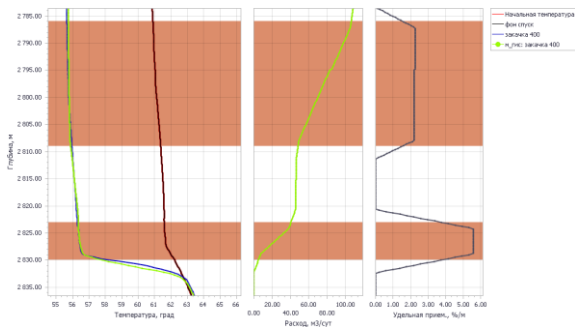


Рис. 1. Пример результата моделирования в термосимуляторе

На рис. 1 представлен пример расчёта модели распределения температуры в симуляторе ISim.

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., Давлетшин Ф.Ф., 2026

УДК 550.832.6

Аликов К.Р.,
студ. 5 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Рамазанов А.Ш.,
д.т.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В УПРУГОМ ПЛАСТЕ

При фильтрации жидкости в пористой среде температурное поле формируется под влиянием теплопроводности, конвективного переноса тепла, эффекта Джоуля–Томсона и адиабатического эффекта. Э. Б. Чекалюк показал, что при движении жидкости в пласте необходимо учитывать термодинамические эффекты, связанные с изменением давления. На практике для расчётов температурного поля широко применяется модель «жёсткого пласта», предполагающая мгновенную стабилизацию поля давления и пренебрежение сжимаемостью скелета и флюида [1, 3]. Однако на ранних стадиях притока игнорирование

нестационарности давления вносит систематическую погрешность за счёт неучёта адиабатического эффекта.

Количественное определение границ применения упрощённой модели «упругого пласта» необходимо для выбора алгоритма интерпретации данных термогидродинамических исследований (ТГДИ), повышения достоверности определения фильтрационно-ёмкостных свойств пласта и обоснования перехода от полной модели к аналитическим приближениям

Целью данной работы является определение области применимости упрощённой аналитической модели без учёта сжимаемости пластовой системы для расчета нестационарного температурного поля с учетом эффекта Джоуля–Томсона и адиабатического эффекта.

В работе [2] получено точное аналитическое решение для температуры в упругом пласте (без учёта теплопроводности):

$$T(z) = \frac{\varepsilon Q}{4\pi\sigma} \cdot \int_z^\infty \left(\frac{e^{-x}}{x} - (1 + \alpha) \cdot \frac{e^{-x}}{(x + a \cdot e^{-x})} \right) dx; \quad (1)$$

$$z = \frac{r^2}{4\chi t}; \quad a = \frac{cQ}{4\pi\chi h}; \quad \alpha = \frac{\eta^*}{\varepsilon} \quad (2)$$

При $a \ll 1$ возможно использовать приближенное решение Чекалюка Э. Б.:

$$T(z) = \frac{\varepsilon Q}{4\pi\sigma} \{E_1(z) - (1 + \alpha) \cdot E_1(z + ae^{-z})\}; \quad (3)$$

При малых значениях аргумента ($z \ll 1$) экспоненциальный интеграл допускает разложение:

$$E_1(x) = -\gamma - \ln(x) + x; \quad (4)$$

Это позволяет получить асимптотическое представление и оценить вклад отдельных членов решения. При малых значениях параметра a приближенное решение практически совпадает с точным, поскольку член ae^{-z} остается малым во всем диапазоне изменения z .

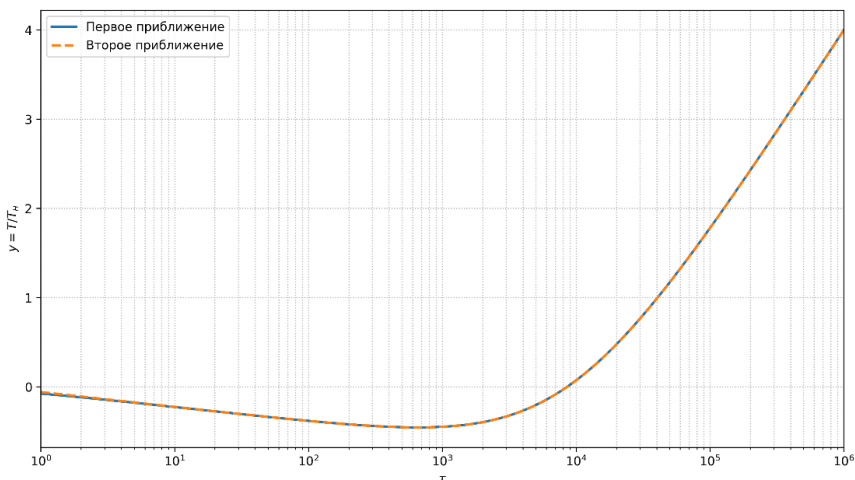


Рис. 1. Сравнение первого и второго приближения Чекалюка при $\alpha = 0,07$ и $a = 2,77 \cdot 10^{-5}$

На ранних стадиях работы скважины влияние адиабатического эффекта возрастает, однако по мере стабилизации режима фильтрации основной вклад начинает вносить эффект Джоуля–Томсона. Поэтому упрощенная аналитическая модель без учёта сжимаемости пластовой системы может применяться для расчетов температуры на поздних стадиях притока.

Литература

1. Рамазанов А.Ш. Аналитические модели в скважинной термометрии: учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2022. – 172 с.
2. Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. – М.: Недра, 1965. – 238 с.
3. Рамазанов А.Ш. Теоретические основы скважинной термометрии: учебное пособие. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. – 114 с.

© Аликов К.Р., Рамазанов А. Ш., 2026

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЁМКОСТНЫХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРОВ КАШИРО-ПОДОЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Нефтегазоносность каширо-подольских отложений подтверждена на более чем двадцати месторождениях [1]. В 2017 году выполнялся региональный проект по построению литолого-петрофизической модели отложений среднего карбона на всей территории республики Башкортостан [2]. Особенностью данных пород является сложное строение порового пространства, обусловленное сочетанием межзерновой, каверновой и трещинной пористости, а также высокой степенью литологической неоднородности. Это приводит к значительным погрешностям при оценке фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) по данным геофизических исследований скважин (ГИС) и требует разработки адаптированных петрофизических моделей.

Целью работы определение ФЕС коллекторов Манчаровского месторождения.

В работе рассмотрены карбонатные коллектора каширо-подольских отложений Манчаровского месторождения. Была создана база по 30 скважинам, выполнена оценка качества исходных кривых ГИС, проведена нормализация кривых, определены двойные разностные параметры, рассчитаны водородосодержание, общая и открытая пористости.

Результаты работы обеспечивают более точную оценку ФЕС каширо-подольских отложений и могут быть использованы при построении геологических и гидродинамических моделей.

Литература

1. Лозин Е.В. - Геология и нефтеносность Башкортостана. Уфа: БашНИПИнефть, 2015. 704 с.
2. Бурикова Т.В., Савельева Е.Н., Хусаинова А.М., Привалова О.Р. Литолого-петрофизическая типизация карбонатных пород отложений среднего карбона (на примере месторождений северо-западной части Башкортостана) // Нефтяное хозяйство. 2017. № 10. С. 18–21.

ПОСТРОЕНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРРИГЕННОЙ ТОЛЩИ НИЖНЕГО КАРБОНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЁМКОСТНЫХ СВОЙСТВ

Изучение терригенных коллекторов нижнего карбона (ТТНК) является неотделимой частью поиска и разработки нефтяных месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции [1]. Однако высокая литологическая неоднородность, изменчивость гранулометрического состава и сложные условия цементации приводят к значительной вариабельности фильтрационно-ёмкостных свойств коллекторов [2]. Это затрудняет построение достоверных петрофизических моделей и снижает точность прогноза продуктивности пластов.

Целью работы является разработка и обоснование петрофизической модели терригенной толщи нижнего карбона, обеспечивающей повышение точности определения пористости и проницаемости по данным геофизических исследований скважин.

В работе рассмотрены терригенные коллекторы радаевско-бобриковского горизонтов Кузбаевского месторождения. Была создана база по 20 скважинам, выполнена оценка качества исходных кривых ГИС, выполнена нормировка кривых радиоактивного каротажа, рассчитаны двойные разностные параметры, определено водородосодержание, весовая и объемная глинистости, рассчитаны общая и открытая пористости.

Результаты работы обеспечивают повышение достоверности оценки коллекторских свойств ТТНК и могут быть использованы при интерпретации данных ГИС и построении геологических моделей пластов радаевского-бобриковского горизонтов Кузбаевского месторождения

Литература

1. К.Ю. Муринов, С.П. Гвоздик, Е.Н. Савельева, Л.М. Шишлова - Влияние литолого-минералогического состава на петрофизические свойства терригенных пород нижнего карбона Хасановской площади // Журнал "Территория Нефтегаз" - 2015 - № 12 - стр. 70-75.
2. Астаркин С.В., Гончаренко О.П., Пименов М.В. - Обстановки осадконакопления в бобриковское время в пределах юго-востока Русской

УДК 550.8.08

Исламов Р.А.,
студ. 5 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарафутдинов Р.Ф.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА ДЛЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Для наиболее полного извлечения углеводородов из пласта необходимо повысить достоверность геофизических методов при контроле за эксплуатацией нефтегазовых месторождений. Наиболее перспективным при решении задач контроля за эксплуатацией нефтегазовых месторождений является метод термометрии скважин. Термометрия решает важнейшие задачи: выявление работающих пластов, определение нефтегазовых притоков и оценка технического состояния скважины. При интерпретации данных термометрии необходимо знать количественное значение коэффициента Джоуля-Томсона для того, чтобы знать состав притока. В настоящее время определены значения коэффициентов Джоуля-Томсона для простых жидкостей, однофазных систем, таких как газ, нефть, вода. Однако, в реальных условиях, наблюдается фильтрация смеси воды и нефти, нефти и газа, а также эмульсии [1-5].

В связи с этим, необходимо экспериментально определить значение коэффициента Джоуля-Томсона для водонефтяной эмульсии.

Цель данной работы заключается в изучении эффекта Джоуля - Томсона для водонефтяных эмульсий на основе выполнения экспериментов. Определение коэффициента Джоуля-Томсона проводится на основе изучения адиабатического процесса и оценки адиабатического коэффициента, теплоемкости и плотности эмульсии.

Необходимо изучить процесс образования эмульсий, исследовать термогидродинамические процессы и провести эксперименты по исследованию эффекта Джоуля Томсона.

Литература

1. А.А.Асылгареев,
Д.В.Космылин. //

Р.Ф.Шарафутдинов,
Экспериментальное

Р.А.Валиуллин,
исследование

термогидродинамических процессов при фильтрации водонефтяной эмульсии. Статья для вестника ТюмГУ 2022 //

2. Ахметов А.Т., Нигматулин Р.И., Федоров К.М. О механизме вытеснения нефти из пористой среды мицеллярными растворами // Доклады Академии наук СССР. 1987. Т. 293. № 3. С. 558.

3. Ахметов А.Т., Саметов С.П. Особенности течения дисперсии из микрокапель воды в микроканалах // Письма в Журнал технической физики. 2010. Т. 36. № 22. С. 21-28.

4. Ахметов А.Т., Телин А.Г., Мавлетов М.В. Новые принципы применения обратных водонефтяных эмульсий в потокоотклоняющих технологиях и глушении скважин // Нефтегазовое дело. 2005. № 3. С. 119-126.

5. Валиуллин Р.А., Кулагин О.Л., Шарафутдинов Р.Ф. Экспериментальное изучение термодинамических эффектов в газожидкостных системах // Физико-химическая гидродинамика: Межвузовский сборник. - Уфа, Башк.Гос.унивт. – 1995, С. 10-15 //

© Исламов Р.А., Шарафутдинов Р.Ф., 2026

УДК 550.832:004.65

Мухутдинов В.К.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Акчуринов Р.З.,
к. т. н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

В настоящее время России существует множество программ интерпретации данных геофизических исследований скважин, и каждая использует свой формат хранения данных [1, 2]. Большую распространённость в России имеет формат хранения данных системы Прайм – формат WS [3]. Формат представляет собой локальную реляционную базу данных, которая имеет 3 уровня хранения: первый уровень – это таблица, второй уровень – это строка, третий уровень – это поле.

Также широкое распространение в научных и инженерных задачах получил формат HDF5, представляющий собой иерархическую файловую систему [4]. В отличие от реляционных структур HDF5 организует данные в виде групп и наборов данных (datasets), поддерживая хранение многомерных массивов и атрибутов, что обеспечивает высокую гибкость и эффективность при работе с данными ГИС [5–7].

Целью работы является изучение возможности конвертации данных из формата WS в формат HDF5.

В работе выполнены сопоставления моделей объектов, хранящихся в файле WS с моделями аналогами в формате HDF5, используемой другой программой обработки данных ГИС. Выявлено, что данные каротажных кривых и результаты интерпретации могут быть свободно конвертированы, в тоже время остальные данные, только частично.

Результаты работы могут быть использованы для уменьшения затрат по переводу данных из одного формата в другой.

Литература

1. Шумилов А.В. Анализ существующих и разработка новых программных комплексов обработки и интерпретации информации о геофизических исследованиях скважин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т.19, № 2. – С.162–174. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.6

2. Воробьева Г.Р., Воробьев А.В., Орлов Г.О. Модель хранения пространственных данных тензорных геофизических полей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2025. Т. 25, № 3. С. 565–573. doi: 10.17586/2226-1494-2025-25-3-565-573

3. Система Прайм (PrimeGeo) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://primegeo.ru/catalog/sistema-praym-primegeo/> (дата обращения: 13.04.2026).

4. Hierarchical Data Format, version 5 (HDF5) [Электронный ресурс] / The HDF Group. – Режим доступа: <https://www.hdfgroup.org/solutions/hdf5/> (дата обращения: 13.04.2026).

5. Адамовский Е.Р., Богуш Р.П. Алгоритм представления метаданных и сфокусированных радиолокационных данных в формате HDF5 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, № 2. – С. 19–29.

6. Веб-ГИС система для анализа геофизических данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rdl-journal.ru/article/download/290/318/318> (дата обращения: 13.04.2026).

7. М.Н. Жижин, К. Элвидж, А.А. Пойда, А.И. Годунов, В.Е. Велихов, Г.Н. Ерохин, К.С. Алсынбаев, В.М. Брыксин. Использование данных дистанционного зондирования Земли и геофизических данных // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2014. – № 3. – С. 97–111. – URL: https://www.isa.ru/jitcs/images/documents/2014-03/97_111.pdf (дата обращения: 13.04.2026).

© Мухутдинов В.К., Акчурин Р.З., 2026

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕТРОТИПОВ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Карбонатные отложения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции характеризуются высокой литологической неоднородностью, сложной структурой порового пространства и значительной изменчивостью фильтрационно-ёмкостных свойств, что существенно затрудняет их интерпретацию по данным геофизических исследований скважин (ГИС) [1].

Для определения литологии карбонатных отложений по данным ГИС применяются гамма-каротаж, спектральный гамма-каротаж, нейтронный каротаж, плотностной каротаж, акустические и электрические методы, а также специальные методы, такие как ядерно-магнитный каротаж [2].

Таблица 1

Методы ГИС для определения литологии карбонатного разреза

№	Каротаж	Интерпретация
1	Гамма (ГК)	Низкие значения → чистые карбонаты (известняк, доломит); высокие → глины, аргиллиты
2	Спектральный гамма (СГК)	Позволяет выделять глинистые примеси, органическое вещество, уточнять литологию карбонатов
3	Нейтронный (НК)	Высокие значения → пористые или глинистые породы; используется для оценки пористости и косвенной литологии
4	Плотностной (ГГК)	Известняк ~2.71; доломит ~2.87; снижение плотности → повышение пористости
5	Акустический (АК)	Низкие значения → плотные карбонаты; высокие → пористые, трещиноватые породы
6	Электрический (БК, ИК)	Высокое сопротивление → плотные/нефтенасыщенные карбонаты; низкое → водонасыщенные или глинистые

7	Ядерно-магнитный (ЯМК)	Определение структуры порового пространства; различение типов коллекторов (поры, каверны, трещины)
8	Имидж	Выявление трещин, каверн, текстурных особенностей, слоистости
9	Кавернометрия (ДС)	Косвенный признак кавернозных и растворённых карбонатов (расширение ствола)

Наиболее достоверные результаты достигаются при комплексной интерпретации, основанной на совместном анализе данных нескольких каротажей.

Целью работы является определение петротипов продуктивных прослоев каширо-подольских отложений по данным геофизических исследований скважин.

Для статистической обработки в работе использовались данные ГК, НГК, акустического и плотностного каротажей по 10 скважинам. Данные предварительно были стандартизированы и приведены к одному общему интервалу глубин. С помощью метода кластеризации k-средних были выделены группы пород с близкими геофизическими характеристиками, соответствующие различным петротипам. Количество групп изначально было выбрано равным 7. В результате были получены непрерывные кривые, содержащие дискретные значения от 1 до 7, соответствующие петротипам.

Результаты работы могут быть использованы при подсчете запасов углеводородов, а также для снижения геологических рисков планирования геолого-технических мероприятий.

Литература

1. Привалова О.Р., Гансева А.И., Леонтьевский А.В., Минигалиева Г.И. Типизация карбонатных пород среднего карбона по структуре пустотного пространства для задач мониторинга разработки // Нефтяное хозяйство. 2023. № 8. С. 30–35.
2. Теленков В.М., Хаматдинов Р.Т., Возможности современного комплекса ГИС по детальному изучению пород баженовской свиты // Каротажник. – 2015. – № 3. – С. 3–17.

© Втюрина А.Д., Мухутдинов В.К., 2026

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ: ЧИСЛЕННЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Одной из ключевых задач подземной гидромеханики является описание совместного течения двух или более несмешивающихся жидкостей (например, нефти и воды) в пористой среде. Ввиду нелинейности уравнений фильтрации, обусловленной зависимостью относительных фазовых проницаемостей и капиллярного давления от насыщенности, для решения практических задач применяются как аналитические, так и численные подходы [1].

В аналитических методах (метод характеристик, решение Баклея–Леверетта) уравнение неразрывности сводится к уравнению переноса насыщенности:

$$\frac{\partial s}{\partial \tau} + f'(s) \frac{\partial s}{\partial \xi} = 0.$$

На рис. 1 представлено распределение насыщенности воды в разное время при вытеснении нефти водой полученное численным методом (явный левый уголок).

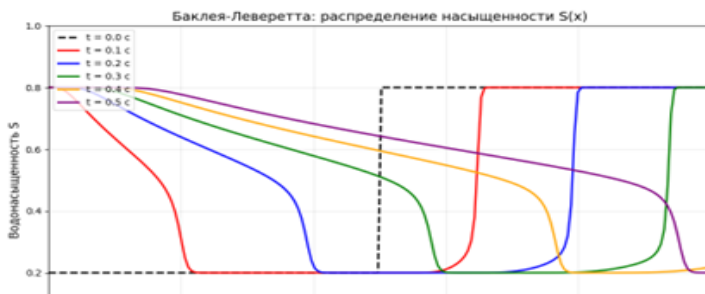


Рис. 1. Распределение насыщенности воды

Литература

1. Басниев К. С., Кочина И. Н., Максимов В. М. Подземная Б 27 гидромеханика: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1993. 416 с: ил.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ЗАРЕЗКИ БОКОВЫХ СТВолов И КРИТЕРИИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Одной из актуальных проблем при разработке месторождений Западной Сибири является высокая степень выработанности запасов и обводненность продукции. Терригенные коллекторы региона характеризуются выраженной литологической неоднородностью, что ведет к формированию застойных зон. Эффективным методом вовлечения в разработку трудноизвлекаемых запасов и интенсификации добычи является зарезка боковых стволов (ЗБС), позволяющая использовать существующую инфраструктуру скважин.

Целью работы является проведение сравнительной оценки современных методов ЗБС и обоснование критериев выбора оптимальной технологии для геолого-технических условий Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Традиционный подход «универсального решения» неэффективен из-за различий в техническом состоянии эксплуатационной колонны, прочностных характеристик пород и задач по вскрытию пласта.

В работе проанализированы основные методы формирования отклонения: клиновые и бесклиновые системы, опора на искусственный забой, применение специальных реззных долот и гидромониторная зарезка. Для оценки эффективности технологий предложен системный подход, учитывающий коэффициент увеличения зоны дренирования K_d и вероятность успешной зарезки P_y . Особое внимание уделено расчету удельного экономического эффекта, сопоставляющего стоимость работ с ожидаемым приростом дебита.

В рамках исследования установлено, что для обсаженных скважин с удовлетворительным состоянием колонны наиболее надежным остается применение клиновых отклонителей. В условиях открытого ствола или при необходимости сокращения металлорежущих операций обосновано преимущество бесклиновых отклоняющих систем. Предложенные критерии выбора позволяют снизить риск технологических осложнений и повысить точность позиционирования бокового ствола в продуктивном интервале.

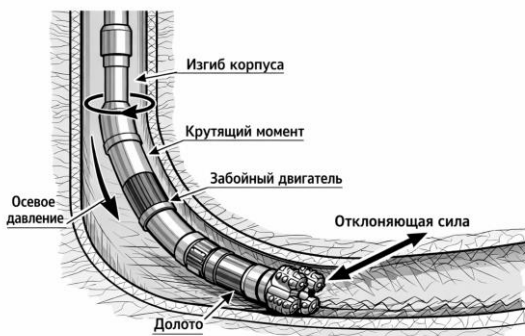


Рис. 1. Схема резки бокового ствола с использованием бесклиновой отклоняющей системы

Реализация обоснованного выбора технологии ЗБС позволяет сократить капитальные затраты на 30–60% относительно строительства новых скважин, обеспечивая окупаемость проекта в срок от 1 до 3 лет и существенное повышение коэффициента извлечения нефти.

Литература:

1. Ахметов Р.М. Технологии резки боковых и многозабойных скважин: учеб. пособие. – Уфа: УУНиТ, 2019. -184 с.
2. Бахтизин Р.Н., Гареев Р.Р. Направленное бурение и реконструкция скважин: учеб. пособие. – Уфа: УУНиТ, 2021. -168 с.
3. Гареев Р.Р. Геолого-технологические основы резки боковых стволов скважин: учеб. пособие. – Уфа: УУНиТ, 2019. -144 с.

© Гильманов Р.Я., Мухутдинов В.К., 2026

УДК 53

Рамазанов И.Ш.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Валиуллин Р.А.,
д.т.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОЦЕНКА НЕЦЕЛЕВОЙ ЗАКАЧКИ ВОДЫ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

На современном этапе разработки нефтяных месторождений значительная часть активов находится на поздней стадии эксплуатации, характеризующейся ростом обводнённости продукции и снижением эффективности систем поддержания пластового давления. Закачка воды является ключевым инструментом управления пластовой энергией, однако её эффективность существенно снижается при наличии нецелевого

распределения потоков по разрезу. Нецелевая закачка приводит к преждевременному прорыву воды в добывающие скважины, снижению коэффициента нефтеотдачи и увеличению затрат на добычу и подготовку продукции. В этих условиях особую значимость приобретает задача достоверной диагностики профиля приемистости и выявления интервалов, в которые происходит неконтролируемое поступление закачиваемой воды. Геофизические исследования скважин являются одним из наиболее информативных инструментов для решения данной задачи, обеспечивая оперативное получение данных о распределении потоков и состоянии призабойной зоны.

Основной проблемой при эксплуатации нагнетательных скважин является несоответствие фактического профиля закачки проектным параметрам. Это обусловлено высокой неоднородностью коллекторов, наличием высокопроницаемых пропластков, трещиноватостью, а также нарушением целостности цемента и перетокам закачиваемой воды по заколонному пространству скважины. В результате значительная часть закачиваемой воды может уходить в нецелевые интервалы, не участвуя в эффективном вытеснении нефти. Дополнительные сложности связаны с ограниченной информативностью отдельных методов исследований при их раздельном применении. Например, температурные аномалии могут быть неоднозначно интерпретированы без учета данных о расходе, а исследования с применением шумометрии требуют дополнительной оценки. Кроме того, влияние эксплуатационных условий, таких как режим закачки, термобарические параметры и конструкция скважины, затрудняет однозначную интерпретацию результатов. Отсутствие комплексного подхода к анализу данных приводит к рискам недооценки масштабов нецелевой закачки и, как следствие, к принятию неэффективных решений.

Для повышения достоверности оценки нецелевой закачки применяется комплексный подход, основанный на интерпретации различных геофизических методов. Ключевую роль играет расходометрия, позволяющая определить распределение закачиваемого объема по интервалам и выделить зоны повышенной приемистости. Метод термометрии используется для выявления аномалий температурного поля, связанных с фильтрацией жидкости, что позволяет уточнить границы работающих интервалов. Шумометрия дополняет картину, фиксируя акустические эффекты движения флюида и помогая выявлять заколонные перетоки и интервалы негерметичности. Существенное значение имеет совместная интерпретация всех полученных данных с учетом геолого-технических условий. Анализ проводится на основе сопоставления результатов различных методов, что позволяет выделить интервалы целевой и нецелевой закачки. Дополнительно учитываются данные о

литологии, проницаемости и техническом состоянии скважины, что повышает надежность выводов. Результаты комплексной интерпретации служат основой для принятия решений, направленных на оптимизацию системы поддержания пластового давления. К таким решениям относятся проведение изоляционных работ, перераспределение закачки по интервалам, а также мероприятия по восстановлению герметичности колонны. Применение данного подхода позволяет существенно снизить объем нецелевой закачки, повысить эффективность разработки месторождения и сократить эксплуатационные затраты.

Литература

1. Патент РФ № 2795225. E21B47/06. Способ определения работающих интервалов в действующих скважинах. / Шарафутдинов Р.Ф., Валиуллин Р.А., Рамазанов А.Ш., Космылин Д.В. № заявки: 2022120551. Дата регистрации: 25.07.2022. Дата публикации: 02.05.2023.

© Рамазанов И.Ш., Валиуллин Р.А., 2026

УДК 621.314.1

Сулейманова А.Р.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарафутдинов Р.Ф.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ И ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОКОНДЕНСАТА

В работе представлен анализ современных исследований температурного поля при неизотермической фильтрации газоконденсатных систем [1, 2]. Рассмотрено формирование температурных аномалий в призабойной зоне пласта, обусловленных дроссельным охлаждением, теплотой ретроградной конденсации и влиянием пластовой воды. Показана роль относительных фазовых проницаемостей и капиллярных эффектов в снижении подвижности флюидов. Обоснована перспективность применения гибридных моделей, необходимых для ускорения расчётов и повышения точности прогнозов разработки газоконденсатных месторождений, включающих в себя классические уравнения термодинамики и гидродинамики с элементами методов машинного обучения, а именно physics-informed neural networks (PINN), проанализированы современные методы ускорения

гидродинамических расчётов с применением алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей [3,4]. В данной работе используется аналитический метод, основанный на обзоре отечественной и зарубежной литературы по термодинамике углеводородных систем, подземной гидромеханике и математическому моделированию фазовых превращений.

С помощью анализа литературы были сформулированы следующие выводы:

1. Формирование температурного поля.

В призабойной зоне температура флюида определяется балансом конкурирующих эффектов. При высоких пластовых давлениях коэффициент Джоуля-Томсона для природных газов обычно отрицателен ($\epsilon < 0$), что вызывает охлаждение при расширении газа. Одновременно с этим, при снижении давления ниже точки росы начинается процесс ретроградной конденсации, что сопровождается выделением теплоты фазового перехода. Если начальное пластовое давление близко к давлению начала конденсации, то тепловыделение может преобладать над дроссельным охлаждением, в результате чего формируется положительная температурная аномалия на стенке скважины и частично сдерживается дальнейшее выпадение жидкости.

2. Влияние воды на фазовое равновесие и фильтрацию [5].

Присутствие водяного пара в газовой фазе смещает фазовую диаграмму в область более высоких давлений, повышая давление начала конденсации на 2,8-4,5%. Минерализация пластовой воды изменяет условия равновесия, снижая активность водяного пара. При водонасыщенности более 10-15% наблюдается существенное снижение добычи конденсата, связанное с закупоркой поровых каналов и ухудшением относительной проницаемости по газу.

3. Роль относительных фазовых проницаемостей.

В системе «газ-конденсат-вода» эффективная проницаемость нелинейно зависит от насыщения, смачиваемости и капиллярного давления. Критическая конденсатонасыщенность приводит к резкому падению проницаемости по газу, так как происходит формирование скоплений конденсата. В трехфазных системах фазы распределяются непосредственно в процессе фильтрации, что делает более сложным экспериментальное определение кривых относительных проницаемостей и требует применения модифицированных моделей (Стоуна, Кори с учётом остаточных насыщений).

4. Математическое моделирование и перспективы ИИ.

Классические гидродинамические симуляторы решают связанную систему уравнений сохранения массы компонентов, движения (закон Дарси для многофазного течения) и теплопереноса (учет кондуктивного и

конвективного переноса, источников теплоты фазовых переходов). Многокомпонентный состав и итерационный расчет фазовых равновесий (K-факторы, уравнение Пенга–Робинсона) требуют значительных вычислительных ресурсов. В последние годы была доказана эффективность применения моделей, аппроксимирующих результаты численных симуляций, и physics-informed neural networks (PINN)[4]. Такие модели позволяют значительно сократить время расчетов при учете физических процессов, что особенно важно для оптимизации режимов эксплуатации и прогнозирования зон риска образования конденсатных пробок.

Литература

1. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. М.: Недра, 1992.
2. Шарафутдинов Р.Ф., Канафин И.В., Буджогра С. Исследование температурного поля в газоконденсатных пластах с учетом термодинамических эффектов. 2023. DOI: 10.21684/2411-7978-2023-9-4.
3. Samioti A., Gaganis V. Machine Learning in Reservoir Simulation: A Review // Energies. 2023. Vol. 16, Iss. 9. Art. 3865.
4. Zhou W. et al. Machine Learning in Reservoir Engineering: State-of-the-Art Review // J. Petrol. Sci. Eng. 2024. Vol. 232. Art. 112458.
5. Фаталиев В.М. Влияние воды на фазовые превращения в газоконденсатных системах // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2015. №1(11).

© Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф., 2026

УДК 546.622

Зиязетдинов С.И.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарафутдинов Р.Ф.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МНОГОФАЗНЫЕ ПОТОКИ В СТВОЛЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ. РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ТЕРМОМЕТРИИ

Эксплуатация горизонтальных скважин является ключевым трендом современной нефтегазовой добычи, однако контроль притока флюида вдоль ствола остаётся сложной задачей. Наиболее информативным методом локализации интервалов притока флюидов является термометрия, основанная на регистрации температурных аномалий, вызванных эффектом Джоуля–Томсона и др. В то же время движение

многофазного потока (нефть, газ, вода) в горизонтальном стволе характеризуется сменой режимов течения (расслоенный, пробковый, пузырьковый), каждый из которых по-разному искажает температурное поле. Актуальность работы обусловлена тем, что пузырьковый режим течения, часто встречающийся при низких скоростях газа и наличии обводнения, создаёт ложные температурные аномалии, имитирующие работающие интервалы или перетоки за колонной. Без учёта особенностей пузырькового режима интерпретация термометрии в горизонтальных скважинах может приводить к ошибочным выводам в определении профиля притока [1,2].

Для исследования этого вопроса была создана модель интерпретации режимов течения с использованием искусственного интеллекта (ИИ) [3]. Была сгенерирована программа для визуализации процессов и режимов в скважине в виде графиков.

Рассмотрены ключевые эффекты

Эффект	Формула/Механизм	Как влияет на температуру
Эффект Джоуля-Томсона для газа	$\Delta T = \mu_{JT} \times \Delta P$	Газ охлаждается при расширении ложное охлаждение
Теплообмен между фазами	$q = h \times A \times (T_{gas} - T_{liquid})$	Выравнивание температуры (сглаживание аномалий)
Скольжение фаз	$V_{gas} > V_{liquid}$	Пузырьки «обгоняют» жидкость перенос теплового сигнала

Данное исследование поможет в автоматизации интерпретации данных термометрии, что приведет к облегчению работы и сокращению времени интерпретации данных.

Литература

1. Хабиров Тимур Раильевич. Влияние межфазного теплообмена на температурное поле в горизонтальной скважине при расслоенном течении // Вестник Тюменского государственного университета, 2016, том 2. № 1
2. Геофизические исследования и работы в скважинах. Том 7. Геолого-технологические исследования в, автор: Шматченко С.Н. (сост.), ISBN: 9785904555191
3. <https://deepseek.com/en/>

© Зиязетдинов С.И., Шарафутдинов Р.Ф., 2026

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОКСИ-МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРИОБСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Для повышения качества расчетов, надежности и точности прогнозирования нефтеизвлечения на всех стадиях проектирования рекомендуется использование цифровых двухмерных фильтрационных моделей месторождений, на основе которых можно выполнять гидродинамические расчеты технологических показателей разработки.

Одним из опорных инструментов при оценке и расчёте основных показателей разработки месторождения является программный модуль Прокси-модель пласта интегрированной цифровой среды «РН-КИН» [1], предназначенный для автоматизированного построения прокси-моделей для моделирования полей пластовых давлений и проводимости на основе учета фильтрации флюида в пласте.

Целью данной работы является применение гидродинамической прокси-модели для прогнозирования нефтеизвлечения при планировании геолого-технических мероприятий (ГТМ) на Приобском месторождении, а также проведение исследования эффективности данных расчётов по результатам проведённых мероприятий.

Опыт разработки коллекторов показал, что без использования геомеханического моделирования невозможно корректное моделирование процесса разработки. Особенно важно учитывать эффекты формирования техногенных трещин ГРП в процессе нагнетания при высоких забойных давлениях (трещины автоГРП) [2].

То есть, прежде чем переходить к решению поставленных задач, в обязательном порядке стоит адаптировать имеющуюся модель.

Существует определённый алгоритм выполнения секторной адаптации:

1. создание проектной скважины в необходимом секторе;
2. выделение сектора для проведения адаптации;
3. проведение расчёта карт для дальнейшего анализа сектора;
4. изменение параметров, влияющих на расчётные значения (углы и длины трещин ГРП, ОФП, доля закачки);
5. проведение повторного расчёта карт.

После использования всех инструментов адаптации должна наблюдаться сходимость модельных и фактических данных.

После того как сектор адаптирован можно переходить к прогнозированию результатов от проведения ГТМ.

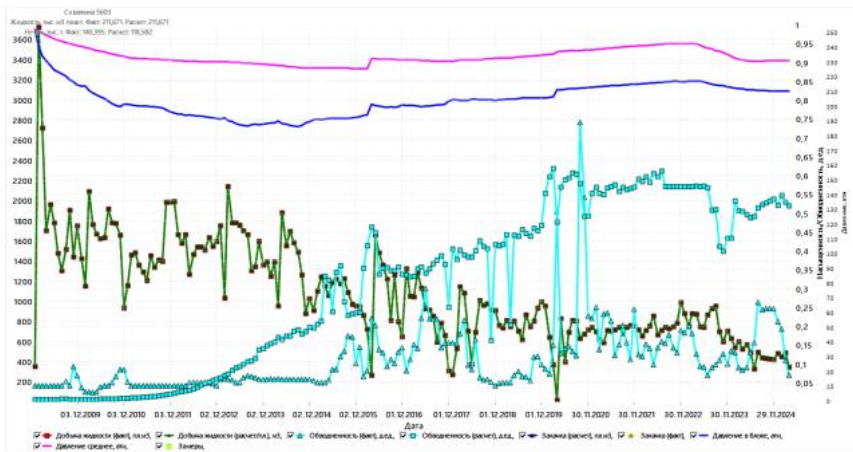


Рис. 1. Расчётные и фактические значения обводнённости, добычи жидкости, закачки и давления скважины X до адаптации прокси-модели

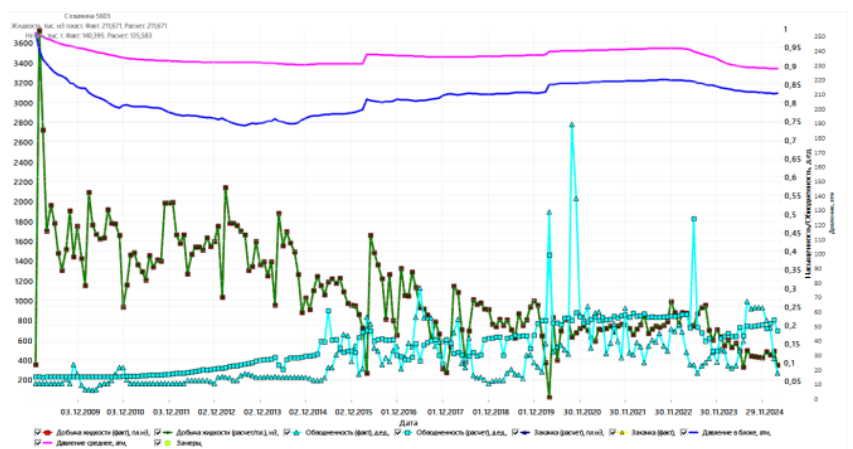


Рис. 2. Расчётные и фактические значения обводнённости, добычи жидкости, закачки и давления скважины X после адаптации прокси-модели

В работе решены производственные задачи различных типов с использованием двумерной модели фильтрации, результаты которых были использованы для принятия решений по эффективной разработке Приобского месторождения. Так же было проведено исследование действенности проводимых на прокси-модели расчётов.

Литература

1. Комплекс инструментов для Нефтяного инжиниринга «РН-КИН» // Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017613951 // Авторы: Федоров А.И., Давлетова А.Р., Хабиров С.С., правообладатель: ПАО «НК «Роснефть»»
2. Байков В.А. Мониторинг разработки месторождений с использованием иерархии моделей в программном комплексе "РН-КИН" / В.А. Байков, С.А. Рабцевич, И.В. Кострыгин, А.В. Сергейчев // Научно-технический вестник "ОАО "НК Роснефть". - 2014. - № 2(35). - с. 14-17.

© Абдуллина М.Р., Мухутдинов В.К., 2026

УДК 622.276

Гирфанов И.И.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНИТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мухутдинов В.К.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНИТ, г. Уфа

СОЗДАНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАСТОВ ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ С УЧЕТОМ ФАЦИАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАЗРЕЗА

Одной из актуальных проблем при освоении месторождений Западной Сибири является высокая геологическая неоднородность отложений тюменской свиты (средняя юра). Сложное строение разреза обусловлено генезисом пород в условиях континентальной, переходной и мелководно-морской групп фаций. Для корректной количественной интерпретации данных ГИС и повышения точности подсчета запасов необходимо создание петрофизической модели, учитывающей фациальную принадлежность коллекторов.

Целью работы является обоснование индивидуальных петрофизических связей для различных фациальных зон тюменской свиты. Традиционные подходы «общих зависимостей» зачастую приводят к существенным погрешностям в определении пористости и нефтенасыщенности из-за вариативности литологического состава и типа цементации.

Процесс моделирования включает в себя литолого-фациальное расчленение разреза на основе анализа кернового материала и каротажных диаграмм. В системе обработки петрофизических данных для каждой выделенной фации (русловые песчаники, пойменные отложения, прибрежные бары) обосновываются свои уравнения регрессии типа «кern-ГИС». Основное внимание уделяется параметрам уравнения Дахнова-Арчи, где коэффициенты структурного и поверхностного затухания (a, m, n) дифференцируются в зависимости от структуры порового пространства и глинистости.

Петрофизическая модель пласта описывается уравнением связи относительного сопротивления (F) и коэффициента пористости (K_p):

$$F = \frac{a}{K_p^m},$$

а также коэффициента нефтенасыщенности (K_n) через параметр насыщения (P_n):

$P_n = \frac{1}{K_n^b}$, где параметры a, m, n корректируются с учетом фациально-обусловленной текстуры породы.

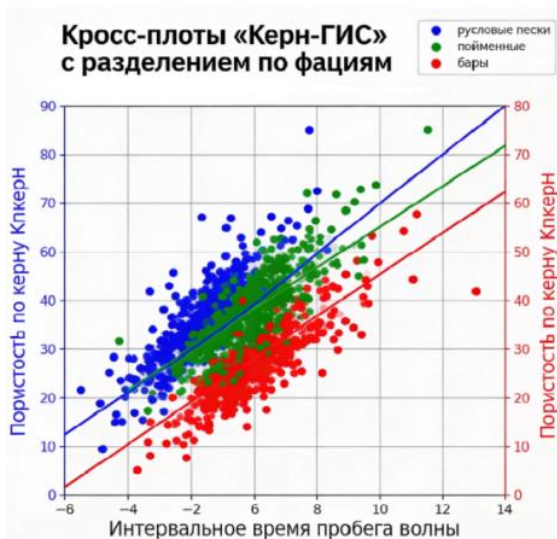


Рис. 1. График зависимости керна от ГИС

В рамках исследования была проведена интерпретация данных ГИС по нескольким скважинам с выделением зон русловых тел, характеризующихся улучшенными фильтрационно-емкостными

свойствами. Учет фациальной изменчивости позволил уточнить положение водонефтяного контакта и более достоверно оценить эффективные толщины пластов Ю2–Ю5.

Полученная адаптивная петрофизическая модель позволяет минимизировать риски при заложении эксплуатационных скважин и повысить эффективность гидродинамического моделирования залежей тюменской свиты.

Литература

1. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984.
2. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород. - М: Недра, 1985
3. Хайдина Ю.С. Влияние фациальной неоднородности на фильтрационно-емкостные свойства пластов тюменской свиты // Экспозиция Нефть Газ. – 2018.

© Гирфанов И.И., Мухутдинов В.К., 2026

УДК 550.8.056

Усманова Э.С.,
студ. 5 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитова Г.Р.,
д.г.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ КАШИРО-ПОДОЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НИКОЛО- БЕРЕЗОВСКОЙ ПЛОЩАДИ ПО ДАННЫМ ГИС И КЕРНА

Актуальность темы обусловлена тем, что сложные карбонатные коллекторы каширо-подольских отложений характеризуются высокой неоднородностью строения, изменчивостью литологического состава, пористости, проницаемости и характера насыщения [1-5]. Это существенно затрудняет их достоверную интерпретацию по материалам геофизических исследований скважин и требует комплексного сопоставления данных ГИС с результатами лабораторного исследования керна. В условиях современного нефтегазового производства повышение точности количественной оценки коллекторских свойств является важной задачей, так как от этого зависят качество подсчета запасов, выбор технологии разработки и эффективность освоения месторождения.

Объектом исследования являются каширо-подольские отложения Николо-Березовской площади.

Предметом исследования являются петрофизические свойства пород, их литологический состав, коллекторские характеристики и признаки трещиноватости по данным ГИС и керна.

Целью работы является количественная оценка сложных коллекторов каширо-подольских отложений Николо-Березовской площади на основе комплексного анализа данных геофизических исследований скважин и керна.

Для достижения поставленной цели в работе решаются задачи по изучению геологических особенностей рассматриваемых отложений, анализу результатов петрофизических исследований керна, определению литологического состава, фильтрационно-емкостных свойств и характера насыщенности пород, стандартизации данных геофизических исследований, выделению коллекторов, а также установлению диагностических признаков трещиноватости по удельной гамма-активности.

В работе используется комплексный подход, основанный на сопоставлении данных ГИС и керна [6], что позволяет более точно определить литологический состав, фильтрационно-емкостные свойства и признаки трещиноватости коллекторов.

На первом этапе работы получена корреляционная зависимость керн-ГИС естественной гамма активности.

Лабораторные измерения на кернах дают удельную активность A_i отдельных радионуклидов в Бк/кг. Каротажные измерения ГК - интегральную мощность экспозиционной дозы в мкР/ч, т.е. суммарный отклик от всех гамма-излучателей в породе в естественном залегании (с учетом геометрии скважины, диаметра, влияния бурового раствора и т.д.). Получение корреляционной связи «кern-ГИС» требует одинаковых единиц измерения сопоставляемых параметров, и для этого была применена упрощенная формула:

$$X_{\text{кern}} \approx 0,462 \cdot A_{Ra} + 0,604 \cdot A_{Th} + 0,0417 \cdot A_K \quad (1)$$

где $X_{\text{кern}}$ - мощность экспозиционной дозы (мкР/ч), A - удельная активность радионуклидов (Бк/кг).

Сопоставление результатов измерений удельной активности радионуклидов на керне с распределением естественной гамма-активности пород (ГК) по глубине, зарегистрированным в скважинах (рисунок 1), показало хорошую корреляцию.

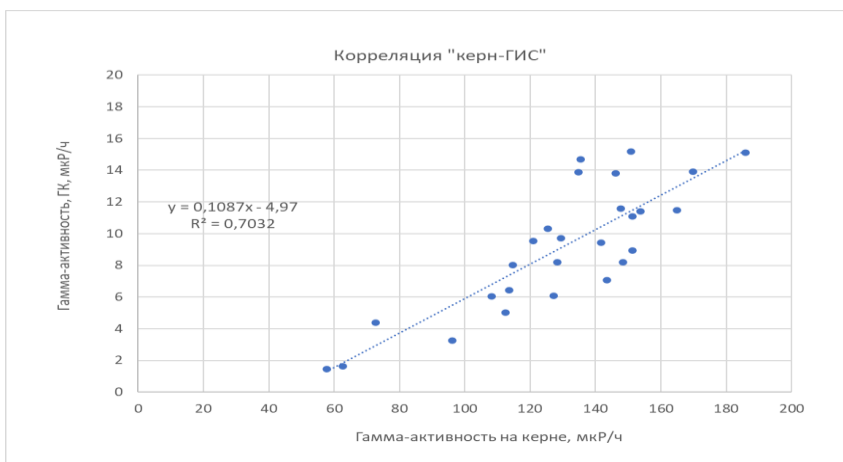


Рис. 1. Корреляция kern-ГИС естественной гамма-активности

При строгом подходе в реальности необходимо учесть условия измерений гамма-каротажа в скважине введением некоторого коэффициента - $K_{скв}$. В данной работе был применен упрощенный подход:

1. Для каждого образца вычислялось значение $X_{кern}$ по формуле (1).
2. Каждому керну сопоставлялось значение ГК на той же глубине (интервал отбора керна усредняется).
3. Строился график $X_{каротаж}$ (по оси Y) vs $X_{кern}$ (по оси X) (рис. 2):

$$\dot{X}_{каротаж} = a \cdot \dot{X}_{кern} + b, \quad (2)$$

где b – добавка от калибровки прибора или естественного фона в скважине, a – коэффициент, учитывающий отличие геометрии и поглощения в скважине от модели "полупространство–воздух". В идеальных условиях для однородной насыщенной водой скважины в мягких породах a может быть около 1,1–1,3. На практике - определяется по данным.

В последующем работа будет связана с выполнением интерпретации, стандартизации данных геофизических исследований, выделению коллекторов, а также установлению диагностических признаков трещиноватости по удельной гамма-активности.

Литература

1. Багринцева К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. М: РГГУ. 1999. 283 с.

2. Хисамов Р.С., Губайдуллин А.А., Базаревская В.Г., Юдинцев Е.А. Геология карбонатных сложно построенных коллекторов девона и карбона Татарстана. Казань: Фэн. 2010. 283 с.

3. Хисамов Р.С., Хазипов Р.Г., Базаревская В.Г., Газеева Ф.М., Бадуртдинова Н.А., Доронкина И.И., Мартынов А.Н. Условия осадконакопления в каширское время на Южно-Татарском своде и Мелекесской впадине. *Геология нефти и газа*. 2014. № 2. С. 38-44.

4. Хусаинова А.М., Бурикова Т.В., Привалова О.Р., Нугаева А.Н., Зианбердин Р.И. Влияние структурных и литологических особенностей на модель насыщения карбонатных коллекторов среднего карбона месторождений Республики Башкортостан // Нефтяное хозяйство. № 8. С. 74–77

5. Привалова О.Р., Аминова Г.Р., Шуматбаев К.Д., Бурикова Т.В., Аликаева Л.Р. Уточнение петрофизической модели коллектора каширо-подольских отложений Арланского месторождения // Актуальные научно-технические решения для разведки нефте-добывающего потенциала для ПАО АНК «Башнефть»: сб. науч. тр. Уфа: БашНИПИнефть, 2016. Вып. 124. С. 98–102.

6. Вахитова Г. Р., Алимова М. Р. 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

© Усманова Э.С., Вахитова Г.Р., 2026

УДК 550.8.056

Алимова М.Р.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитова Г.Р.,
д.г.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ГАММА-АКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД КАШИРО-ПОДОЛЬСКОГО ГОРИЗОНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ КЕРНА И ГИС

В последнее время внимание публикаций в открытых источниках посвящено исследованию петрофизических свойств коллекторов углеводородов (УВ) каширо-подольских отложений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (НГП) [1-3]. Отмечается, что они представляют сложный тип коллекторов и характеризуются порово-каверново-трещинным, поровым и порово-каверновым типом пористости и полиминеральным составом карбонатных пород. Анализ результатов исследования каширо-подольских отложений разными авторами показал,

что при исследовании образцов керна акцент делается на измерение фильтрационно-емкостных свойств и гранулометрическом анализе. Авторы статьи [4] приводят результаты экспериментальных измерений удельной гамма-активности природных радионуклидов на образцах керна, отобранных из скважин Николо-Березовской площади РБ и определяют интерпретационные критерии для анализа каротажных данных. В то же время, в публикациях не приводятся результаты корреляции данных керна и ГИС интерпретации. В связи с этим, акцент в данной работе сделан на корреляционном анализе и диагностических признаках для интерпретации.

Измерение удельной гамма-активности образцов керна выполнено прибором РГК -АТ1320С, разработанным НПУП «Атомтех». КERN был отобран из трех интервалов глубин по разрезу скважин. Анализ результатов лабораторных измерений лег в основу диагностических признаков при геологической интерпретации.

Результаты исследований удельной активности химических элементов Cs^{134} , Cs^{137} , Ra^{226} , Th^{232} , K^{40} на кернах необходимы для дальнейших работ по анализу каротажных данных, геологической интерпретации и прогнозного моделирования.

Сопоставление результатов измерений удельной активности радионуклидов на кернах с распределением естественной гамма-активности пород (ГК) по глубине, зарегистрированным в скважинах рис.1, показало хорошую корреляцию.

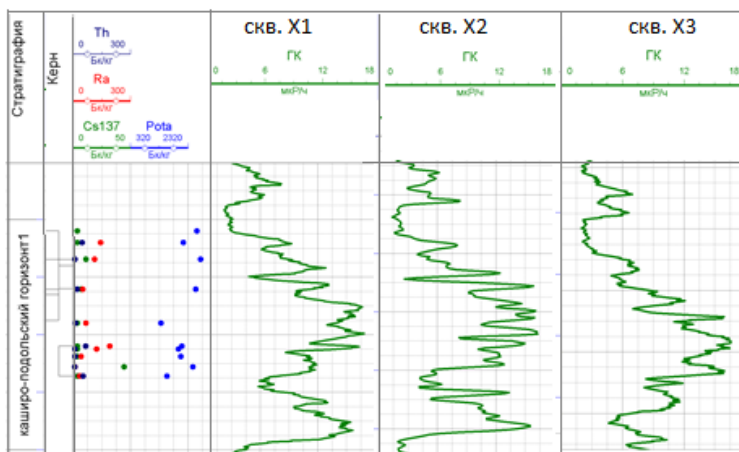


Рис. 1. Корреляция керна-ГИС естественной гамма-активности

Таким образом, в результате выполненных измерений удельной активности на образцах керна каширо-подольских отложений получено корреляционное уравнение типа «кern-ГИС» и определен литологический состав горных пород на основе треугольной диагностической диаграммы Th-K-Ra. Дальнейшие исследования в этой области будут связаны с моделированием и прогнозом зон фильтрации, трещиноватости, распределения органического вещества и распространения коллекторов.

Литература

1. Лозин Е.В. Геология и нефтеносность Башкортостана. Уфа: БашНИПИнефть, 2015. 704 с.
2. Хазипов Р.Г., Ступакова А.В. Типы коллекторов каширского горизонта среднего карбона в пределах Мелекесской впадины и Южно-Татарского свода. Георесурсы. 2017. Т. 19. № 3. Ч. 2. С. 250-254. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.19.3.16>.
3. Привалова О.Р., Минигалиева Г.И., Бурикова Т.В., Нигматзянова А.М., Аминева Г.Р., Айгильдин А.Л., Сапон М.И., Леонтьевский А.В. Петрофизическая модель карбонатных каширо-подольских отложений северо-западной части Башкортостана: история и эволюция // Экспозиция Нефть Газ. 2025. № 1. С. 57–61. DOI: 10.24412/2076-6785-2025-1-57-61.
4. Вахитова Г. Р., Алимова М. Р. 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.

© Алимова М.Р., Вахитова Г.Р., 2026

УДК 532.5

Котяшов М.С.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Рамазанов А.Ш.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВЫХ КОНУСОВ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ: АНАЛИТИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯЦИИ И ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ ВРЕМЕНИ ПРОРЫВА ГАЗА

Образование газовых конусов при добыче нефти из залежей с газовой шапкой приводит к преждевременному прорыву газа, снижению нефтеотдачи и дополнительным затратам на сепарацию [1]. Цель работы – сопоставить аналитические корреляции критического дебита нефти и выполнить численное прогнозирование времени прорыва газа с помощью гидродинамического симулятора РН-КИМ.

Для расчёта критической скорости (дебита, при котором газ ещё не прорывается) использовано уравнение Мейера-Гардера [2]:

$$Q_{oc} = 0,246 \times 10^{-4} \left[\frac{\rho_o - \rho_g}{\ln(r_e/r_w)} \right] \left(\frac{k_o}{\mu_o B_o} \right) [h^2 - (h - D_t)^2], \quad (1)$$

где D_t – расстояние между ГНК и началом перфорации, м; Q_{oc} – критический дебит нефти, м³/сут; k_o – эффективная проницаемость нефти, мД; h – толщина нефтяной зоны, м; r_w и r_e – радиус скважины и радиус дренажа соответственно, м; ρ_g и ρ_o – плотность газа и плотность нефти соответственно, кг/м³. Расчёт выполнен для исходных данных месторождения (табл. 1).

Таблица 1

Параметры пласта и флюидов

Параметр	Значение	Ед. изм
k_v	1,03	мД
k_h	5,32	мД
ρ_o	843	кг/м ³
ρ_g	0,8	кг/м ³
h_o	20	м
B_o	1,509	м ³ /м ³
μ_o	0,532	сП

Установлено, что с уменьшением интервала перфорации (от 0,9 до 0,1 безразмерной величины) критический дебит снижается с 10,34 до 1,98 м³/сут (табл. 2). Для верификации проведено трёхмерное композиционное моделирование в РН-КИМ с одной вертикальной скважиной. Модель имела размерность 218×218×90 ячеек, начальное давление 323,94 атм. Отслеживание газонефтяного фактора (ГНФ) позволило определить время прорыва газа t_{BT} при разных дебитах.

Таблица 2

Зависимость критического дебита от расстояния до ГНК

D_t , м	Безразмерный интервал	Q_{oc} , м ³ /сут
2	0,9	1,985
6	0,7	5,327
10	0,5	7,834
14	0,3	9,505

Результаты численного эксперимента показали, что нефтенасыщенная толщина является наиболее влиятельным параметром: увеличение толщины с 20 до 38 м отодвигает прорыв газа с 22 до 145 суток. Повышение дебита с 571 до 2017 м³/сут сокращает время безгазовой добычи с 296 до 145 суток. Горизонтальная проницаемость влияет обратно пропорционально ГНФ, вертикальная – прямо пропорционально.

Таким образом, сочетание аналитической оценки критического дебита по корреляции Мейера-Гардера и численного моделирования в РН-КИМ позволяет обоснованно выбирать параметры перфорации и дебита для отсрочки прорыва газа. Рекомендовано при эксплуатации скважин с газовой шапкой уделять особое внимание толщине нефтяной зоны и расстоянию от газонефтяного контакта до перфорационных отверстий.

Литература

1. Hatzignatiou D.G., Mohamed F. Water and gas coning in horizontal and vertical wells // SPE, 1994. DOI: 10.2118/871-PA
2. Meyer H.L., Garder A.O. Mechanics of two immiscible fluids in porous media // J. Appl. Phys., 1954. DOI: 10.1063/1.1721576
3. Chaperon I. Theoretical study of coning toward horizontal and vertical wells in anisotropic formations // SPE, 1986. DOI: 10.2118/15377-MS
4. Høyland L.A., Papatzacos P., Skjæveland S.M. Critical rate for water coning: correlation and analytical solution // SPE, 1989. DOI: 10.2118/15855-PA.

© Котяшов М.С., Рамазанов А.Ш., 2026

УДК 550.8.056

Хуссамов Р.И.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНИТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мухутдинов В.К.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНИТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫСОКООМНОГО ПЛАСТА ЮС2 ОМБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Введение

За последние десятилетия на одном месторождении Западной Сибири выявлены коллекторы с высокими удельными электрическими сопротивлениями (УЭС), более 100 Ом·м в юрских пластах. Такие коллекторы с аномальными значениями приводят к завышенным

показаниям коэффициента нефтенасыщенности по данным УЭС и недостоверной оценке подсчетных параметров.

С целью уточнения петрофизической модели и для повышения достоверности геологической модели проведен детальный литологический анализ кернового материала, оценка физико-химических, адсорбционных свойств пород, а также анализ условий осадконакоплений.

Проведенная работа

Был проведен анализ значений УЭС по геологии. Было установлено, что коллекторы с высокими УЭС преимущественно при фации втростепенных дельтовых каналов.

Терригенные породы могут быть гидрофобными при определённом минеральном составе породы, цемента и свойствах флюида. В результате работы была подтверждена частичной гидрофобизации разреза.

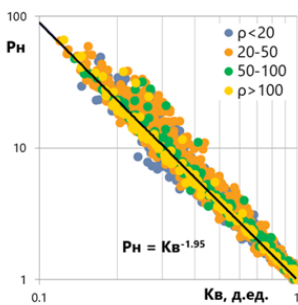
Были назначены эксперименты на определение смачиваемости, которые проведены на образцах керна пяти скважин. По двум из них исследования проводились на экстрагированном керне и по методике В.И. Тульбовича, а в одной – на естественнонасыщенном керне адсорбционным методом. В двух новых скважинах проведены исследования по протоколу, предложенному ГКЗ: по методу Аммота-Харви при естественной насыщенности, после экстракции и после состарения. Было установлено, что во всех выделенных группах коллекторов преобладают гидрофобный и преимущественно гидрофобный типы.

УЭС	Тип смачиваемости			Метод оценки смачиваемости	ОСТ 39-180-85	Аммота-Харви
	Гидрофильный	Промежуточный	Гидрофобный			
<20	16	9	25	Гидрофильная порода	0.8-1.0	+1.0 – +0.3
20-50	0	1	20	Слабогидрофильная порода	0.6-0.8	+0.3 – +0.1
50-100	0	1	20	Промежуточная порода	0.4-0.6	+0.1 – -0.1
>100	3	3	6	Слабогидрофобная порода	0.4-0.2	-0.1 – -0.3
				Гидрофобная порода	0-0.2	-0.3 – -1.0

Рис. 1. Анализ смачиваемости

При оценке K_n по стандартной методике мы получаем завышенные значения около 80–90%. Это связано с нарушением естественной смачиваемости породы при экспериментах на керновом материале. Значения K_n с учетом гидрофобизации стали 70–75.

Стандартная зависимость для терригенных пород



Зависимость для гидрофобных прослоев

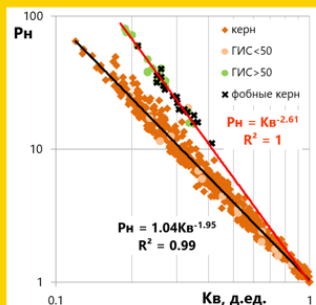


Рис. 2. Сравнение зависимостей параметра насыщенности

Для достоверной оценки K_n в высокоомных прослоях предлагается использовать зависимость керн-ГИС.

Выводы

Проведён анализ всего имеющегося кернового материала.

Выявлены причины частичной гидрофобизации высокоомных коллекторов.

Получена новая зависимость оценки коэффициента нефтенасыщенности.

Литература

1. Рыкус М.В., Сулейманов Д.Д. Седиментологический контроль промысловых свойств терригенного коллектора тюменской свиты на западе Широтного Приобья // Нефтяное хозяйство. 2019. № 8. С. 80–85. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-8-80-85

2. Зиганбаев А.Х., Сулейманов Д.Д. Прогнозирование литологической изменчивости баженовской свиты при помощи синхронной инверсии (Геология и геолого-разведочные работы) // Нефтяное хозяйство. 2013. № 10. С. 46–49. Библиогр.: с. 49 (5 назв.). ISSN 0028-2448.

3. Дьяконова Т.Ф., Терентьев В.Ю., Саетгараев А.Д. и т.д. Временные методические рекомендации по определению коэффициента нефтенасыщенности негидрофильных коллекторов при подсчете запасов нефти и газа месторождений компании ПАО «ЛУКОЙЛ» в Тимано-

Печорской нефтегазоносной провинции. – Науки о Земле, июнь 2021. УДК 552.578.2(470.1)

4. Бата Л.К. Методика определения коэффициента нефтенасыщенности гидрофобных коллекторов и диагностические критерии их выделения на нефтях месторождениях Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (диссертация) – Москва, 2022

© Хуссамов Р.И., Мухутдинов В.К., 2026

УДК 550.832.53.

Абызбаева А.З.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Галимов Р.А.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Космылин Д.В.,
ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО ОТКЛИКА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Оперативный контроль минерализации пластовых флюидов представляет практический интерес для предотвращения солеотложений в скважинном оборудовании. Существующие контактные методы обладают рядом ограничений, что обуславливает актуальность разработки бесконтактных подходов к оценке минерализации. Физической основой предложенного метода является зависимость электромагнитных свойств раствора от концентрации ионов. При увеличении минерализации изменяются параметры комплексной диэлектрической проницаемости (ϵ' и ϵ'') и удельной электропроводности (σ), что должно отражаться на амплитудно-частотной характеристике сигнала, проходящего через исследуемую среду. Цель работы – исследование характера влияния минерализации водных растворов на их амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) в высокочастотном диапазоне. Основной задачей является практическое обоснование возможности оценки минерализации по изменению параметров высокочастотного электромагнитного поля.

Для проведения исследований был собран лабораторный макет, представляющий собой две катушки индуктивности, размещенные на диэлектрическом каркасе (рис. 1).



Рис. 1. Разработанный двухкатушечный датчик

Образец жидкости объемом 1 л помещался в пространство между катушками. На излучающую катушку подавался синусоидальный сигнал, который с приемной катушки регистрировался осциллографом. Измерения проводились для дистиллированной воды и растворов солей карбоната натрия (Na_2CO_3) и сульфата калия (K_2SO_4) концентрацией до 1 г/л.

Анализ полученных осциллограмм позволил построить и сравнить АЧХ для исследуемых сред (рисунок 2). Результаты экспериментов подтверждают, что величина выходного сигнала зависит от удельной электропроводности солевого раствора: с её ростом параметр затухания уменьшается. Кроме того, изменение частоты искусственного ЭМ поля тоже влияет на диэлектрическую проницаемость среды, что сказывается на измерениях.

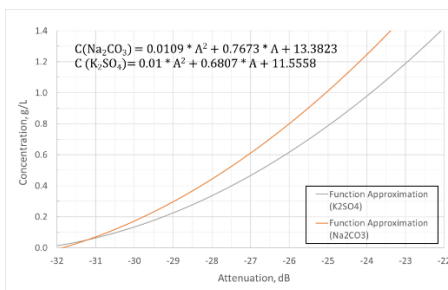


Рис. 2. Сопоставление зависимостей долей растворенных солей Na_2CO_3 и K_2SO_4

Проведенные исследования подтвердили, что предложенный лабораторный макет способен регистрировать изменение амплитудно-частотного отклика при изменении минерализации жидкости. Полученные количественные результаты демонстрируют работоспособность подхода и его чувствительность к ионной силе раствора, но для более комплексных

исследований необходимо использовать растворы других солей и учитывать изменение температуры. Результаты моей работы могут интегрироваться с геофизическими замерами в скважинах, способствуя оптимизации добычи и предотвращению аварийных ситуаций на УЭЦН.

Литература

1. Давлатшоев С.К., Сафаров М.М. Кондуктометрический способ и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрических сетях // Вестник Казанского технологического университета. 2017. № 18. С. 45-51.

2. Мельниченко В.Е. Подходы к определению причин снижения надежности УЭЦН // Бурение и нефть. 2018. № 2. С. 25–30.

© Абызбаева А.З., Галимов Р.А., Космылин Д.В., 2026

УДК 622.276.5

Абызбаева А.З.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Рамазанов А.Ш.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В СКВАЖИНЕ ПРИ ЗАКАЧКЕ ВОДЫ

В статических условиях давление в столбе жидкости линейно возрастает с глубиной вследствие гидростатического эффекта. Однако при закачке воды в нагнетательную скважину возникают потери давления на гидравлическое трение, которые могут существенно изменить распределение давления вдоль ствола. В зависимости от режима течения и геометрии канала давление может как увеличиваться, так и уменьшаться с глубиной. В работе исследованы условия, при которых реализуется аномальное снижение давления, и определены ключевые параметры, влияющие на этот эффект.

Исследование включает теоретический анализ, основанный на фундаментальных гидравлических законах, и численное моделирование, выполненное с использованием фирменного программного кода, разработанного автором. Численные результаты подтверждают, что снижение давления с глубиной теоретически возможно и происходит при определенных геометриях ствола скважины и режимах потока.

Для неподвижной жидкости забойное давление P_{bh} связано с устьевым давлением P_{wh} и глубиной H соотношением $P_{bh} = P_{wh} + \rho g H$, где ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения, H – глубина. Это линейное увеличение справедливо только при отсутствии движения жидкости. В реальности вода непрерывно закачивается по насосно-компрессорным трубам, и необходимо учитывать потери энергии на

вязкое трение и местные сопротивления. Перепад давления на трение по длине трубы L с внутренним диаметром D определяется уравнением Дарси – Вейсбаха: $\Delta P_{\text{fric}} = \lambda \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{\rho v^2}{2}\right)$, где λ – коэффициент трения, v – средняя скорость потока. Местные потери можно добавить как $\Delta P_{\text{local}} = \sum \xi_i \cdot (\rho v^2 / 2)$, так что общие потери составляют $\Delta P_{\text{loss}} = \Delta P_{\text{fric}} + \Delta P_{\text{local}}$.

С учетом потерь забойное давление становится равным $P_{\text{bh}} = P_{\text{wh}} + \rho g H - \Delta P_{\text{loss}}$. Если $\Delta P_{\text{loss}} > \rho g H$, то $P_{\text{bh}} < P_{\text{wh}}$, то есть давление уменьшается с глубиной. Дифференциальная форма проясняет это: $dP/dz = \rho g - dP_{\text{loss}}/dz$. Когда градиент потерь превышает гидростатический градиент, производная давления становится отрицательной. Для проверки этих теоретических предсказаний было выполнено численное моделирование с использованием программного кода, разработанного автором. Численный пакет решает одномерные уравнения стационарного течения в вертикальном стволе скважины, учитывая переменные свойства жидкости и реалистичные модели трения. Проведена серия расчетов для типичных параметров нагнетательных скважин (диапазон глубин 1000–2500 м, диаметры НКТ 50–100 мм, расходы 200–2500 м³/сут). Результаты ясно демонстрируют, что давление действительно может уменьшаться с глубиной, когда расход достаточно высок, а диаметр НКТ относительно мал. В таких случаях перепад давления на трение доминирует над гидростатическим приращением, что приводит к отрицательному градиенту давления вдоль ствола скважины. Однако ключевой качественной вывод остается надежным: давление может либо увеличиваться, либо уменьшаться с глубиной в зависимости от рабочих условий. Переход происходит, когда $\Delta P_{\text{loss}} = \rho g H$. Численные результаты отлично согласуются с теоретическим анализом, подтверждая, что это явление не только теоретическое, но и практически наблюдаемое.

Приемистость скважины определяется как $Q = K_{\text{inj}}(P_{\text{bh}} - P_{\text{res}})$, где K – коэффициент приемистости, а P_{res} – пластовое давление. Для достижения желаемого расхода требуемое устьевое давление равно $P_{\text{wh}} = P_{\text{res}} + \Delta P_{\text{loss}} - \rho g H + Q/K_{\text{inj}}$. Если $\rho g H > \Delta P_{\text{loss}}$, требуемое устьевое давление может быть ниже пластового; если потери высоки, требуется значительно более высокое устьевое давление. Следовательно, точное прогнозирование распределения давления необходимо для выбора наземного оборудования и предотвращения избыточного давления. В заключение, в статическом столбе жидкости давление всегда увеличивается с глубиной. При закачке воды потери на гидравлическое трение противодействуют гидростатическому эффекту. Давление уменьшается с глубиной, когда градиент потерь превышает ρg . Это возможно при высоких расходах, малых диаметрах НКТ или высокой вязкости жидкости. Численное моделирование с использованием

специально разработанного программного обеспечения подтверждает теоретическую возможность уменьшения давления. Получены количественные результаты. Для практического инжиниринга ключевым является точный расчет фактического забойного давления, поскольку оно определяет приемистость скважины.

Литература

1. К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Р. Д. Каневская, В. М. Максимов. – Изд. 2-е, доп. – Москва, Ижевск: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; Ин-т компьютерных исслед., 2019. – 488 с.

© Абызбаева А.З., Рамазанов А.Ш., 2026

УДК 550.832

Латыпов А.Р.,
студ. 5 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мухутдинов В.К.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТОЕВ СКВАЖИН ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОМЫСЛОВО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Длительные простои скважин являются одним из ключевых факторов снижения эффективности разработки месторождений. Они приводят к потерям добычи нефти, ухудшению нефтеотдачи пластов и увеличению сроков вывода скважин на режим, что в конечном итоге снижает экономическую эффективность эксплуатации и прибыль недропользователя [1].

Промыслово-геофизические исследования (ПГИ) в обсаженных скважинах проводятся по технологическим схемам (картам), которые согласованы между подрядной организацией и Заказчиком ПГИ [2].

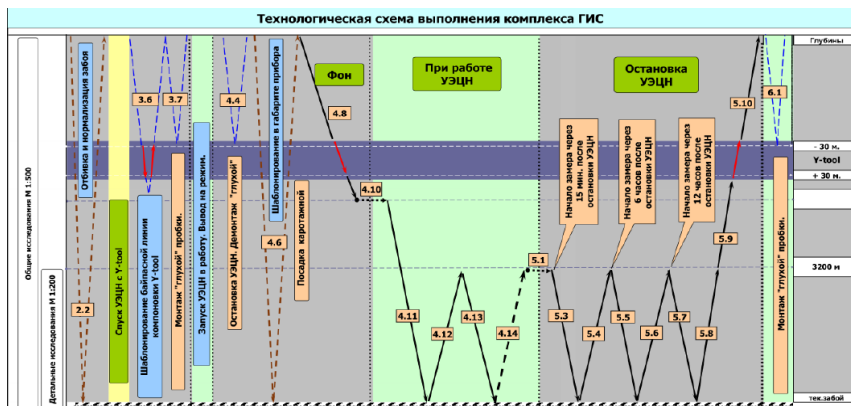


Рис. 1. Пример технологической схемы проведения ПГИ

Целью работы является определение фактической и теоретической длительности ПГИ и выявление длительности без замеров.

В работе выполнены расчеты для различных задач ПГИ с большой серией замеров. В результате анализа примеров выявлены замечания по ранее выполненным исследованиям ПГИ: а) несоблюдение скоростных требований при регистрации кривых; б) нерегламентированные остановки в процессе проведения ПГИ. Несоблюдение требований к технологии проведения исследований приводит к увеличению времени проведения ПГИ и уменьшению достоверности материалов исследований.

Результаты работы могут быть использованы для контроля успешности проведенных ПГИ и уменьшению длительности простоев эксплуатационных скважин.

Литература

1. Мардашов Д.В. - Комплексное моделирование глушения нефтяных скважин при подземном ремонте в осложненных условиях их эксплуатации //Диссертация - 2022 - стр. 368
2. Хаматдинова Р.Т. - РД 153-39.0-072-01. Руководящий документ. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах – 2001 - № 3 - 279 с.

© Латыпов А.Р., Мухутдинов В.К., 2026

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ОПТОВОЛОКОННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ТЕРМОМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ СКВАЖИН

Современные системы мониторинга нефтегазовых скважин требуют оперативного выявления нарушений герметичности, заколонных перетоков и мест притока флюида. Одним из наиболее информативных методов является оптоволоконная распределённая термометрия (DTS), позволяющая получать непрерывный профиль температуры вдоль ствола в режиме реального времени. В данной работе исследуются возможности DTS для диагностики технического состояния действующих скважин.

Для интерпретации данных распределённой термометрии разработана математическая модель неизотермического течения флюида в стволе скважины и призабойной зоне с учётом теплообмена с горными породами. Задача формулируется в виде:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + c\rho v \frac{\partial T}{\partial z} = 2 \frac{k}{r_w} (T_r - T)$$

где c , ρ – удельная теплоемкость и плотность жидкости; T – температура флюида в скважине; $v(z)$ – скорость потока вдоль оси z ; r_w – радиус скважины; k – коэффициент теплопередачи через стенку; T_r – температура окружающей породы. Особое внимание уделяется задачам выявления аномалий температуры, связанных с заколонными перетоками или трещинами. Выполнено численное моделирование нестационарного температурного поля для различных сценариев нарушения технического состояния (негерметичность пакера, НКТ, колонны). Проанализированы характерные сигнатуры температуры, позволяющие идентифицировать тип и местоположение дефекта. Показано, что данные DTS могут быть использованы для непрерывного мониторинга без остановки скважины.

Литература

1. Опыт применения распределенной оптоволоконной термометрии при мониторинге эксплуатационных скважин в компании «Газпром нефть» / А.И. Ипатов, М.И. Кременецкий, И.В. Каешков [др.] // PRОнефть. Профессионально о нефти. – 2017. – № 3(5). - С. 55–64.

К ВОПРОСУ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАСТЕ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ НЕФТИ, ВОДЫ И ГАЗА С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Численное моделирование термогидродинамических процессов фильтрации многокомпонентных флюидов в пористой среде пласта позволяет точно описывать сложные взаимодействия давления, температуры и фазовых переходов, недоступные аналитическим методам [1–8] и др.

Общая идея всех проведенных ранее работ состоит в применении уравнения сохранения массы, импульса и энергии для нескольких фаз с учетом фазовых переходов и зависимости свойств от температуры, давления и состава. Фазовые переходы ведут к резкому перераспределению насыщенностей, изменению вязкости и теплопроводности.

В качестве граничных условий обычно используют:

– На внешней границе расчётной области – постоянное значение температуры;

– На внутренней границе для температуры в пласте – условия сопряжения со скважиной в зависимости от режима работы пласта. Если пласт работает на добычу, ставится однородное условие второго рода, если пласт работает в режиме приёма флюида – условие первого рода;

– На внутренней границе для температуры в области непроницаемой породы – условие сопряжения со скважиной через равенство теплового потока через стенку скважины;

– При моделировании остановленной скважины – в области, где нет течения флюида (перетоков), область решения уравнений расширяется до оси скважины и на границе используется условие осевой симметрии.

В работе, исследования термогидродинамических процессов проводится на основе математических моделей включающих системы нелинейных уравнений сохранения массы, импульса и энергии с учетом эффектов Джоуля-Томсона, адиабатического расширения и теплоты фазовых превращений, что обеспечивает более точное прогнозирование поведения нефти, воды и газа в реальных условиях пласта [4,5, 6-8].

Литература

1. В.М. Максимов. Термодинамическое исследование многофазных течений в процессах разработки месторождений углеводородов. Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва. – 16 с.
2. Ситдиков Р.М., Филиппов Д.Д., Митрушкин Д.А. Численное моделирование многофазных течений в сопряжённой системе «пласт-скважина-УЭЦН» // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2016. № 59. – 28 с.
3. А.С. Топольников. Математическое моделирование динамических процессов в нефтедобывающей скважине. А.С. Топольников, Р. Х. Болотнова, В. А. Бузина, У. О. Агишева. Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. ВЕРНАДСКОГО. № 4 (54). 2014. г. Уфа. – 112-118 с.
4. Канафин И. В. Исследование нестационарных тепловых полей при разгазировании нефти в многопластовой системе применительно к термометрии скважин. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.
5. Хабиров Т.Р. Исследование нестационарных термогидродинамических процессов в наклонной скважине при многофазных потоках. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.
6. Рамазанов А.Ш., Паршин А.В. Аналитическая модель температурных изменений при фильтрации газированной нефти. – Теплофизика высоких температур, том 50, №4, 2012, с. 606- 608.
7. Валиуллин Р.А., Рамазанов А.Ш., Шарафутдинов Р.Ф. Баротермический эффект при трехфазной фильтрации с фазовыми переходами // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 1994. № 6. С. 113–117.
8. Шарафутдинов Р.Ф., Бочков А.С., Шарипов А.М., Садретдинов А.А. Фильтрация газированной нефти с фазовыми переходами в неоднородной по проницаемости пористой среде // ПМТФ, 2017, т. 58, № 2, С.98-102.

© Фазылова Д.А., Шарафутдинов Р.Ф., 2026

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АГРЕГАЦИИ КАНАЛОВ DAS ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В работе исследуются методы пространственной агрегации данных распределённого акустического зондирования (DAS) для повышения отношения сигнал/шум при регистрации импульсных сейсмических источников. Эксперимент выполнен на 230-метровом профиле, где оптоволоконный кабель с четырьмя волокнами был свёрнут в кольца длиной 50 м, размещённые с шагом 10 м (межканальное расстояние – 1,6 м, частота дискретизации – 2000 Гц, использовано 25 накоплений). Анализировались четыре схемы агрегации: суммирование фиксированного числа соседних каналов внутри кольца, адаптивное суммирование по порогу взаимной корреляции, межволоконное усреднение и накопление повторных возбуждений (stacking).

Показано, что оптимальным является суммирование 10–12 каналов внутри кольца, обеспечивающее наибольший прирост отношения сигнал/шум без существенного искажения формы импульса. Адаптивная агрегация по порогу корреляции позволяет динамически исключать каналы с фазовыми искажениями, повышая стабильность результатов. Межволоконное усреднение даёт дополнительный выигрыш 5–10% за счёт независимости шумов на разных волокнах. Наиболее эффективным инструментом повышения качества совместно с пространственной агрегацией является накопление 25 импульсных возбуждений. Полученные результаты демонстрируют, что грамотный выбор параметров пространственного суммирования и методик агрегации критичен для успешного применения DAS систем в инженерной сейсморазведке и мониторинге инфраструктуры.

Литература

1. Shahabudin M.S., Jaafar J., Paputungan I.V. A Systematic and Comprehensive Review on the Application of the Distributed Acoustic Sensing Data in Subsurface Application: Methodologies, Deep Learning Approaches, and Future Prospects // IEEE Access. – 2025. – Vol. 13. – P. 188447–188480.

ФОРМИРОВАНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С НИЗКОПРОНИЦАЕМОЙ МАТРИЦЕЙ

Разработка низкопроницаемых карбонатных коллекторов углеводородов сопряжена с необходимостью учета взаимосвязи геомеханических и фильтрационных свойств. Изменение пластового давления ведет к перераспределению эффективных напряжений, что вызывает деформацию порового пространства и, как следствие, изменение пористости и проницаемости. Игнорирование этих эффектов снижает точность гидродинамических моделей и эффективность проектирования.

В современной литературе для описания зависимости проницаемости от напряженно-деформированного состояния используются три основные группы моделей: эмпирические (экспоненциальные), теоретические (пороупругие) и конечно-элементные модели, основанные на анализе напряженно-деформированного состояния.

Экспоненциальные модели [Петраков и др., 2022]:

$k=k_0 \cdot \exp^{-\gamma(P_{эфф}-P_0)}$, где γ – коэффициент чувствительности к давлению.

Степенные модели:

$k=k_0 \cdot (P_{эфф}/P_0)^{-p}$, где p – константа материала. Лучше описывают поведение низкопроницаемых пород, но параметр p индивидуален для каждого типа породы.

Конечно-элементные модели (модель Джонса-Оуэнса): учитывают разницу между первым (упруго-пластическим) и последующими (упругими) циклами нагружения, что особенно важно для описания гистерезиса проницаемости.

При изменении пластового давления сложные коллекторы имеют некоторые особенности поведения. Деформация *трещиновато-пористых коллекторов* с характерной двойственной природой порового пространства подчиняется разным законам, т.к. трещины и сама матрица по-разному ведут себя при нагрузках. Для *плотных карбонатов* отмечается отклонение от закона Дарси при низких скоростях фильтрации флюида (пороговый градиент), а также эффект разуплотнения – образование микротрещин при снижении давления ниже критического уровня, что приводит к аномальному росту проницаемости. *Сланцы* чувствительны к температуре (модуль Юнга зависит от температуры), а их

проницаемость сильно зависит от ориентации трещиноватости относительно направления напряжений.

На основе изученного керна выделены три основных литологических типа, различающихся по составу и фильтрационно-емкостным свойствам:

Литотип 1 – плотные микритовые известняки (мадстоуны): обладают низкой пористостью (менее 5%) и крайне низкой проницаемостью. Характеризуются высокими упруго-прочностными свойствами (UCS до 125 МПа, модуль Юнга до 28,7 ГПа). *Литотип 2 – нефтенасыщенные грейнстоуны и пакстоуны:* имеют повышенную пористость (до 15–20%) и относительно высокую проницаемость. Обладают низкими прочностными характеристиками (UCS 20–60 МПа, модуль Юнга 6–12 ГПа). *Литотип 3 – аргиллиты и глинистые прослои:* характеризуются высокой пластичностью, низкой проницаемостью и способностью к залечиванию трещин.

Поровое пространство имеет двойственную природу. Это *матричная пористость*, представленная межзерновыми и внутризерновыми порами, преобладающая в литотипе и *трещинная пористость*, включающая тектонические трещины и трещины растворения (каверны, каналы выщелачивания) и развитая в плотных литотипах.

Взаимодействие между матрицей и трещинной системой определяет общую фильтрационную способность коллектора.

На основе анализа литологического состава пород сформулированы следующие гипотезы о реакции разных литотипов на изменение эффективного напряжения.

Литотип 1 (плотные карбонаты): деформируются преимущественно упруго при умеренных нагрузках. При снижении порового давления ниже критического уровня возможна активизация существующих трещин и образование новых микротрещин (эффект разуплотнения), что приводит к росту проницаемости.

Литотип 2 (нефтенасыщенные известняки): подвержены необратимой компакцией при первом цикле нагружения. При повторных циклах деформируются упруго, но исходная проницаемость не восстанавливается полностью.

Литотип 3 (аргиллиты): ведут себя пластически, не склонны к образованию хрупких трещин. При увеличении эффективного напряжения происходит залечивание существующих трещин, проницаемость снижается необратимо.

Таким образом, разработана концептуальная модель карбонатного коллектора с двойственным поровым пространством, учитывающая различное геомеханическое поведение выделенных литотипов. Проведен обзор литературы, обоснован выбор моделей стресс-зависимой проницаемости и особенностей поведения сложных коллекторов.

Сформулированы гипотезы для дальнейшего экспериментального и численного исследования. Полученные результаты могут быть полезны в дальнейшем для моделирование влияния геомеханических свойств на фильтрационные характеристики низкопроницаемых карбонатных коллекторов

Литература

1. Zoback M.D. Reservoir geomechanics. New York: Cambridge University Press, 2007. 449 p.
2. Индрупский И.М., Аникеев Д.П., Закиров Э.С., Алексеева Ю.В. Учет геомеханических эффектов при моделировании процессов разработки месторождений углеводородов // Актуальные проблемы нефти и газа. 2022. Вып. 4(39). С. 75–102.
3. Хашпер А.Л., Аминев Т.Р., Федоров А.И., Жонин А.В. Исследование зависимости проницаемости горной породы от ее напряженно-деформированного состояния // Геологический вестник. 2019. № 1. С. 133–140.

© Сынгизова Н.Ю., Вахитова Г.Р., 2026

СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

УДК 532.5

Тимершаехова А.Я.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Давлетбаев А.Я.,
д.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В СИСТЕМЕ «ПЛАСТ-ТРЕЩИНА ГИДРОРАЗРЫВА» ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ В СКВАЖИНЕ

При освоении низкопроницаемых коллекторов технология гидро разрыва пласта (ГРП) является неотъемлемой частью процесса как для добывающих, так и для нагнетательных скважин. Для контроля добычи нефти на практике активно применяют «малозатратные» методы гидродинамических исследований скважин (ГДИС). Среди таких «малозатратных» подходов выделяется исследование, основанное на ступенчатом изменении давления/дебита, результаты которого интерпретируются с помощью построения индикаторных диаграмм (ИД) [1].

В данной работе представлены результаты моделирования ГДИС методом ИД в скважине с трещиной гидроразрыва с применением ПК «РН-ВЕГА». В ходе данной работы проведено моделирование изменения давления/дебита в скважине с трещиной конечной проводимости для случаев с различными параметрами трещины, пласта, длительностями режимов при ГДИС методом ИД, условиями на границе пласта и др.

Сопоставление полученных коэффициентов продуктивности по смоделированным ГДИС методом ИД и аналитическим выражениям показало, что по мере уменьшения проницаемости пласта и длительности режимов увеличивается их разница. Это обуславливается тем, что не достигается установившийся режим притока на режимах при ГДИС методом ИД в низкопроницаемых коллекторах. При этом с уменьшением длительности режимов (до ~ 5 сут) и проницаемости пласта ($\sigma \sim 0.25 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$) разница в коэффициентах продуктивности может достигать более, чем в 4 раза.

Литература

1. Еникеев Р.М., Тимершаехов Д.Ф., Губайдуллин М.Р., Судницын М.С., Давлетбаев А.Я. Оценка начального пластового давления при выводе на режим добывающей скважины // Нефтегазовое дело. 2024. Т. 22. № 4. С. 37-45.

© Тимершаехова А.Я., Давлетбаев А.Я., 2026

УДК 532.685

Еникеев Р.М.,
менедж. по проек. инж. и циф. трансф., ПАО АНК «Башнефть», г. Уфа
Тимершаехов Д.Ф.,
спец. фил. ООО «РН-ГИР» - БашНИПИнефть, г. Уфа
Губайдуллин М.Р.,
к.ф.-м.н., вед. спец. фил. ООО «РН-ГИР» - БашНИПИнефть, г. Уфа
Тимершаехова А.Я.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Давлетбаев А.Я.,
д.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

АПРОБАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ РЕЖИМОВ НА ЭТАПЕ ВЫВОДА СКВАЖИН НА УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ РАБОТЫ

Тиражирование малозатратных гидродинамических исследований скважин (ГДИС) является важной и актуальной задачей, т.к. есть необходимость постоянного анализа причин изменения добычи нефти в

механизированных добывающих скважинах [1]. В рамках проекта «Цифровое месторождение» в ПАО «АНК «Башнефть» реализуются цифровые кейсы, которые позволяют автоматизировать этот процесс и осуществлять мониторинг в режиме онлайн.

В данной работе апробирована возможность совмещения ГДИС методом построения индикаторной диаграммы (ИД) с выводом скважины на установившийся режим (ВНР) при изменении режимов работы. Это позволит снизить потери в добыче нефти, связанные с проведением классических ГДИС, так как процесс запуска скважины в эксплуатацию совмещается с проведением исследований и прослеживанием динамических данных при ступенчатом изменении режимов работы скважины [2].

С целью повышения информативности данного вида ГДИС выполнены многовариантные расчеты на гидродинамической модели в ПК «РН-КИМ» с последующим построением матрицы применимости сценариев проведения ГДИС методом ИД при ВНР. Разработанная матрица позволяет в автоматическом режиме выбирать сценарии проведения ГДИС при ВНР, при которых удастся получить наиболее достоверные результаты интерпретации.

Литература

1. Давлетбаев А.Я., Асалхузина Г.Ф., Уразов Р.Р., Сарапулова В.В. Гидродинамические исследования скважин в низкопроницаемых коллекторах // – Новосибирск: ООО «ДОМ МИРА», 2023. – 176 с.
2. Еникеев Р.М., Тимершаехов Д.М., Губайдуллин М.Р., Судницын М.С., Давлетбаев А.Я. Оценка начального пластового давления при выводе на режим добывающей скважины // Нефтегазовое дело. 2024. Т. 22, № 4. С. 37-45.

© Еникеев Р.М., Тимершаехов Д.Ф., Губайдуллин М.Р.,
Тимершаехова А.Я., Давлетбаев А.Я., 2026

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА К ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЕ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕПАДАХ ДАВЛЕНИЯ

Разработка низкопроницаемых газовых залежей характеризуется формированием значительных депрессий на пласт, что обуславливает необходимость учета реальных свойств пластового флюида. Достоверное прогнозирование притока газа к скважинам в таких условиях требует применения методов, учитывающих вязкости, коэффициента сжатости и плотности газа от давления [1-2].

В настоящей работе представлены результаты моделирования притока газа к газовой скважине с использованием функции псевдодавления. Для количественной оценки влияния состояния призабойной зоны на приток к газовой скважине выполнен анализ чувствительности, который показал существенную зависимость величины притока газа от величины скин-фактора (S). Отрицательные значения S ($S < 0$), соответствующие стимуляции призабойной зоны, обеспечивают значительный прирост величины притока газа: при снижении скин-фактора до -2 величина притока газа возрастает более чем на 30% относительно базового значения ($S = 0$). Положительные значения скин-фактора ($S > 0$) напротив, приводят к резкому падению величины притока газа вследствие возникновения дополнительного фильтрационного сопротивления в призабойной зоне пласта.

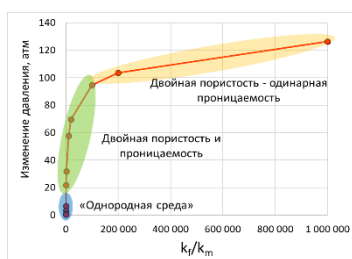
Литература

1. Давлетбаев А.Я., Мухаметова З.С. Фильтрация газа в низкопроницаемом коллекторе с трещиной гидроразрыва пласта // Прикладная механика и техническая физика. 2019. Т. 60. № 1 (353). С. 41- 53.
2. Мухаметова З.С., Ковалева Л.А. Моделирование притока газа к скважинам с трещинами гидроразрыва с учетом горизонтальной анизотропии проницаемости пласта // Вестник Башкирского университета. 2025. Т. 30. № 2. С. 65-71.

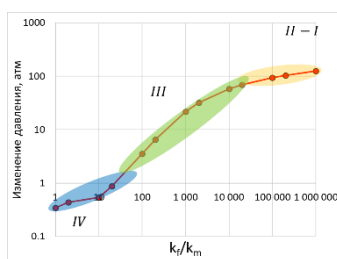
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

Разработка карбонатных отложений отличается от разработки терригенных коллекторов из-за наличия развитой системы трещин [1]. Матрица породы в таких коллекторах обычно обладает низкой проницаемостью, поэтому фильтрация идёт преимущественно по трещинам. Понимание закономерностей распределения пластового давления в таких средах – ключ к эффективной разработке месторождений [2].

В данной работе выполнено численное моделирование распределения пластового давления в модели дискретной сети трещин (Discrete Fracture Network – DFN). Исследовано влияние отношения проницаемостей (k_f/k_m) и отношения объемов (V_f/V_m) трещин и матрицы на перепад давления между средами. Расчеты проводились методом конечных элементов в программном комплексе MAFIC [3].



(а)



(б)

Рис. 1. Зависимость перепада давления между матрицей и трещинами от отношения (а) линейная шкала, (б) логарифмическая шкала

На примере зависимости перепада давления от k_f/k_m (рис. 1) согласно классификации Нельсона [4] выделяются три характерных режима течения. При $k_f/k_m < 20$ перепад давления не превышает 1 атм – система ведет себя как квазиоднородная среда (IV тип). Диапазон $20 \leq k_f/k_m \leq 10^5$ характеризуется резким ростом перепада от 1 до 100 атм – режим двойной

пористости и проницаемости (III тип). При $k_f/k_m > 10^5$ рост перепада давления замедляется, система переходит в режим двойной пористости и одинарной проницаемости (II тип).

Литература

1. Barenblatt G. I., Zheltov I. P., Kochina I. N. Basic concepts in the theory of seepage of homogeneous liquids in fissured rocks [strata] //Journal of applied mathematics and mechanics. – 1960. – Т. 24. – №. 5. – С. 1286-1303.
2. Bear J., Braester C. On the flow of two immiscible fluids in fractured porous media //Developments in soil science. – Elsevier, 1972. – Т. 2. – С. 177-202.
3. Miller I., Lee G., Dershowitz W. MAFIC – Matrix/Fracture Interaction Code with Heat and Solute Transport. User Documentation, Version 2.0. – Golder Associates Inc., Redmond, USA, 2001.
4. Nelson R. A. Evaluating fractured reservoirs //Geologic analysis of naturally fractured reservoirs. – 2001. – С. 1 -100.

© Евлампиев Я.В., Ковалёва Л.А., 2026

УДК 532.5

Саяхов Д.Р.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Давлетбаев А.Я.,
д.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ В КОЛЛЕКТОРЕ ТРЕЩИНОВАТО-ПОРОВОГО ТИПА В ПК «РН-ВЕГА»

Месторождения, коллектор которых трещиновато-кавернозно-порового типа, характеризуются сложным строением пустотного пространства [1]. Для эффективной разработки низкопроницаемых коллекторов необходимо проводить прогнозирование притока в скважине. Соотношение проницаемости сети трещин и низкопроницаемой матрицы в таком коллекторе существенно влияет на величины притока и динамику изменения во времени. Для контроля добычи нефти на таких скважинах на практике используют методы гидродинамических исследований скважин (ГДИС). Для анализа и интерпретации динамических данных дебита и давления используют модель двойной пористости.

В данной работе представлены результаты применения модели двойной пористости для моделирования притока жидкости в скважинах. Моделирование динамики изменения притока жидкости в скважину

выполнено в наукоемком программном комплексе «РН-ВЕГА». Проведено моделирование динамики дебита для различных соотношений проницаемости сети трещин и низкопроницаемой матрицы (пласта), для различных соотношений емкостных свойств, размеров матрицы. Исследовано влияние различных параметров сети трещин и пласта, условий на границе пласта на параметры работы скважин в трещиновато-поровом пласте.

Проведенные расчеты показали, что изменение соотношений проницаемостей сети трещины и пласта влияют на динамику притока жидкости на ранних временах в интервале до 20 часов.

Литература

1. Байков В.А., Емченко О.В., Зайнулин А.В., Давлетбаев А.Я. Интерпретация и анализ результатов исследований коллектора трещиновато-кавернозно-порового типа // Научно-технический вестник «НК Роснефть» №5. 2007. С. 30-33

2. Уразов Р.Р., Ахметова О.В., Галлямитдинов И.И., Давлетбаев А.Я., Сарапулова В.В., Пестриков А.В. Моделирование динамики забойного давления в наклонно-направленной скважине // Прикладная механика и техническая физика. 2024. Т. 65. №6, С. 99 – 112.

© Саяхов Д.Р., Давлетбаев А.Я., 2026

УДК 532.5

Абдулина Е.С.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Валиуллина В.И.,
к.ф.-м.н., асс. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЛОЕНИЯ СЛОЖНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В нефтяной отрасли актуально исследование расслоения сложных дисперсных систем, образующихся на всех стадиях добычи, перекачки, переработки и транспортировки нефти. В настоящей работе было исследовано воздействие электромагнитного поля на трёхфазную дисперсную систему.

Эмульсия относится к дисперсной системе, которая рассеивает одну жидкость в другой в виде капель. Что касается трёх фаз в водонефтяной эмульсии, то одна из них представляет собой воду или водный раствор, другая – органическую фазу, которая не смешивается с водой, а третья – твёрдые включения [1].

В качестве объекта исследования была использована модельная эмульсия на основе трансформаторного масла. В работе использовалась трехфазная эмульсия, состоящая трансформаторного масла, 1% глины, 0,05% поверхностно-активного вещества (Span-80), 10% дистиллированной воды (Milli-Q). Готовая эмульсия помещалась в ячейку объемом 48x48x3мм. Передняя и задняя стенки ячейки представляют собой два стекла с напылением оксида индия-олова, на которых вытравлены зигзагообразные электроды. Расстояние между электродами составило 300 мкм.

В процессе эксперимента было исследовано влияние параметров ЭМ поля на расслоение трехфазной эмульсии. Были использованы напряжения поля $V_{pp}=100\text{В}$. Частота ЭМ поля также варьировалась $f=30\text{кГц}$, 50кГц и 70кГц .

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №25-27-00181, <https://rscf.ru/project/25-27-00181/>).

Литература

1. Deng Y. et al. Emulsion system, demulsification and membrane technology in oil–water emulsion separation: A comprehensive review //Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2023. – Т. 53. – № 12. – С. 1254-1278.

© Абдулина Е.С., Валиуллина В.И., 2026

УДК 536.24+532.5

Скобляков Р.М.,
асп. 1 г. об. ФТИ ТюмГУ, г. Тюмень
Науч. рук.: Шевелёв А.П.,
д.ф.-м.н., доц. ФТИ ТюмГУ, г. Тюмень

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАКАЧКИ И КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ПРИ ПАРОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПРИЗАБОЙНЫХ ЗОН

Запасы высоковязкой нефти занимают основную долю запасов жидких углеводородов. Разработка залежей с такими запасами возможна с применением тепловых методов нефтеотдачи. В методе пароциклической обработки (ПЦО) наиболее эффективно используется тепловая энергия. Этот метод включает в себя три этапа: нагнетание пара в пласт, паротепловая пропитка, добыча горячей водонефтяной смеси [1].

Существует небольшое количество способов моделирования процессов ПЦО и актуальным направлением является создание

упрощенных моделей, применимых к задачам оперативного характера и требующих минимального набора входных данных.

Кроме того, практически отсутствуют методы определения времени закачки и конденсации пара.

Целью данной работы является создание физико-математической модели описания процессов при закачке и конденсации пара, а также создание критериев определения времен остановки закачки и конденсации пара.

Предлагаемая физико-математическая модель основана на классических законах сохранения массы, импульса и энергии:

$$H_r \frac{\partial T}{\partial \tau} + H_s (\vec{v}_s \cdot \vec{\nabla}) T = \lambda \Delta T; m \frac{\partial S_s}{\partial \tau} + \operatorname{div}(F(S_s) \vec{v}_s) = -IS_s;$$

$$\vec{v}_s = -\frac{k}{\mu_s} (\operatorname{grad}(P) - \vec{g}(\rho_w - \rho_s)); \frac{dP}{dT} = \frac{l}{T \left(\frac{1}{\rho_s} - \frac{1}{\rho_w} \right)};$$

$$I = \frac{\alpha(h) \cdot (T_{(r,h,\tau)} - T_0) + C_r \cdot (1 - m) \cdot v \cdot \rho_r \cdot (T_{(r,h,\tau)} - T(r, h, \tau - \Delta\tau))}{l \cdot h \cdot \rho_s};$$

$$V_c = IS_s \frac{\rho_s}{\rho_w} V_r, \text{ если } P < \check{P}; V_c = S_s \frac{\rho_s}{\rho_w} V_r, \text{ если } P \geq \check{P};$$

где m – пористость, S_s – паронасыщенность, \vec{v}_s – скорость фильтрации пара, H, H_s – удельная объемная теплоемкость породы и пара соответственно, λ – теплопроводность системы, T – температура, I – поток конденсации, τ – время, r – радиус, $F(S_s)$ – функция Баклея-Леверетта, k – проницаемость, μ_s, μ_w, μ_o – вязкость пара, воды и нефти соответственно, P – давление, \vec{g} – ускорение свободного падения, ρ_w, ρ_s, ρ_r – плотность воды, пара и породы соответственно, α – коэффициент теплоотдачи, C_r – удельная теплоёмкость породы, l – теплота конденсации, h – мощность пласта, T_0 – начальная температура, \check{P} – давление насыщения, V_c – объем конденсата, V_r – поровый объем элемента кольца модельной сетки.

В качестве критериев времени остановки закачки пара предлагаются следующие выражения: $q_1 = \frac{\gamma}{|\operatorname{grad}(p_k)|} \geq 1$; $q_2 = \frac{v_t}{v_0} \approx 0$; $q_3 = \frac{V_w}{V_s} \geq 1$

где $\operatorname{grad}(p_k)$ – градиент давления на границе вытеснения, γ – предельный градиент давления нефти, v_t – скорость распространения фронта, v_0 – скорость распространения фронта в начальный момент времени, V_w – суммарный объем уже образовавшегося конденсата и будущего конденсата из паровой области, V_s – объем паровой зоны пласта.

Для определения времени остановки конденсации пара предлагаются следующие критерии: $a_1 = \frac{V_s(t)}{V_{s0}} = 0$; $a_2 = \frac{V_t(t)}{V_{t0}} < \frac{1}{e}$

где $V_s(t)$ – объем пара в пласте в текущий момент времени, V_{s0} – объем пара в начале пропитки, $V_t(t)$ – объем тепловой области в пласте в

текущий момент времени, V_{t0} – объем тепловой области в начале пропитки.

Остановка закачки и паротепловой пропитки осуществляется при достижении одних из критериев, выполняющихся первыми на данных этапах [2].

Модель апробирована и верифицирована с гидродинамическим симулятором tНавигатор, где показала хорошую сходимость результатов.

Сформулированная модель позволяет описать процессы ПЦО, требуя минимального набора входных данных и затрачивает значительно меньше время моделирования по сравнению с гидродинамическими симуляторами. Предложены критерии определения времени остановки закачки и конденсации пара.

Литература

1. Антониади, Д. Г. Настольная книга по термическим методам добычи нефти / Д. Г. Антониади, А. Р. Грушев, В. Г. Ишханов – Краснодар: «Советская Кубань», 2000. – 464 с. – Текст: непосредственный

2. Шевелёв А.П., Гильманов А.Я., Скобликов Р.М. Критериальный метод определения времени нагнетания пара при пароциклической обработке призабойных зон скважин // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия / Vestnik of Samara University. Natural Science Series. 2025 Т. 31, № 1 С. 34–50. DOI: 10.18287/2541-7525-2025-31-1-34-50.

© Скобликов Р.М., Шевелёв А.П., 2026

УДК 532.546:537.868

Абдульмянов Д.Р.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Давлетбаев А.Я.,
д.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИТОКА И НАКОПЛЕННОЙ ДОБЫЧИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ В СКВАЖИНЕ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА

При проектировании гидроразрыва пласта (ГРП) одним из ключевых вопросов является выбор оптимальной геометрии трещины, в частности её полудлины и проводимости, поскольку это непосредственно влияет на величину притока жидкости. Вопросы моделирования ГРП и расчёта притока жидкости в скважину с трещинами различной геометрии подробно рассмотрены в современной учебной литературе [1].

В данной работе представлены результаты моделирования зависимости притока и накопленной добычи высоковязкой нефти от геометрических параметров трещины (полудлины) с применением ПК «РН-ВЕГА». В ходе исследования проведено моделирование изменения притока жидкости и накопленной величины во времени для различных значений полудлины трещины, а также выполнено сопоставление эффективности различных геометрических параметров при прочих равных условиях.

Сопоставление полученных зависимостей показало, что с течением времени величина притока снижается для всех рассматриваемых вариантов полудлины трещины. Это обусловлено тем, что в начальный момент вблизи трещины фиксируется максимальное давление, по мере отбора флюида давление падает, градиент давления уменьшается, что и приводит к снижению величины притока. Накопленная величина притока при этом растёт быстрее на начальном этапе, а затем его рост замедляется в связи со снижением дебита.

Литература

1. Мухаметова З.С., Давлетбаев А.Я., Ковалёва Л.А. Моделирование нелинейной фильтрации высоковязкой нефти при высокочастотном электромагнитном воздействии в скважине с трещиной гидроразрыва пласта // Инженерно-физический журнал, № 5, том 98, 2025, С. 1453 - 1463

© Абдульмянов Д.Р., Давлетбаев А.Я., 2026

УДК 532.546:537.868

Латыпов Т.Р.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Давлетбаев А.Я.,
д.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИЙ ЖИДКОСТИ В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРАХ В ПК «РН-КИМ»

Применение линейного закона Дарси для моделирования фильтрации в низкопроницаемых коллекторах с неоднородными фильтрационными свойствами может приводить к существенным изменениям зон локализации остаточных запасов нефти [1].

В работе в ПК «РН-КИМ» [2] реализован подход с применением скриптов Python, сочетающий линейный и нелинейный режимы

фильтрации [3]. Это позволяет повысить детализацию воспроизведения нестационарных процессов в зонах интенсивного отбора пластовой жидкости, корректно описывать эволюцию радиуса дренирования, уточнить распределение скоростей фильтрации, а также повысить достоверность прогнозирования зон остаточных запасов нефти. Предложенный подход обеспечивает лучшую сходимостью с промысловыми данными в скважинах по сравнению с традиционными линейными моделями.

Литература

1. Свалов, А.М. Гидродинамические исследования нелинейной фильтрации в низкопроницаемых коллекторах / А.М. Свалов // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 1. – С. 32–37. – DOI 10.24887/0028-2448-2021-1-32-37. – EDN ZERWVV.
2. <https://rn.digital/rnkim/>
3. Давлетбаев, А. Я. Численное исследование нелинейной фильтрации высоковязкой жидкости в пласте при высокочастотном электромагнитном воздействии в вертикальной скважине / А. Я. Давлетбаев, Л. А. Ковалева, З. С. Мухаметова // Теплофизика высоких температур. – 2024. – Т. 62, № 5. – С. 731–738. – DOI 10.31857/S0040364424050116. – EDN URQWTL.

© Латыпов Т.Р., Давлетбаев А.Я., 2026

УДК 004.942

Гусаков Г.К.,
асп. 1 г. об. ТюмГУ, г. Тюмень
Науч. рук.: Шевелев А.П.,
д.ф.-м.н., проф. ТюмГУ, г. Тюмень

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМЕРА ПЕРВОГО ОБЪЕДИНЯЕМОГО В ПСЕВДОКОМПОНЕНТ УГЛЕВОДОРОДА

Описание свойств пластового флюида играют важную роль для подсчета запасов углеводородов, а также для планирования проекта разработки месторождения. Для определения свойств нефти или газа при разных термобарических условий, как пластовых, так и поверхностных используют математическую флюидальную модель, настроенную на результаты лабораторных исследований [1].

Флюидальная модель представляет собой уравнение состояния (наиболее распространенные из которых уравнение Пенга-Робинсона и Соавье-Редлиха-Квонга), начальный состав пластового флюида, а также

свойства каждой фракции. Современные лабораторные методы позволяют достаточно точно определять состав углеводородов, поэтому флюидальные модели включают в себя большое количество компонентов.

В настоящее время растет доля месторождений со сложным геологическим строением и фазовым поведением флюида, поэтому существует необходимость для более точного учета свойств углеводородов. Достигается это применением композиционных флюидальных моделей. Однако при применении композиционных моделей время расчета напрямую зависит от количества компонентов в флюидальной модели. Для сокращения времени расчета тяжелые углеводороды объединяются в единых псевдокомпонент [2], обладающий усредненными свойствами объединенных компонентов. При этом объединение большого количества компонентов искажает прогнозируемые свойства и дает значительное отклонение от лабораторных данных. В настоящее время нет единого подхода для определения первого объединяемого углеводорода в псевдокомпонент.

В данной работе рассмотрена методика объединения углеводородов в псевдокомпонент на основе оценки погрешности коэффициента распределения. Методика была опробована на двух газоконденсатных флюидах с потенциальным содержанием углеводородов C5+ равным 165,8 г/м³ и 252,7 г/м³. Показано, что объединение по предложенной методике в основном влияет на давление начала конденсации, а при корректировке коэффициента бинарного взаимодействия метана и псевдокомпонента позволяет добиться лучшего схождения с результатами лабораторных исследований.

Литература

1. Ющенко Т.С. Брусиловский А.И. Поэтапный подход к созданию и адаптации PVT-моделей пластовых углеводородных систем на основе уравнения состояния – 2022.
2. Томчик П.И. Математическое моделирование фазового состояния природных углеводородных систем – 2021.

© Гусаков Г.К., Шевелев А.П., 2026

ПОСТРОЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО МАССОПЕРЕНОСА ПРИ БЛОКИРОВАНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ТРЕЩИН

В условиях падающей добычи нефти форсирование отборов на нагнетательных скважинах нередко приводит к образованию техногенных трещин автогидроразрыва пласта (автоГРП). Следствием этого становится преждевременный прорыв воды к добывающим скважинам и рост обводнённости продукции, что существенно снижает эффективность разработки месторождения [1].

В основу математического описания положена система взаимосвязанных уравнений. Уравнение фильтрации фаз в пористой среде базируется на законе Дарси с поправкой на многофазность течения. Уравнение сохранения энергии учитывает процессы кондуктивного и конвективного теплопереноса, диссипацию энергии и теплообмен со стенками трещины [2]. Закон сохранения массы полимера описывает его распределение как в самой трещине, так и во вмещающей породе, принимая во внимание процессы осаждения и фильтрации. Начальные и граничные условия задают распределение давления, температуры, концентрации реагента и скорости закачки, что позволяет корректно описать динамику процесса [3].

Реализация модели выполнена в коммерческом гидродинамическом симуляторе tNavigator с применением неизоэтермической трёхфазной модели «чёрной нефти» (black-oil) и активированной температурной опции, что обеспечило достаточную точность расчётов без привлечения избыточно сложных комплексных подходов.

Результаты проведённого моделирования позволили получить ряд важных количественных характеристик процесса. Установлено, что учёт температурного поля снижает объём утечек на 15–25 % при неизменных параметрах работы скважины, что объясняется ростом вязкости суспензии и снижением её подвижности. Кроме того, выявлена зависимость критического времени заполнения трещины от температуры закачиваемой суспензии: при снижении температуры на 10 °С время заполнения увеличивается на 12–18 %. Построено распределение концентрации осевшего кольматационного реагента внутри трещины и в прилегающей зоне пласта, что позволило уточнить механизм блокирования (рис.1).

Оптимальная концентрация полимера для эффективного блокирования составила 0,8–1,2 % при температуре закачки 30–40 °С.

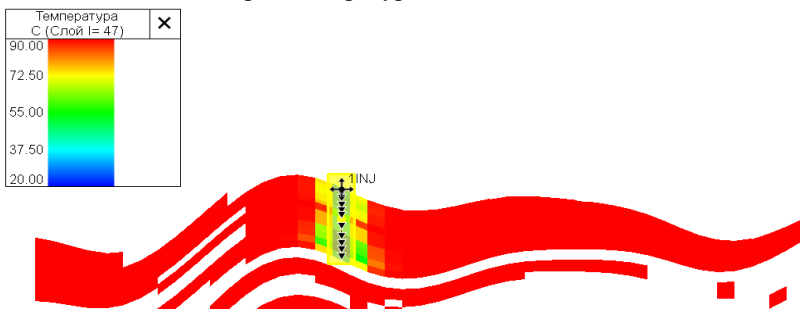


Рис. 1. Распределение пластовой температуры вдоль трещины автоГРП

Литература

1. Тома А. Полимерное заводнение для увеличения нефтеотдачи на месторождения легкой и тяжелой нефти / Тома А., Саюк Б., Абиров Ж. // Территория Нефтегаз 2017. № 7-8. С. 58–61.
2. Черный С.Г. Методы моделирования зарождения и распространения трещин / Черный С.Г., Лапин В.Н., Есипов Д. В., Куранаков Д.С. // Издательство Сибирского отделения Российской академии наук. Новосибирск. 2016. С. 312.
3. Татосов А.В. Движение проппанта в раскрывающейся трещине гидроразрыва пласта / Татосов А.В., Шляпкин А.С. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Математика. Механика. Информатика. 2018. Т. 18, № 2. С. 217–226.

© Касперович А.М., Шевелев А.П., 2026

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ К СКВАЖИНЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ПОЛУДЛИНОЙ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА В ПК «РН-ВЕГА»

Эффективная работа скважин поддерживается различными геолого-техническими мероприятиями, такими как обработка призабойной зоны пласта, рефраки, резка бокового ствола или бокового горизонтального ствола. Эти работы изменяют геометрию скважины, поэтому для математического описания забойного давления статические модели не подходят. Требуется динамические модели, учитывающие изменения во времени типа скважины, скин-фактора, полудлины и проводимости трещин и т.д.

Для описания фильтрации жидкости в трещине (при допущении, что проводимость трещины значительно превышает проводимость пласта, и сжимаемостью флюида в трещине можно пренебречь) применяется линейный закон Дарси. Интегрирование последнего дает выражение для расчета перепада давления между произвольным сечением трещины и скважиной.

Метод источников [1,2], основанный на функциях Грина, позволяет вычислить давление в любой точке пласта, в том числе и в трещине. Условие непрерывности давления на стенке трещины даёт выражение для перепада давления внутри трещины.

Комбинация полученного уравнения с законом сохранения массы флюида в трещине приводит к системе интегральных уравнений, относительно неизвестных функций забойного давления и интенсивности притока

$$\tilde{p}_{wD} - \int_{-l_D}^{l_D} \tilde{q}_{fD}(s, l'_D) \tilde{G}(s, r_{Dx}, r_{Dy}) dl'_D = \frac{2\pi}{F_{CD}} \int_0^{l_D} \int_{l'_D}^{l_D} \tilde{q}_{fD}(l''_D, s) dl''_D dl'_D,$$

здесь \tilde{p}_{wD} – безразмерное давление в скважине в пространстве Лапласа,

s – параметр Лапласа,

l_D – безразмерная координата,

$F_{CD} = k_f w / kL$ безразмерная проводимость трещины,

k_f – проницаемость трещины,

w – ширина трещины,

\tilde{q}_{fD} – интенсивность притока,
 \tilde{G} – функция источника,
 $1/s$ – полный безразмерный дебит трещины в пространстве Лапласа.

Модель была верифицирована путем сравнения с результатами вычислений в коммерческом симуляторе. Рассмотрена модель скважины с трещиной, полудлина которой менялась от 100 м до 200 м. Сравнение продемонстрировало согласованность результатов. Применение в ПК «РН-ВЕГА» модели, зависящей от времени, позволило точно воспроизвести забойное давление во всём временном диапазоне.

Литература

1. Ozkan, E. 1988. Performance of horizontal wells. PhD dissertation, Tulsa University, Oklahoma, USA.
2. Cinco-Ley, H., Samaniego, F., Dominguez, F. (1978). “Transient Pressure Behavior for a Well with Finite-Conductivity Vertical Fracture,” SPEJ, 253-264.
3. Моделирование динамики забойного давления в наклонно-направленной скважине. Уразов Р.Р., Ахметова О.В., Галлямитдинов И.И., Давлетбаев А.Я., Сарапулова В.В., Пестриков А.В. Прикладная механика и техническая физика. 2024. Т. 65. № 6 (388). С. 99-112.

© Ганиев Э.Э., Давлетбаев А.Я., 2026

УДК 665.6:541.182.

Харисова И.И., Гареева Д.Ф.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Зиннатуллин Р.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ

В современных реалиях добыча легкоизвлекаемой нефти почти исчерпывается, поэтому нефтедобывающая промышленность в большинстве случаев переходит на добычу трудноизвлекаемой нефти. Свыше 95% эмульсий, образующихся при добыче, являются трудноразделимыми эмульсиями типа «вода в нефти» [1]. Традиционные химические методы деэмульсации сталкиваются с проблемой селективности реагентов и их неэффективностью в условиях

изменяющейся обводненности продукции и повышенного содержания механических примесей. Более того, по мере истощения запасов легкой нефти растет доля высоковязких и тяжелых нефтей, транспортировка которых по трубопроводам сопряжена с высокими энергозатратами из-за аномальной вязкости. В связи с этим возникает острая потребность в развитии альтернативных, безреагентных физических методов воздействия, способных управлять поверхностными явлениями и реологией нефтяных дисперсных систем (НДС) на микроуровне. Проблема усугубляется ростом добычи сланцевой нефти, эмульсии которой стабилизированы не только асфальтенами, но и частицами породы. Применение электромагнитных полей (ЭМП) для таких систем особенно актуально, поскольку позволяет одновременно разрушать эмульсии и снижать вязкость парафинистого сырья без использования химических реагентов.

Исследование электромагнитных методов представляется наиболее перспективным направлением ввиду их доказанной энергоэффективности и управляемости. Установлено, что воздействие электрического поля способно снижать вязкость парафинистой нефти до 39% [2], а комбинированное электромагнитное воздействие увеличивает степень обезвоживания эмульсий на 15–20% [3]. Электромагнитные поля обеспечивают бесконтактное воздействие, исключаящее вторичное загрязнение системы и позволяющее мгновенно отключить поле после достижения требуемого технологического результата. Так же экспериментальные данные демонстрируют высокую чувствительность реологических свойств нефти к электрической компоненте поля [2].

При взаимодействии электромагнитного поля с нефтяными дисперсными системами представляет интерес влияние поля на поверхностные свойства такие как, краевой угол смачивания флюидов поверхности породы, поверхностное натяжение на границе раздела фаз и т.д. Для исследования влияния электромагнитного поля на поверхностные свойства НДС спланирован цикл лабораторных испытаний по определению влияния электромагнитного поля на краевой угол смачивания флюидов горной породы. Эксперименты проводятся по следующей схеме (рис. 1).



Рис. 1. Схема экспериментальной установки

На поверхность горной породы наносится капля флюида (нефть, вода) и по снимку определяется значение краевого угла смачивания. Далее жидкость обрабатывается электромагнитным полем и снова определяется краевой угол смачивания. Фиксируется изменение краевого угла смачивания, анализируются закономерности изменений в зависимости от параметров поля и физико-химических свойств флюидов.

Литература

1. Али М. Ф., Алькам М. Х. Роль асфальтенов и смол в стабилизации эмульсий // *Топливо*. 2000. Т. 79. № 11. С. 1309-1316.
2. Шейлом Дж. и др. Современное представление об эмульсиях воды в сырой нефти // *Достижения в области коллоидной химии*. 2003. Т. 100-102. С. 399-473.
3. Guo К. 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

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО ПРОСТРАНСТВА
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ
ЭМУЛЬСИИ**

Проблема расслоения сложных дисперсных систем является актуальной для нефтяной отрасли, поскольку такие системы возникают на всех этапах – от добычи до транспортировки и переработки нефти. Ключевой проблемой в этой области является утилизация и переработка нефтяных шламов – сложных многокомпонентных смесей, которые зачастую образуют стойкие, не расслаивающиеся эмульсии. Это самый крупнотоннажный отход нефтяной промышленности, представляющий серьезную угрозу для окружающей среды. Настоящая работа посвящена исследованию воздействия электромагнитного поля на трехфазную дисперсную систему.

Эмульсия представляет собой дисперсную систему, в которой одна жидкость рассеяна в другой в виде капель. В случае водонефтяной эмульсии, она состоит из трех фаз: водной (вода или водный раствор), органической (не смешивающаяся с водой) и твердых включений.

В качестве экспериментального образца была использована модельная эмульсия на основе трансформаторного масла. Эта трехфазная эмульсия включала трансформаторное масло, 1% глины, 0,05% поверхностно-активного вещества (Span-80) и 10% дистиллированной воды. Образец помещался в ячейку размером 48x48x3 мм, оснащенную электродами из оксида индия-олова, нанесенными на стекла с зигзагообразным рисунком методом мягкой литографии. Расстояния между электродами составляли 200, 300 и 400 мкм.

Экспериментально изучалось влияние величины межэлектродного пространства на процесс разделения трехфазной эмульсии. Параметры электромагнитного поля составили: напряжение поля 100 В (V_{pp}) и частота ЭМ 30кГц.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №25-27-00181, <https://rscf.ru/project/25-27-00181/>).

Волкова К.Е., студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Консультант: Юлмухаметова Р.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В КАПЛЕ ЭМУЛЬСИИ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ НАГРЕВА

Эмульсии типа «вода в масле» широко применяются в нефтяной, пищевой и медицинской промышленности. А эффективное управление процессами их получения и разрушения имеет ключевое значение для технологических операций. Одним из наиболее распространённых методов их разрушения является тепловая обработка [1]. Различные способы нагрева, например, контактный, высокочастотный (ВЧ) и сверхвысокочастотный (СВЧ), обладают разной физикой тепло- и массопереноса, что приводит к неоднородному распределению температуры внутри капли. Понимание этих особенностей необходимо для оптимизации режимов разрушения эмульсий. Однако, несмотря на объем работ, посвященных данной тематике, численное исследование динамики температурных полей в одиночной капле при разных типах нагрева остаётся достаточно актуальным.

Целью работы является выявление особенностей распределения температуры в одиночной капле водонефтяной эмульсии при контактном нагреве, а также при воздействии ВЧ и СВЧ-поля.

В работе рассматривается двухфазная система «вода-нефть» с явным учётом межфазной границы. Для контактного нагрева задаётся тепловой поток на границе ячейки; для ВЧ и СВЧ-воздействия в уравнении теплопроводности вводится объёмный источник тепла, связанный с диссипацией энергии электромагнитного поля. Математическая модель реализована в программном комплексе OpenFOAM.

Исследуется влияние способа нагрева, характеристик капли и теплофизических свойств фаз на пространственно-временное распределение температуры в системе «вода-нефть».

Литература

1. Фатхуллина Ю.И., Мусин А.А., Зиннатуллин Р.Р. [и др.] Численное моделирование сверхвысокочастотного электромагнитного нагрева эмульсионной капли // Вестник Башкирского университета. – 2012. – Т. 17, № 4. – С. 1666-1670.

© Волкова К.Е., Мусин А.А., Юлмухаметова Р.Р., 2026

ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ ГАЗОПРОВОДА С МАЛЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

При транспорте природного и попутного газа по промышленным трубопроводам даже малое содержание капельной жидкости (до 50 г/м³) оказывает заметное влияние на гидравлическое сопротивление. Классические методы расчёта, ориентированные на «сухой» газ (формула Веймаута), не учитывают дополнительное трение от жидкой фазы, что приводит к занижению потерь давления и, как следствие, к ошибочному выбору диаметра. Кроме того, традиционные подходы не позволяют оценить риск гидратообразования, возникающий при падении давления и температуры по длине трубопровода.

Разработана программа на C++, выполняющая итерационный гидравлический расчёт газопровода с учётом малого содержания капельной жидкости (50 г/м³, плотность 700 кг/м³), пересчёта объёмного расхода на каждой итерации (с учётом давления, температуры и коэффициента сверхсжимаемости), среднего давления по интегральному соотношению Чарного, коэффициента гидравлического сопротивления λ по Альтшулю с учётом шероховатости стенок (Δ от $3 \cdot 10^{-5}$ до $3 \cdot 10^{-4}$ м в зависимости от состояния труб), падения температуры за счёт эффекта Джоуля-Томсона (коэффициент 0,5 °С/МПа), равновесной температуры гидратообразования для газа с наличием тяжёлых углеводородов. Программа выполняет подбор диаметров двух участков газопровода длиной 15 км (начальное давление 4 МПа, конечное 0,6 МПа) и одновременно прогнозирует зоны возможного гидратообразования.

Для новых труб ($\Delta = 3 \cdot 10^{-5}$ м) оптимальные диаметры составили 82 мм (первый участок) и 95 мм (второй участок). Расчёт по классической формуле Веймаута (без учёта жидкости) дал занижение диаметра на 12-18%, что подтверждает необходимость предлагаемой методики.

При использовании диаметров, рассчитанных по классическим формулам, программа фиксирует вход в зону гидратообразования на втором участке, что указывает на риск образования гидратных пробок.

Разработанная программа позволяет гидравлически корректно подбирать диаметр газопровода для газа с малым содержанием жидкости и одновременно оценивать риск гидратообразования. Пренебрежение жидкостной фазой и термодинамическими эффектами приводит не только

к занижению диаметра, но и к неучёту потенциально аварийных режимов эксплуатации.

Главные формулы, используемые в работе:

$$E = \frac{1}{1,06 + 2,233 * \eta^{0,32} / \nu}, \quad (1)$$

$$D = \sqrt[5]{\frac{Q^2}{K^2 * E^2} * \frac{\lambda * z * T * L * \Delta}{(p_1^2 - p_2^2)}}, \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{0,009407}{D^{\frac{1}{3}}}, \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}, \quad (4)$$

$$\lambda = 0,11 * \left(\frac{\Delta}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (5)$$

$$Re = \frac{\rho * \nu * D}{\mu}, \quad (6)$$

$$T_{гидр} = (8 + 5\Delta) \ln P + (3 + 2\Delta), \quad (7)$$

$$T_{вых} = T_{вх} - \mu * (P_{вх} - P_{вых}). \quad (8)$$

где (1) - гидравлический расчет газопроводов с массовой концентрацией в потоке нефтяного газа при скорости газа менее 15 м/с, (2) – формула по нахождению внутреннего диаметра трубопровода, (3) - коэффициент гидравлического сопротивления по эмпирической формуле Веймаута, (4) - формула Блазиуса, (5) - формула Альтшуля, (6) - число Рейнольдса, (7) – равновесная температура гидратообразования, (8) – падение температуры (эффект Джоуля-Томсона).

Литература

1. Ишмурзин А.А., Ишмурзина Н.М. Особенности гидравлического расчета газопровода для сбора попутного нефтяного газа. Р 68 Роль математики в становлении специалиста-2024: материалы Международной научно-практической конференции. – Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2024. – 172 с.

2. Ишмурзина Н.М. К12 Технологические расчеты в дисциплине «Техника и технология нефтедобычи»: Методический практикум. – Уфа: Изд-во БашГУ, 2020. – 49 с.

3. Ишмурзина Н.М., Ишмурзин А.А. Г 60 Рациональное использование попутного нефтяного газа: учебник для вузов / Ишмурзина, Н. М., А. А. Ишмурзин. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2010. – 376 с.

© Гафаров К.Р., Ишмурзина Н.М., 2026

ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ НАЧАЛА ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ГАЗОПРОМЫСЛОВОМ ШЛЕЙФЕ

При транспортировке газа от скважины до сборного пункта по шлейфам часто возникает гидратообразование, которое приводит к росту гидравлического сопротивления, снижению пропускной способности, а в ряде случаев – к полной закупорке трубопровода и аварийной остановке скважины.

Для решения этой задачи разработана программа на языке C++, которая автоматизирует расчёт точки начала гидратообразования. Программа на основе исходных технологических данных последовательно вычисляет: параметр Шухова (интенсивность теплообмена) по формуле (1), коэффициент гидравлического сопротивления по формуле Веймаута (2), среднюю температуру газа на участке – формула (3), конечное давление в шлейфе по формуле (4), а затем – распределение давления и температуры по всей длине с заданным шагом по формуле (5), а также температуру гидратообразования по эмпирическому уравнению (6), учитывающему давление в каждой точке шлейфа и состав газа через относительную плотность с учётом состава газа и выводит развёрнутую таблицу значений.

На основе сводной таблицы, формируемой программой по всем рассчитанным вариантам, можно построить графики распределения температуры газа $T(x)$ и температуры гидратообразования $T_{го}(p(x))$ в одних осях координат. Точка пересечения этих двух кривых показывает, на каком расстоянии от устья скважины начинается образование гидратов.

$$a = \frac{262,3 \cdot k \cdot d_{\text{н}}}{Q \cdot \rho \cdot C_p \cdot 10^6} \quad (1)$$

$$\lambda = 0,009407/d^3 \quad (2)$$

$$T = T_{\text{ос}} + \frac{T_y - T_{\text{ос}}}{a \cdot L} (1 - e^{-a \cdot x}) \quad (3)$$

$$p_{\text{к}} = \sqrt{p_{\text{н}} - \frac{Q^2 \cdot \lambda \cdot \Delta \cdot T_{\text{ср}} \cdot Z \cdot l}{10,23 \cdot 10^{-12} \cdot d_{\text{вн}}}} \quad (4)$$

$$T_x = (T_y - T_{oc})e^{-a \cdot x} - D_i \cdot (p_y - p_x) \quad (5)$$

$$T_{ro}(p) = \frac{4,5 \cdot \ln(p)}{1+0,1 \cdot \ln(p)} + 2,5 \cdot (\Delta - 0,554) \quad (6)$$

Ниже приведены графики образования гидратов для разных значений вводных данных (рис. 1 а, б), где Q – расход газа в шлейфе, L – длина шлейфа, T_{oc} – температура окружающей среды.

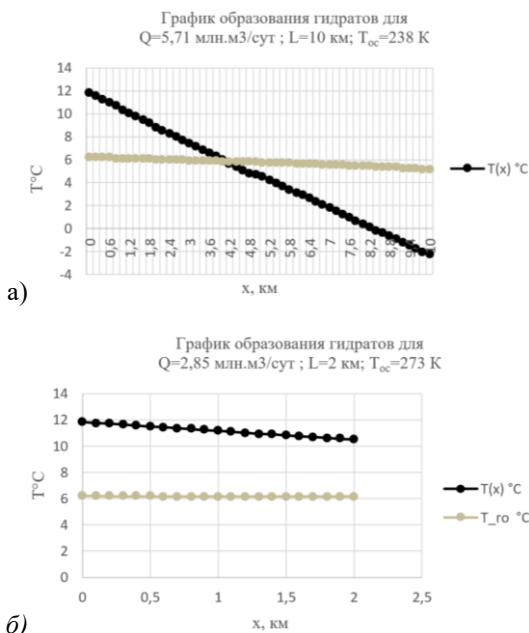


Рис. 1. Образование гидратов для разных значений вводных данных

Литература

1. Ишмурзин А.А., Ишмурзина Н.М. Особенности гидравлического расчета газопровода для сбора попутного нефтяного газа. Р 68 Роль математики в становлении специалиста-2024: материалы Международной научно-практической конференции. – Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2024. – 172 с.

2. Ишмурзина Н.М. К12 Технологические расчеты в дисциплине «Техника и технология нефтедобычи»: Методический практикум. – Уфа: Изд-во БашГУ, 2020. – 49 с.

© Сафина Р.Р., Ишмурзина Н.М., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Импульсное магнитное поле ускоряет процессы коалесценции (слияния) капель дисперсной фазы и фазового разделения эмульсий, что повышает эффективность их разрушения и разделения на отдельные компоненты (воду, нефть, газ и механические примеси) [1].

Это объясняется поляризацией капель воды и разрушению бронирующих оболочек. Под действием импульсного магнитного поля происходит неоднородное поведение диамагнитных и парамагнитных компонентов, входящих в состав эмульсии. Это приводит к поляризации глобул воды и разрушению защитных оболочек, окружающих капли дисперсной фазы [1].

В данной работе рассмотрена эмульсия (Масло-вода) соотношение 60% масла и 40% вода, которая проходит через установку импульсного магнитного поля. Каждый раз эмульсия была подвержена разной частотой (10, 25, 50 Гц).

На данном примере (рис.1) видно, что разница отслоённой воды между 10 Гц (слева), 25 Гц (средняя) и 50 Гц (справа) варьируется, что означает при увеличении частоты, увеличивается эффективность фазоразделения эмульсии [2].

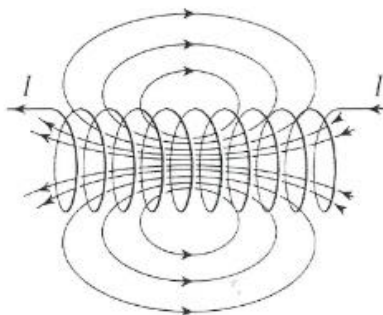


Рис. 1. Эмульсии (Масло-вода) после обработки ИМП при разных частотах (через сутки)

Литература

1. Романова Ю.Н., Мусина Н.С., Марютина Т.А. Исследование влияния импульсного магнитного поля на разрушение водонефтяных эмульсий (2019).
2. Голубев И.А. Технология магнитно-фильтровальной очистки нефтезагрязненных сточных вод предприятий тэк (2014).
3. Борисов М.И. Магнитная обработка нефти, природа воздействия (2020).

© Киреев И.И., Зиннатуллин Р.Р., 2026

УДК 532.5, 536.2, 536.5

Батыршин К.Э.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Солнышкина О.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. консультант: Батыршин Э.С.,
к.ф.-м.н., ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ КАНАЛОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА

Тепловая нагрузка на современные высокопроизводительные микропроцессоры достигла экстремальных значений, зачастую превышающих 250–300 Вт, а порой даже и 400 Вт при тяжелых вычислениях [1].

Существует проблема перегрева оборудования. Данную проблему можно решить, используя эффективные жидкостные системы охлаждения. Одним из примеров таких систем являются микро- и мини-теплообменники с особой структурой каналов. Эффективность теплообмена такой системы напрямую зависит от геометрии структуры. Одним из важных параметров является способ распределения входного и выходного потока. Чтобы судить об эффективности теплообмена помимо интегральных характеристик важно знать поле распределения температуры внутри теплообменника. Зная распределение температуры внутри теплообменника, можно своевременно устранять точки перегрева. Целью нашей работы является экспериментальное изучение разделения входящего потока в теплообменник, путем применения разных распределителей потока и оценка их эффективности.

Для экспериментов были изготовлены три теплообменника из меди. Основа теплообменника представляла собой медную пластину, на поверхности которой располагалась пространственно упорядоченная система цилиндрических столбиков. Система столбиков создавалась фрезерованием. Теплообменники различались входным и выходным распределителем потока: одноканальный, двухканальный и четырехканальный. Структура каналов и материал теплообменников не изменялись. К теплообменнику приклеивались трубки для подачи и отвода теплоносителя. Пленочный нагреватель приклеивался снизу теплообменника. В ходе экспериментов мощность нагревателя поддерживалась на постоянном уровне 9.5 Вт. Во входном и выходном каналах теплообменника были установлены термомпары К типа для регистрации температуры теплоносителя. В медное основание теплообменника было установлено 3 термомпары, распределенных между входным и выходным каналами. Показания с термомпар считывались с помощью устройства ввода-вывода NI-USB-6356 и выводились на компьютер для дальнейшей обработки. Объемный расход жидкости задавался на шприцевом насосе. Поле температур в теплообменнике во время эксперимента определялось с помощью метода флуоресцентной термометрии [2]. Для этого изображения теплообменника во время эксперимента регистрировались с помощью флуоресцентного микроскопа DinoLite AM4115T-YFGW.

В ходе экспериментов были получены зависимости коэффициента средней теплопередачи и термического сопротивления от расхода, числа Нуссельта от числа Рейнольдса для трех разных конфигураций распределителя потока (рис. 1), а так же карты температуры теплоносителя в теплообменнике.

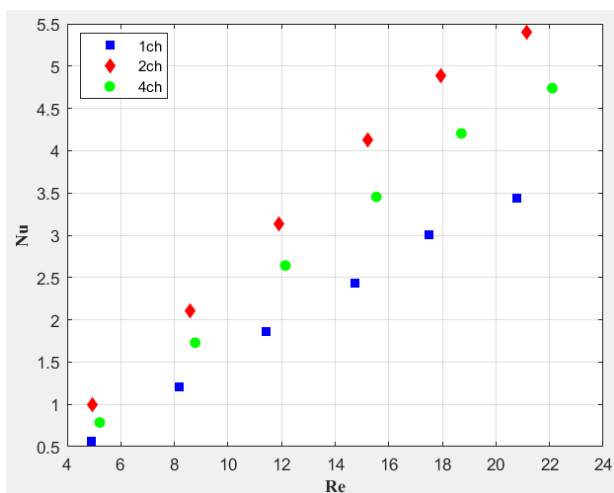


Рис. 1. График зависимости числа Нуссельта от числа Рейнольдса для разных распределителей потока

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ № 24-19-00697, <https://rscf.ru/project/24-19-00697/>).

Литература

1. Wu, Y. Evolution, Challenges and Applications of Modern MOSFETs // Applied and Computational Engineering. – 2023. – V. 24.
2. Lou J., Finegan M. T., Mohsen P., Hatton T. A., Laibinis P. E. Fluorescence-Based Thermometry: Principles and Applications // Reviews in Analytical Chemistry. – 1999 – V. 18.

© Батыршин К.Э., Солнышкина О.А., Батыршин Э.С., 2026

УДК 532.61.08

Фаррахетдинова А.И., студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
 Усманов Б.А., асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Мусин А.А.,
 к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ

В условиях современности автоматизация физического эксперимента является неотъемлемой частью научных исследований. Среди всех физических феноменов особое место занимает явление поверхностного натяжения. Поскольку поверхностное натяжение влияют на форму, прочность и прочие свойства межфазных поверхностей, оно является

ключевым фактором, определяющим параметры флюидов, содержащих в себе устойчивые капли и пузырьки других флюидов – дисперсий. Определение поверхностного натяжения необходимо в самых разных областях промышленности, но особенно в процессе сепарации эмульсий, образующихся при добыче нефти. Для определения коэффициента поверхностного натяжения существуют различные методы. В рамках данной работы был разработан программный инструмент, способный принимать, обрабатывать и анализировать экспериментальные данные, получаемые при использовании ряда этих методов.

Программный продукт представляет собой пользовательский интерфейс с вкладками расчетных модулей: реализованные методы по определению поверхностного натяжения и вывод конечного результата с погрешностями измерений. В разделах с реализованными методами пользователю предлагается ознакомление с методом (справочная информация о методе) и ввод экспериментальных данных тех физических величин, которые описаны в нем. Все внесенные данные оформляются в таблице «Сводка результатов». Перед расчетом итоговых погрешностей эксперимента необходимо указать приборные погрешности, если таковые имеются. В разделе «Результаты» осуществляется вывод доверительного интервала для коэффициента поверхностного натяжения, рассчитанный методом, выбранным из выпадающего списка. Также пользователю представляется возможность визуального сравнения методов между собой - построение графика по относительным погрешностям методов.

Инструмент написан на языке Python в парадигме объектно-ориентированного программирования с применением набора библиотек PyQt5 для создания кроссплатформенных десктопных приложений.

© Фаррахетдинова А.И., Усманов Б.А., Мусин А.А., 2026

УДК 532.5, 519.6

Курбанова С.С.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Давлетбаев А.Я.,
д.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ

В нефтяной промышленности достоверные PVT-свойства пластовых флюидов критически важны для проектирования разработки месторождений. Это требует развития и внедрения математических моделей, описывающих поведение углеводородных систем. Переход от

расчёта Z-фактора для однофазной системы к комплексному определению термодинамических свойств двухфазной смеси (плотность, энтальпия, фазовый состав, равновесные концентрации и др.) предполагает использование более сложных вычислительных подходов.

Цель работы - разработка алгоритма расчёта термодинамических свойств двухфазной углеводородной смеси на основе трёхпараметрического уравнения состояния Пенга - Робинсона [1]. Основные задачи: создание алгоритма, включающего расчёт фазового равновесия, коэффициентов летучести, плотности фаз, теплоёмкости, вязкости, внутренней энергии, коэффициента Джоуля - Томсона и скорости звука [2]; его программная реализация и построение блок-схемы калькулятора [3].

Предлагаемый алгоритм создаёт основу для углублённых исследований термодинамики многокомпонентных систем и ориентирован на изучение и внедрение современных трёхпараметрических моделей в промышленные процессы нефтяной отрасли, обеспечивая существенно более полную информацию о свойствах пластовых флюидов по сравнению с однофазным приближением.

Литература

1. Michelsen, M.L., 1994. Calculation of multiphase equilibrium. *Comput. Chem. Eng.* 18, 545–550.
2. Ишмуратов Т.А., Давлетбаев А.Я. Определение средней скорости звука в межтрубном пространстве механизированной скважины // ПМТФ. 2025. Т. 66. № 3 (391). С. 122-134
3. Pedersen K. S., Christensen P. L., Shaikh J. A. Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids. – Boca Raton, 2014. – 465 p.

© Курбанова С.С., Давлетбаев А.Я., 2026

УДК 536.24; 532.5

Мечников В.А.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Солнышкина О.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В МИКРОКАНАЛАХ ПРИ ПЕРЕУПАКОВКЕ МАССИВА ПИНОВ

Разработка мини- и микромасштабных систем охлаждения требует глубокого понимания гидродинамики в таких системах. Структура микроканалов теплоотвода имеет решающее значение, поскольку она

должна обеспечивать максимально возможную площадь поверхности теплообмена и приемлемые гидродинамические потери при прокачивании теплоносителя. Наиболее перспективным является использование микротеплообменников, составленных из микромасштабных каналов с множеством пинов различной формы [1, 2]. Одной из важных задач в микрогидродинамике и микро- и наноэлектронике является оптимизация охлаждения. Кроме того, немаловажно продление срока службы систем охлаждения путем увеличения теплообмена жидкости и стенок микроканала, а также уменьшения физического износа таких систем в процессе эксплуатации. Целью данной работы является варьирование упаковки пинов для оптимизации процесса отвода тепла со стенок микроканала при поддержании минимального расхода жидкости.

В рамках данной работы проведено численное моделирование течения жидкости в микроканалах высотой 50 мкм с распределенным массивом пинов при постоянной плотности теплового потока и заданном перепаде давления. В программном продукте Ansys Fluent проведено параметрическое исследование эффективности теплопереноса при варьировании пространственного распределения пинов. В данной модели пины представлены в виде столбиков с каплевидным поперечным сечением, занимающих всю высоту микроканала и расположенных перпендикулярно потоку жидкости. Рассматривалось три варианта конфигурации микроканала, в которых площади поперечного сечения пинов равнялись площади круга радиусом 20 мкм. При сохранении коэффициента пустотности, равного 79%, проводилась переупаковка пинов, то есть менялось расстояние между ними. На рисунке 1 представлена геометрия пина в плоскости xOy (а), а также пример одной из рассматриваемых конфигураций микроканала (б).

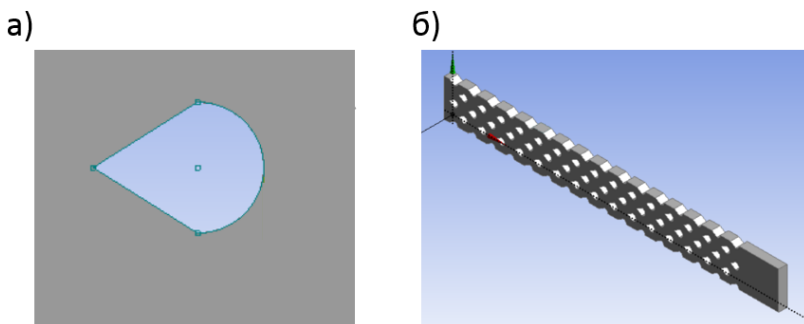


Рис. 1. Поперечное сечение пина (а) и модель микроканала с массивом пинов (б)

В результате численного моделирования получены зависимости изменения температуры и объемного расхода жидкости, а также числа

Нуссельта и коэффициента трения от задаваемого перепада давления для всех конфигураций микроканалов. Таким образом, показано, что при сохранении пустотности микроканала изменение его внутренней структуры влияет на картины течения и теплообмен.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ 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. 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.

© Мечников В.А., Солнышкина О.А., 2026

УДК 622.276.6

Камалетдинов Н.Х.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Зиннатуллин Р.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ-НАГРЕВА ПАРАФИНА С ДОБАВЛЕНИЕМ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ

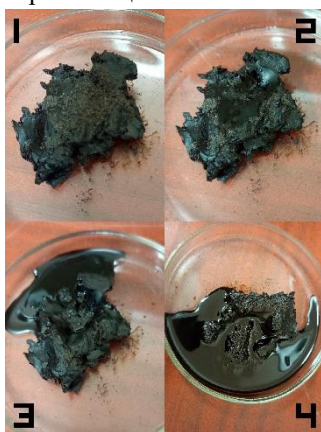
Отложение асфальто-смоло-парафиновых веществ (АСПО) на внутренних стенках насосно-компрессорных труб (НКТ) является одной из наиболее частых причин снижения дебита и аварийных остановок нефтяных скважин. При подъёме нефти на поверхность температура падает, растворимость тяжёлых углеводородов снижается, и парафин кристаллизуется, образуя прочные отложения, которые сужают проходное сечение вплоть до полной закупорки. Существующие методы борьбы (механическая очистка, паротепловая обработка, закачка растворителей) либо трудоёмки, либо энергозатратны [1], а прямой СВЧ-нагрев парафина малоэффективен из-за его диэлектрических свойств, т.к. чистый парафин слабо поглощает микроволновое излучение.

В данной работе исследуется метод СВЧ-нагрева парафиновых отложений путём введения в их структуру токопроводящих микрочастиц и наночастиц (железного порошка, оксида железа (Fe_2O_3 или Fe_3O_4)), который выступает в роли локального поглотителя микроволновой

энергии. Оксид железа обладает высокими магнитными потерями в СВЧ-диапазоне (2,45 ГГц) и интенсивно нагревается в электромагнитном поле, передавая тепло окружающему парафину. В лаборатории планируется провести эксперимент с образцами парафина с различной концентрацией оксида железа и подвергнуть их облучению.

Ожидается, что чистый парафин (0% добавки) будет нагреваться слабо и плавиться медленно из-за диэлектрических потерь. Введение даже 1–5% частиц приведёт к резкому увеличению поглощения СВЧ-энергии и локальному разогреву образца до температур выше температуры плавления парафина (50–70°C) за время от 30 до 90 секунд. При концентрации 10% нагрев будет наиболее интенсивным, однако возможно образование «горячих точек» и перегрев. На основе результатов планируется определить оптимальную концентрацию добавки, обеспечивающую быстрое и равномерное расплавление отложения без повреждения металла НКТ.

На рис. 1. а) представлены фотографии лабораторного эксперимента по СВЧ-нагреву образца парафина с небольшой концентрацией микрочастиц железа.



а)



б)

Рис. 1. а) СВЧ-нагрев парафина с добавлением микрочастиц железа; б) Зависимость температуры парафина от времени СВЧ-нагрева

Литература

1. Лесин В.И. Физико-химические основы обработки магнитным полем коллоидных систем, участвующих в процессах добычи, транспортировки и подготовки нефти. Институт проблем нефти и газа РАН. 2018. С. 1–10).

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

ВЛИЯНИЕ ВТОРОГО МАСШТАБА УПАКОВКИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МИКРОФЛОИДНЫХ ЧИПОВ НА ЕГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Одновременно с активным развитием микроэлектроники актуальными темами становятся теплоотвод с использованием микрофлюидных систем, которые, создаются в несколько этапов, основными из которых являются создание структуры на с микроканалами с использованием анизотропного травления и последующее соединение при помощи анодного связывания. В данной работе рассматриваются влияние второго масштаба упаковки [1] и использования дополнительной плазмо-химической обработки на гидродинамические и тепловые характеристики чипа.

В качестве экспериментальных образцов использовались кремниевые подложки с кристаллографической ориентацией (100) и микроструктурой, для формирования которой использовалась стандартная процедура фотолитографии, с параметрами 2W-d50-A40-K1,0 и 2W-d50-A40-K0,9 с дополнительной обработкой и без. Основное травление проводилось в 30% растворе КОН при температуре 80°C на специально собранной установке. Для части образцов следующим этапом была дополнительная обработка в установке для плазмохимического травления при режиме 50 Вт. Далее проводилось анодное связывание кремниевой подложки и боросиликатного стекла (Borofloat 33) на подготовленной установке при температуре 450°C и приложенном напряжении 350 Вт. Готовые образцы проверялись на эффективность теплоотвода и гидродинамические свойства. В результате исследования изучено влияние второго масштаба упаковки на гидродинамические свойства и эффективность теплоотвода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ 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.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ СТЕНОК КРЕМНИЕВОГО МИКРОКАНАЛА НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА

Вследствие активного развития и усложнения электронных девайсов актуальной проблемой является интенсификация процессов теплопереноса в микроканальных теплообменных аппаратах, эффективность работы которых определяется двумя основными факторами – интенсивностью теплообмена и мощностью, требуемой на прокачку хладагента. Одним из потенциальных методов повышения коэффициента теплоотдачи в таких устройствах является создание искусственной шероховатости на стенках микроканала. Элементы шероховатости поверхности микротелообменных аппаратов приводят к разрушению вязкого ламинарного подслоя, в котором сосредоточено основное термическое сопротивление потока. Это в свою очередь приводит к повышению числа Нуссельта, а, следовательно, к более продуктивной работе теплообменника. Однако шероховатые поверхности также могут привести к повышенному гидродинамическому сопротивлению потока.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния искусственной трехмерной шероховатости на гидродинамические характеристики потока в плоских кремниевых каналах. Методами мягкой литографии, химического травления и анодного склеивания было изготовлено несколько микрофлюидных чипов с шероховатостью, созданной с помощью постобработки чипов в установке плазмохимического травления в режиме одного генератора. Было рассмотрено 5 структур с различными мощностями обработки, а также 1 канал без постобработки. Определенная методами спектрометрии высота каналов составила 15 мкм с погрешностью 500 нм. Параметры шероховатости были изучены на атомно-силовом микроскопе. Была произведена сборка и отладка экспериментальной установки, включающей компрессор и контроллер давления, где задавался перепад давления в интервале от 49 до 89 кПа, датчик давления для учета потерь перепада давления на трение в соединительных трубках и датчик объемного расхода, резервуар с флюидом, в качестве которого использовалась дистиллированная вода, и

сама микроструктура (Рис. 1.). Более подробное описание экспериментальных техник представлено в [1, 2].

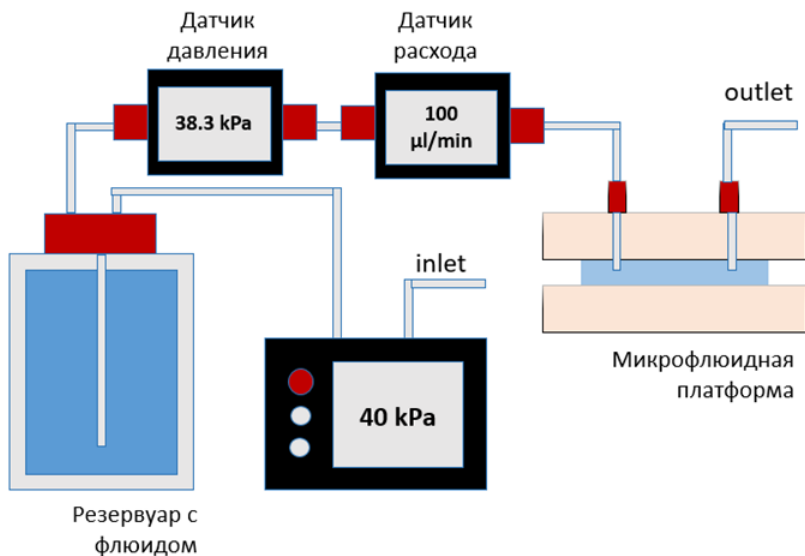


Рис. 1. Экспериментальная установка

Была получена зависимость объемного расхода флюида от заданного перепада давления. Сравнение полученной зависимости с данными АСМ говорят о наибольшем влиянии на пропускную способность чипов высоких выступов шероховатостей и наиболее глубоких впадин, так как такие области приводят к повышению потерь на трение за счет образования вихрей в потоке и рециркуляции флюида.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ 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. 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

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТЕЧЕНИЯ КРОВИ В КРОВЕНОСНЫХ СОСУДАХ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Сердечно-сосудистые заболевания остаются одной из ведущих причин смертности в мире. Понимание особенностей течения крови в сосудах переменного сечения, таких как артерии с атеросклеротическими бляшками или аневризмами, позволяет более точно прогнозировать развитие заболеваний, оценивать риски и разрабатывать эффективные методы диагностики и лечения [1]. Численное моделирование даёт возможность исследовать эти процессы без необходимости проведения инвазивных экспериментов.

Целью работы является разработка численной модели для описания пульсирующего течения крови в сосудах переменного сечения [2].

В данной работе рассматривается задача о пульсирующем ламинарном течении крови в артерии с изменяющимся сечением [3]. Положим, что кровь течет в цилиндрической артерии радиуса R и r , и длины L под действием периодически меняющегося перепада давления $\Delta p(t)$ (рис. 1).

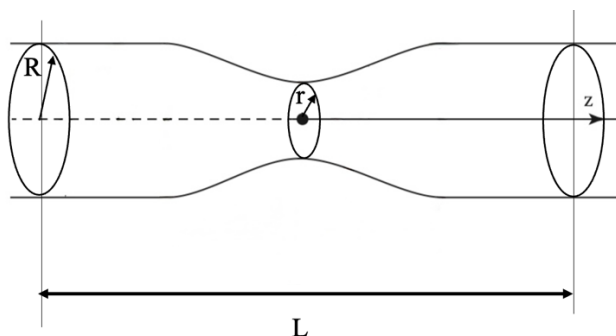


Рис. 1. Схема течения

Математическая модель течения состоит из уравнения неразрывности и уравнений Навье-Стокса, записанных в цилиндрической системе координат. Из-за переменного сечения сосуда и нелинейного характера пульсирующего течения крови система уравнений Навье-Стокса не имеет

аналитического решения, поэтому для её решения необходим численный метод.

Предполагая, что течение ламинарное и осесимметричное, математическая модель примет вид:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = 0, \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \right) + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right], \quad (2)$$

где u_z – осевая скорость, p – давление, ν – кинематическая вязкость крови, ρ – плотность крови.

Перепад давления изменяется по гармоническому закону:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = - \frac{\Delta p}{L} = A^* (\cos(\omega t)), \quad (3)$$

где A^* – амплитуда, ω – круговая частота, i – мнимая единица.

Изменение радиуса сечения задается следующими формулами:

$$R = r(1 - h \exp(-(\frac{z-z_0}{d})^2)) - \text{локальное сужение (стеноз)}, \quad (4)$$

где h – безразмерная величина, обозначающая степень сужения.

В новой модели скорость не находится напрямую из уравнения, а вычисляется через расход крови и площадь переменного сечения с помощью метода контрольных объемов.

Литература

1. Womersley, J. R. Method for the calculation of velocity, rate of flow and viscous drag in arteries when the pressure gradient is known // J. Physiol., 1955, v. 127, pp. 553-563.

2. Хмель, Т.А., Федоров, А.В. Моделирование пульсирующих течений в кровеносных капиллярах // Математическая биология и биоинформатика, 2013, Т. 8, № 1, с. 1–11.

3. Nichols, W. W., O'Rourke, M. F., Edelman, E. R, Vlachopoulos, C. McDonald's Blood Flow in Arteries. Taylor & Francis Group. 2022.

© Ермакова М.В., Кирсеев В.Н., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЭЛЕКТРОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЭМУЛЬСИИ

Сложный состав современной влажной сырой нефти требует дальнейшего совершенствования технологии электрического обезвоживания, отвечающей новейшим требованиям переработки. Исследование разделения эмульсий в электромагнитных полях переменного тока направлено на изучение влияния различных параметров на эффективность фазоразделения и структурные изменения эмульсий. Такие исследования могут охватывать как воздействие переменного электрического поля, так и комбинированные методы с использованием электромагнитных полей разных диапазонов (высокочастотных, сверхвысокочастотных и др) [1].

На эффективность разделения эмульсий большое влияние оказывают параметры переменного электрического поля, а также их конфигурация и неоднородность. Экспериментально установлено, что характер деформации микрокапель эмульсии в переменном электрическом поле зависит от его частоты. При низких частотах капли сплющиваются вдоль направления поля, а при более высоких — принимают вытянутую форму. Также на эффективность разделения влияют напряжённость электрического поля и температура [2].

В данном исследовании изучалась эффективность обезвоживания дисперсной фазы (вода) в непрерывной фазе (трансформаторное масло) в электрических полях, создаваемых тремя предложенными электродами. Рассмотрена эмульсия в соотношении 60% масла и 40% вода. Электромагнитное поле создавалось двумя стальными сеточными электродами, изогнутой формы. Исследовались углы изгиба: 60, 90, 120 градусов при частоте поля - 10 кГц.

Результаты показывают, что электрические поля, создаваемые предложенными электродами, способствуют процессу обезвоживания путём оптимизации распределения поля. Кроме того, неоднородные поля, формируемые предложенными электродами, приводят к ускорению движения капель воды и улучшению стадии осаждения. Из гистограммы (рис.1) видно, что при повышении угла, увеличивается количество отслоившейся воды.

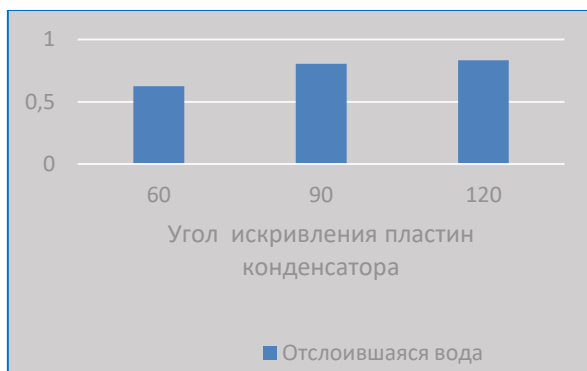


Рис. 1. Количество отслоившейся воды от угла изгиба электрода

Полученные результаты могут быть использованы при разработке оптимальной геометрии электродов для эффективной электрокоалесценции на промышленных установках.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №25-27-00181, <https://rscf.ru/project/25-27-00181/>).

Литература

1. Ковалева Л. А. и др. Лабораторные исследования фазоразделения водонефтяных эмульсий в высокочастотных и сверхвысокочастотных электромагнитных полях // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 4. – С. 80-86.
2. Бекетова Е. С., Нечаева О. А., Диканский Ю. И. Особенности деформации капель магнитных эмульсий в переменном электрическом поле // Электронная обработка материалов. – 2022. – Т. 58. – № 6. – С. 42- 51.
3. Борисов М. И. Магнитная обработка нефти. Природа воздействия // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2020. – № 6. – С. 8-15.

© Кинзябулатов И.И., Зиннатуллин Р.Р., 2026

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ И АДАПТИВНЫХ ПЕРЕСТАНОВОК КАНАЛОВ

Классические детекторы границ (Собель, Кэнни [1]) работают с полутоновыми изображениями, теряя цветовую информацию, что делает их нечувствительными к изолюминантным границам – переходам с разным цветом, но одинаковой яркостью.

Цель работы – разработать метод, использующий полную RGB-информацию, чувствительный к цветовым переходам и вычислительно эффективный.

Метод RGB-каналы интерпретируются как три скалярные поверхности. Градиенты каналов $\nabla C = (\Delta C_x, \Delta C_y)$ вычисляются оператором центральной разности второго порядка точности [2]:

$$\Delta C_x[i, j] = (C[i, j + 1] - C[i, j - 1])/2 \quad (1)$$

$$\Delta C_y[i, j] = (C[i + 1, j] - C[i - 1, j])/2 \quad (2)$$

Для каждой перестановки каналов (X, Y, Z) и направления виртуального источника света $\vec{L} = (d_x, d_y)$ вычисляется отклик:

$$E_{\vec{L}}(x, y) = \sqrt{(\nabla C_X \cdot \vec{L})^2 + (\nabla C_Y \cdot \vec{L})^2} \cdot (1 + \alpha \cdot \frac{C_Z(x, y) - T}{255}) \quad (3)$$

Здесь T – адаптивный порог (75-й процентиль глобального распределения интенсивностей), α – параметр чувствительности к контрасту (по умолчанию $\alpha=1.0$). Перебираются все 6 перестановок каналов и 8 направлений освещения, результаты объединяются слиянием по максимуму. Финальная бинаризация – по порогу, соответствующему верхнему 5% пикселей по яркости.

Результаты. Метод реализован на Python/NumPy. Тестирование проведено на наборе из 6 синтетических изображений с эталонными границами (F1-score, допуск 2 пикселя). Сравнение с классическими методами приведено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение методов по F1-score

Изображение	Sobel	Canny	VectorLight
Шахматная доска	0.970	0.953	0.925
Концентрические окружности	1.000	1.000	1.000
Изолюминантные цветные патчи	0.000	0.000	0.909
Цветовой круг	0.808	0.487	0.607
Размытый диск	0.565	1.000	1.000
Плавный градиент (без границ)	0.000	1.000	0.000
Средний F1	0.557	0.740	0.740

На изолюминантных патчах предложенный метод достигает $F1=0.909$, тогда как классические операторы, работающие с яркостью, дают 0.000. По среднему F1 метод сопоставим с детектором Кэнни.

Производительность. Замеры времени выполнены на оборудовании: Процессор: AMD Ryzen 5 5500U, 2.10 GHz, 6 ядер / 12 потоков, ОЗУ: 16 ГБ DDR4, 3200 MHz, ОС: Windows 11, Python 3.10, NumPy 1.24, SciPy 1.10. Среднее время обработки изображения 256×256 пикселей: Sobel: 8.1 ± 0.2 мс, Canny: 16.4 ± 0.3 мс, VectorLight: 58.6 ± 2.1 мс

Таким образом, предложенный метод уступает Canny в быстродействии ($\sim 3.6 \times$), однако обеспечивает уникальную чувствительность к цветовым границам при сохранении приемлемой производительности для задач оффлайн-обработки.

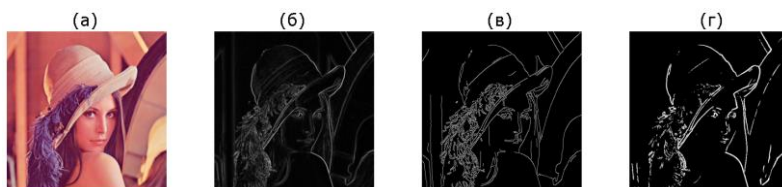


Рис. 1. Сравнение на портретном цветном изображении: (а) исходное, (б) Собель, (в) Кэнни, (г) VectorLight (разработанный метод)

Заключение. Разработанный метод эффективно выделяет цветные границы, включая изолюминантные, при сохранении высокого быстродействия. Код открыт: github.com/Nervni-Sanya/Edge-detection-benchmark.

Литература

1. Canny J. A computational approach to edge detection // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 1986. Vol. 8. P. 679–698.
2. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. 4th ed. Pearson, 2018.

© Панченко А.А., Латыпов К.Ф., 2026

Мукимова Р.Ш.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. конс.: Лапицкий Д.Р.,
рук. отдела обработки данных, Уфимский НТЦ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЦН-ПЭД

Современное состояние нефтяной промышленности характеризуется тем что преобладают месторождения с трудноизвлекаемыми запасами (ТРИЗ), которые требуют обеспечения экономической эффективности разработки. Одним из ключевых факторов при освоении таких месторождений является эксплуатация насоса с высокой мощностью для работы в условиях высоких нагрузок и работы с вязкими средами.

По сравнению со штанговыми глубинными насосами (ШГН) электроцентробежные насосы с погружным электродвигателем (ЭЦН-ПЭД) обладают большей эффективностью при эксплуатации горизонтальных скважин и в условиях больших глубин спуска.

Эксплуатационные характеристики опираются на паспортные характеристики насоса, полученных при испытаниях на воде (или ином малозатратном флюиде), что приводит к неточности расчетов напорно-расходных характеристик насоса при работе в условиях реальной нефтяной скважины.

Это обуславливает необходимость создания расчетной модели, учитывающей влияние реальных свойств флюида на работу насоса. В данной работе представлена математическая модель, обеспечивающая динамический расчет свойств трехфазной смеси (на базе Black-oil модели) и последующее определение градиента давления с использованием корреляций TUFFFP (Tulsa University Fluid Flow Projects) [1]. Такой подход позволяет реализовать алгоритм адаптации паспортных характеристик ЭЦН-ПЭД под конкретные свойства добываемого флюида и текущий режим течения.

Литература

1. Mukherjee H., Brill J. P. Multiphase flow in wells //Society of Petroleum Engineers of AIME. – 1999.

© Мукимова Р.Ш., Мусин А.А., Лапицкий Д.Р., 2026

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ КУЭТТА-ТЕЙЛОРА

В работе исследуется течение вязкой несжимаемой жидкости в зазоре между коаксиальными цилиндрами при вращении внутреннего цилиндра (течение Куэтта-Тейлора). Целью является численное решение задачи методом конечных объёмов и сравнение его с аналитическим решением для оценки точности метода.

Объектом исследования является ламинарное осесимметричное течение в цилиндрической геометрии. Математическая модель описывается уравнением:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d\vartheta}{dr} \right) = 0. \quad (1)$$

Численное решение получено методом контрольного объёма (Finite Volume Method) [1] на равномерной радиальной сетке.

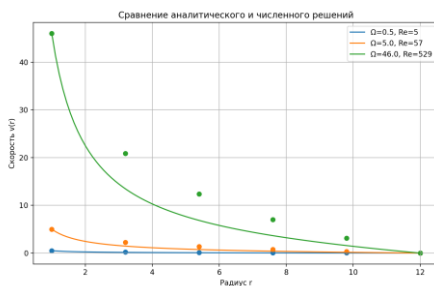


Рис. 1. Численный и аналитический профили скорости при разных угловых скоростях

В результате получены профили скорости при различных значениях угловой скорости (Рис 1). Установлено, что с увеличением угловой скорости возрастает величина скорости по всему радиусу, при сохранении формы профиля. Вычислена погрешность численного решения путем сравнения с аналитическим решением.

Литература

1. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.

ОЦЕНКА ПРОВОДИМОСТИ РАЗЛОМОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН НА НЕФТЕГАЗОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Оптимизация процессов разработки залежи требует учёта тектонических нарушений и их проводимости. В случае, когда стандартное межскважинное гидропрослушивание не может быть реализовано, предложен комплексный метод на основе анализа ГДИС, данных эксплуатации и динамики пластового давления для выявления непроницаемых разломов [1].

Несмотря на необходимость обработки больших объёмов информации, достоинством предложенного подхода является отсутствие дополнительных затрат [2]. В рамках исследования проведён анализ методом кривой стабилизации давления (КСД) вблизи предполагаемого разлома, а также выполнено сопоставление динамики пластового давления по зонам исследования. На основе характерного поведения кривой производной давления и выявленных различий в динамике пластового давления с высокой вероятностью диагностировано наличие непроницаемой границы [1]. Совокупный анализ рассмотренных методов оценки предполагаемого разлома позволяет сделать вывод о его непроницаемости.

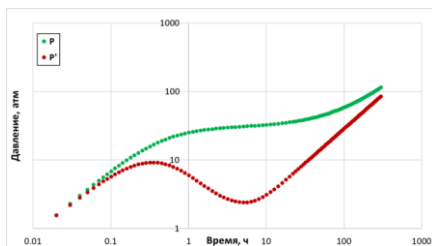


Рис. 1. Диагностический график производной давления

Литература

1. Кременецкий М.И., Ипатов А.И. Гидродинамические и промыслово-технологические исследования скважин: Учебник. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 476 с.

2. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1993. – 416 с.

© Зуева К.Д., Киреев В.Н., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ВОДОМАСЛЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В НЕОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Важнейшими техническими проблемами при разрушении промежуточных слоев являются повышенная устойчивость. Стойкость эмульсии обусловлена наличием в нефти большого количества природных стабилизаторов (смола, асфальтенов, парафинов), деэмульгатора и механических примесей это преимущественно продукты коррозии.

В данной работе был предложен способ разрушения высокоустойчивых эмульсий с помощью воздействия неоднородного ЭМ поля разной частоты для отслоения воды из эмульсии.

Экспериментальная часть включает разработку экспериментальной установки, приготовление модельных эмульсий, воздействие на них электромагнитным полем разной частоты и анализ полученных результатов.

В соответствии с этим, в рамках данной работы была создана экспериментальная установка (рис. 1).

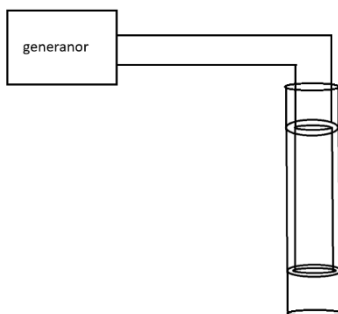


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Узел обработки эмульсии электромагнитным полем представлял собой коаксиальный цилиндрический конденсатор. Electroды были изготовлены из мелкоячеистой стальной сетки для создания неоднородного поля. Эксперименты проводились на частотах: 0,1кГц, 1кГц, 10кГц (рис. 2).

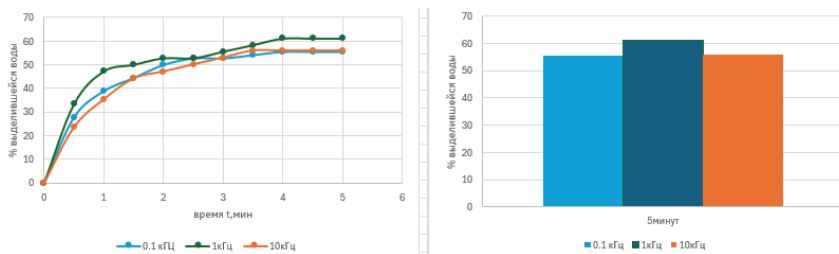


Рис. 2. Зависимость количества выделившейся воды от времени воздействия ЭМ полем при разных частотах

В ходе эксперимента установлено, что увеличение времени обработки электромагнитным полем способствует росту объема выделившейся воды для всех частот. Максимальная эффективность зафиксирована на частоте 1 кГц. Рекомендуется использовать данный режим как наиболее эффективный. Целесообразно продолжить исследования в области более высоких частот и комбинированных режимов воздействия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №25-27-00181, <https://rscf.ru/project/25-27-00181/>).

Литература

1. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. М., Недра, 1982, 221 с.

© Сабиров Т.З., Зиннатуллин Р.Р., 2026

УДК 532.5.032

Маукаев И.И., студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Киреев В.Н.,
 к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СТРУЙНОГО ТЕЧЕНИЯ

Исследование распределения температуры в струйных течениях критически важны для многих важных отраслей промышленности при проектировании двигателей и турбин, решения экологических проблем и контроля выбросов.

Целью данной работы является исследование и оценка распределения температурного поля при струйном течении.

Распределение поля температуры моделируется путем численного решения уравнений Навье-Стокса и конвективного уравнения теплопроводности [1] методом контрольного объема:

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \Delta \vec{v},$$
$$\nabla \cdot \vec{v} = 0,$$
$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) T = a^2 \Delta T.$$

На рис. 1 представлено характерное распределение температуры в области струйного течения.

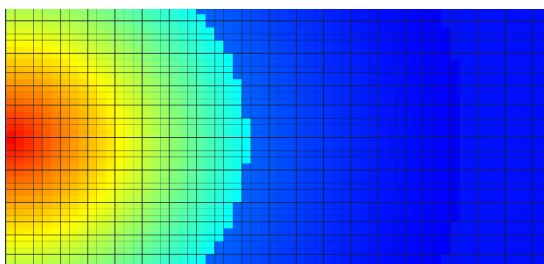


Рис. 1. Распределение температуры в области струйного течения

Показано, что большая скорость струи не всегда будет соответствовать большей скорости теплопередачи из-за сокращения времени контакта. Результаты исследований позволяют определять параметры, при которых охлаждение или нагрев будут оптимальными.

Литература

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.

© Маукаев И.И., Киреев В.Н., 2026

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Важнейшими техническими проблемами при моделировании течения неньютоновских жидкостей являются нелинейность уравнений движения и сложность получения аналитических решений. Течение неньютоновских жидкостей в пограничном слое обусловлено зависимостью эффективной вязкости от скорости сдвига, что делает невозможным применение классических аналитических методов и требует использования численных методов решения.

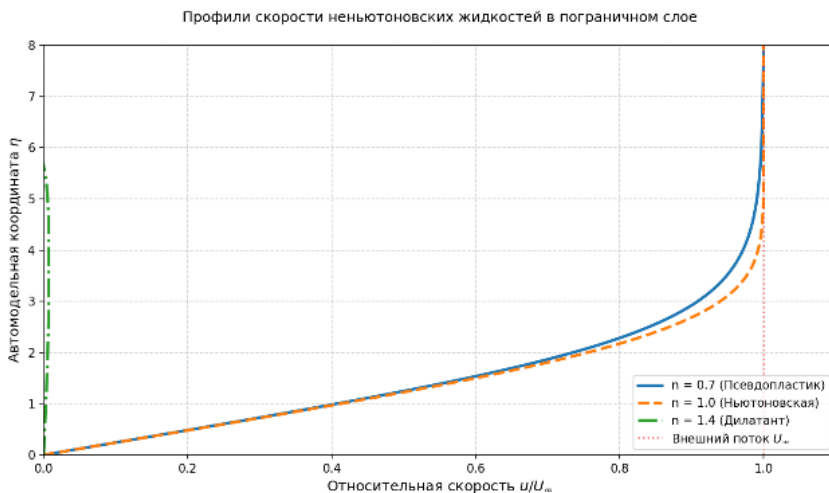
В данной работе было предложено численное решение задачи о течении неньютоновской жидкости в пограничном слое с использованием метода контрольных объемов.

Расчетная часть включает разработку математической модели, дискретизацию дифференциальных уравнений пограничного слоя методом контрольных объемов, построение расчетной сетки, итерационное решение полученной системы нелинейных алгебраических уравнений и анализ полученных результатов.

Математическая модель течения описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных Прандтля, адаптированных для сред, подчиняющихся степенному реологическому закону Оствальда – де Виля. Основное уравнение движения в проекции на ось x имеет вид [1]:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left(K \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|^{n-1} \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

В ходе численного моделирования установлено, что для псевдопластичных жидкостей толщина пограничного слоя увеличивается на 15-20% по сравнению с ньютоновской жидкостью. Применение метода контрольных объемов [2, 3] позволило обеспечить сохранение законов сохранения на дискретном уровне и получить устойчивое решение при различных граничных условиях. Рекомендуется учитывать реологические свойства при расчете гидродинамического сопротивления. Целесообразно продолжить исследования с применением многосеточных методов для ускорения сходимости.



Литература

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 536 с.
2. Патанкар С. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
3. Versteeg Н.К., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. Pearson Education Limited, 2007. 503 p.

© Мухитов Д.Р., Киреев В.Н., 2026

Хасанова Я.Р.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. конс.: Галеев Р.Р.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЯЗКОСТИ МОДЕЛЬНОЙ НЕФТЯНОЙ СИСТЕМЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Закономерности нелинейного изменения свойств нефтяных дисперсных систем (НДС) при электромагнитном воздействии (ЭМП), реализуемом в ограниченном пространстве микроканалов, остаются малоисследованными [1]. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование изменения вязкости модельной нефтяной системы под воздействием ЭМП.

Объектом исследования являлась нефть с вязкостью 8,93 мПа·с при нормальных условиях. Экспериментальная установка выполнена на основе прямоугольного микроканала размером 26×1 мм с боковыми встроенными электродами. Перепад давления задавался компрессорным насосом в диапазоне 10–30 кПа с шагом 5 кПа, расход измерялся высокоточными весами AND GR-300 с передачей данных на ПК через RS Weight. Температура в ячейке измерялась тепловизором Infigay P2 PRO.

Получены зависимости расхода нефти от перепада давления для двух режимов: без воздействия и под действием ЭМП. Зафиксировано значительное увеличение расхода в поле, обусловленное снижением вязкости при нагреве мегагерцовой частотой. Эффект максимален при наименьшем перепаде (10 кПа) из-за более длительного нагрева и структурной перестройки. Оценка вязкости по уравнению Гагена-Пуазейля с верификацией ротационной вискозиметрией подтвердила пригодность методики для реологического анализа нефти в микроканалах при ЭМП воздействии.

Литература

1. Ковалева Л.А., Зиннатуллин Р.Р., Мухарьямова Г.И. Исследования влияния высокочастотного, сверхвысокочастотного электромагнитного и теплового видов воздействия на свойства Ярегской и Девонской нефтей // Вестник Тюменского государственного университета. – 2021. – Т. 7, № 4 (28).

© Хасанова Я.Р., Мусин А.А., Галеев Р.Р., 2026

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КАПЛИ АНОМАЛЬНО-ТЕРМОВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

В медицине перспективным направлением является разработка термочувствительных полимеров, которые обладают аномальной зависимостью вязкости от температуры, для создания «умных» систем доставки лекарств. Исследование поведения таких единичных полимерных капель в потоке с неравномерным распределением температуры представляет значительный научный и практический интерес и является слабо изученной задачей. В настоящей работе исследуется скорость и деформация одиночной термовязкой капли, движущейся в плоском канале с температурным воздействием.

Рассматривается движение изначально сферической капли радиуса R_0 в плоском канале под действием перепада давления Δp (рис. 1). Жидкости считаются несжимаемыми и несмешивающимися, плотности одинаковы. Жидкость втекает в канал при температуре T_{in} , на стенках канала задано условие теплообмена с окружающей средой температуры $T_{out} < T_{in}$. Вязкость несущей жидкости μ_s считается постоянной, вязкость капли μ_d рассматривается двух видов:

1. монотонная зависимость вязкости от температуры;
2. аномальная зависимость вязкости от температуры.

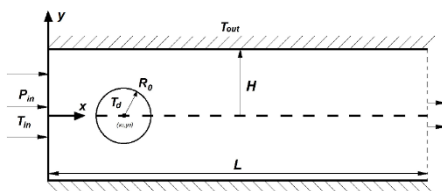


Рис. 1. Схема канала и капли

Деформация капли в потоке жидкости моделируется с помощью системы уравнений Кана-Хилларда-Навье-Стокса [1–4]. Отношение вязкости капли к вязкости несущей жидкости $\lambda = \mu_d / \mu_s$ варьировалось. Были сделаны расчеты для $\lambda = 0.1$, $\lambda = 1$, $\lambda = 10$.

На рис. 2 показаны формы капли на выходе из канала для трех значений λ , для монотонной и аномальной зависимостей вязкости от температуры.

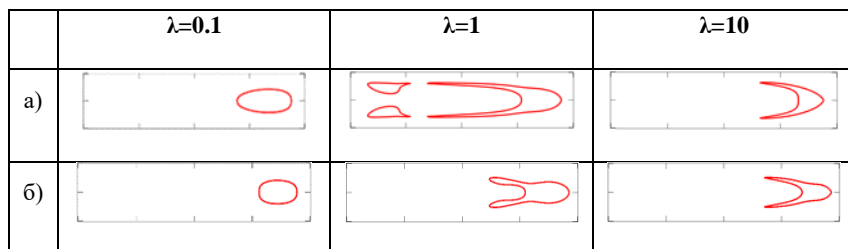


Рис. 2. Формы капель с а) монотонной и б) аномальной зависимостью вязкости от температуры

Видно, что во всех случаях капля сильно деформируется. При $\lambda=0.1$ капля вытягивается и приобретает пулеобразную форму (капли Тейлора). При увеличении λ на задней стенке возникает прогиб, который в монотонном случае при $\lambda=1$ приводит к разрыву капли.

Литература

1. Li J, Zheng D, Zhang W. Advances of Phase-Field Model in the Numerical Simulation of Multiphase Flows: A Review // Atmosphere. Vol. 14. No. 8. 2023. Pp.1311.
2. Cahn J.W., Hilliard J.E. Free Energy of a Nonuniform System. I. Interfacial Free Energy // The Journal of Chemical Physics. Vol. 28. No. 2. 1958. Pp. 258-267.
3. Badalassi V. E., Cenicerros H. D., Banerjee S. Computation of multiphase systems with phase field models // J. Comput. Phys. Vol. 190. 2003. Pp. 371–397.
4. Галеева Д.Р., Киреев В.Н. Моделирование динамики капли, движущейся в плоском канале с вязким барьером // Многофазные системы. Т. 20. № 3. С. 129-134. 2025.

© Душенко А.Р., Галеева Д.Р., 2026

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ И КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ

Актуальность работы обусловлена необходимостью оптимизации конструкций смесителей, диффузоров и медицинских имплантатов, где управление течением в расширяющихся каналах напрямую влияет на эффективность и надежность устройств. Численное моделирование ламинарного течения в расширяющихся цилиндрическом и кольцевом каналах позволяет прогнозировать зоны отрыва потока, перераспределение скоростей и потери давления, которые невозможно описать аналитическими методами.

Моделирование для случая с кольцевым каналом производится путём численного решения:

$$u(r) = \frac{\Delta P}{4\mu L}(R^2 - r^2)$$

Численное решение показало отличное совпадение с аналитическим параболическим профилем скорости

Рисунки и таблицы вставлены в текст.

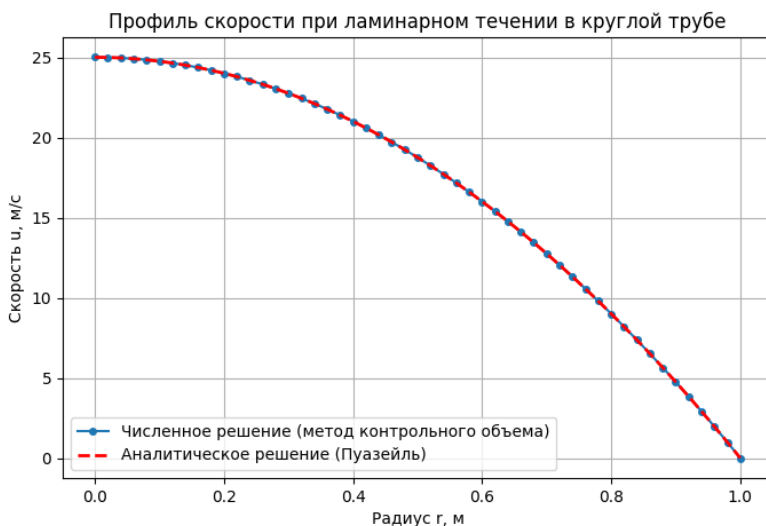


Рис. 1. Профиль скорости

Таким образом, метод контрольного объёма является надёжным инструментом для моделирования течений в каналах.

Литература

1. Васильева, Елена Игоревна. Математическое моделирование ламинарного течения вязкой среды в каналах произвольной формы. // Авторефераты диссертаций. 2013. - 18 с.

© Каншаев Д.А., Киреев В.Н., 2026

УДК 53

Гарифуллин И.Ш., асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Андрянов Н.Г., студ. 2 к. ФТИ УУНиТ
Науч. рук.: Солнышкина О.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАВЛЕНИЯ КОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПОВ

Кремний – наиболее распространенный материал подложки, используемый в микроэлектронике и микромеханике. Он применяется не только в качестве пассивной подложки, но и в качестве активного материала в электронных или механических компонентах. Необходимые для изготовления кремниевых изделий поверхностные рисунки или микроструктуры могут быть получены с помощью методов жидкостного химического травления. Влажное химическое травление кремния делится на изотропное и анизотропное травление. Изотропное травление подразумевает равномерное распределение травильного агента во всех направлениях, и этот метод травления не зависит от ориентации кристаллов, поэтому он равномерно удаляет материал во всех направлениях.

Для отработки методики мокрого травления использовались кремневые подложки с кристаллографической ориентацией (100) толщиной 460 мкм (АО «Телеком-СТВ»). Для формирования микроканалов в кремневой подложке использовалась стандартная процедура фотолитографии. Травление осуществлялось в 30% КОН растворе в диапазоне температур 60-80 °С. Геометрия каналов представляет собой прямоугольные каналы шириной 100 мкм с шагом 200 мкм, как показано на рис. 1.

После травления производилось удаление маскирующих слоев. После промывки образца разрезались напополам и исследовались на оптическом микроскопе для определения глубины травления

Для исследования топологии полученных каналов помощью оптического микроскопа. Образцы промывались

В рамках работы собрана экспериментальная установка для мокрого травления, получены зависимости скорости травления от температуры. В дальнейшем полученные результаты могут быть использованы для изготовления микрофлюидных чипов кремний/стекло.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ 24-19-00697, <https://rscf.ru/project/24-19-00697/>)

© Гарифуллин И.Ш., Андриянов Н.Г., Солнышкина О.А., 2026

УДК 622.276.5.

Сайтов Т.М.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ
Науч. рук.: Ишмурзина Н.М.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПАРАМЕТРОВ ГЖС ПО СТВОЛУ СКВАЖИНЫ

При подъеме добываемой газожидкостной смеси по стволу скважины растворенный в нефти газ, достигая глубины, соответствующей давлению насыщения, неизбежно высвобождается и выходит в свободную фазу, проскальзывая к устью скважин. При этом газ не совершает работу, хотя сжатый газ обладает определенной потенциальной энергией.

В данной работе рассмотрена динамика параметров ГЖС в зависимости от изменения давления по стволу скважины.

Программный код, результаты которого были визуализированы в виде графиков с помощью программной системы для вычислений «GNU Octav», был написан на языке программирования C++.

Анализ изменения параметров показывает, что:

- большая часть растворенного газа на устье находится в свободном объеме: $45,32 \text{ м}^3/\text{м}^3$ из $50,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$:

- скорость всплытия газовых пузырьков меняется по параболическому закону и увеличилась с 0.00166082 м/с до 0.0448636 м/с - почти в 270 раз.

- плотность газа ввиду увеличения объема изменяется по линейному закону: с 68.1544 кг/м^3 до 6.81551 кг/м^3 .

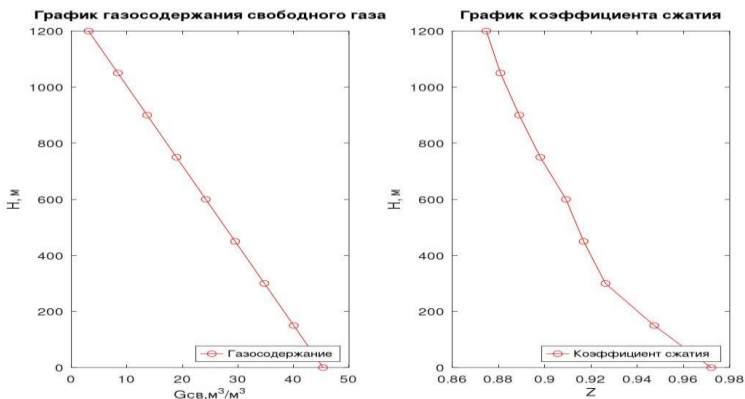


Рис. 1.

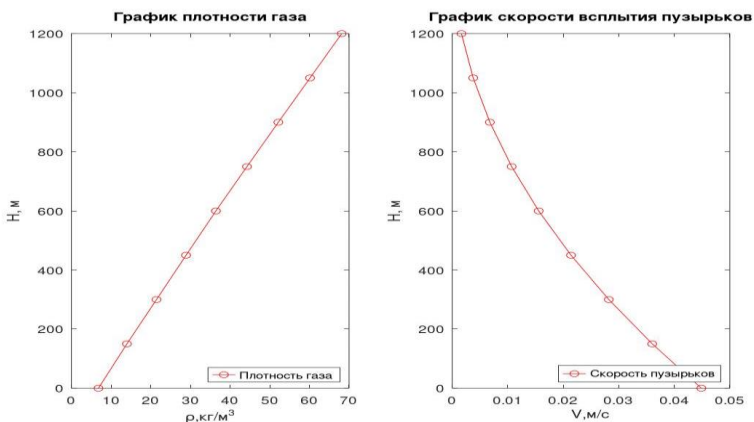


Рис. 2.

Литература

1. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: Физматгиз, 1959. – 699 с.
2. Муравьев И.М., Репин Н.Н. Исследование движения многокомпонентных смесей в скважинах. - М.: Недра, 1972. – 208 с.
3. Ишмурина Н.М. Техника и технология нефтедобычи: Учеб. пособие. – Уфа: Изд-во БашГУ, 2020. – 49 с.

© Саитов Т.М., Ишмурина.Н.М., 2026

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОГО ТЕЧЕНИЯ «ЖИДКОСТЬ – АНОМАЛЬНО-ТЕРМОВЯЗКАЯ ЖИДКОСТЬ – ЖИДКОСТЬ»

Во многих технологических процессах используются дисперсные течения. Например, эмульсии и микроэмульсии широко используются в различных областях, включая косметику, фармацевтику, пищевую промышленность и химическое производство. Температура играет важную роль в формировании и стабильности этих систем.

Существуют жидкости, вязкость которых изменяется немонотонно или аномально: при увеличении температуры вязкость также увеличивается в некотором температурном диапазоне. К таким жидкостям относятся полимерные растворы, аномально вязкие нефти и термочувствительные медицинские гидрогели [1].

Основной особенностью таких жидкостей является «вязкий барьер» – локализованная область с повышенной вязкостью, которая значительно влияет на течение жидкости. Изучение поведения таких аномально-вязких жидкостей является актуальной задачей.

В работе рассматривается ламинарное трехслойное течение несжимаемой термовязкой жидкости под действием перепада давления Δp (рис.1). Пристеночные слои обладают постоянной вязкостью, слой в центре канала – аномальной зависимостью вязкости от температуры. Жидкость втекает в канал при постоянной температуре T_{in} , на стенках канала происходит теплообмен с окружающей средой температуры $T_{out} < T_{in}$. Жидкости считаются несмешивающимися и несжимаемыми, плотности одинаковы.

Течение жидкости моделируется с помощью модели фазового поля [2]: двухфазное течение находится путем решения уравнений Навье-Стокса, а для отслеживания межфазной границы используется уравнение Кана-Хилларда [3], в котором граница раздела сред имеет малую, но конечную толщину.

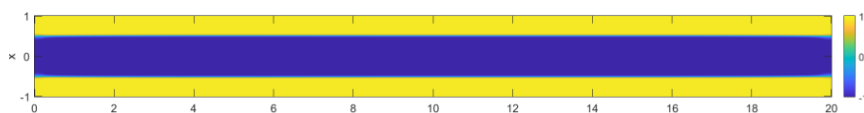


Рис. 1. Трехслойная жидкость в начальный момент времени

На рис. 2 показано изменение границы трехслойной жидкости в момент времени $T=150$. Видно, межфазная граница деформировалась, при этом в месте образования вязкого барьера (см. рис.3) возникает значительное расширение центрального слоя жидкости.

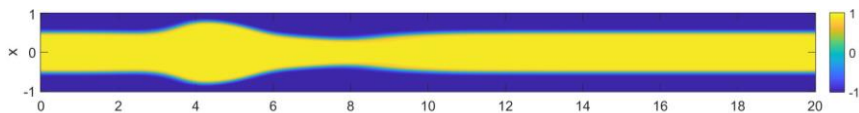


Рис. 2. Трехслойная жидкость в момент времени $T=150$

На рис. 3 показано распределение вязкости в момент времени $T=150$. Вязкость пристеночных слоев остается постоянной, в то время как вязкость внутреннего слоя изменяется – в ней образуется небольшая высоковязкая область «вязкий барьер».

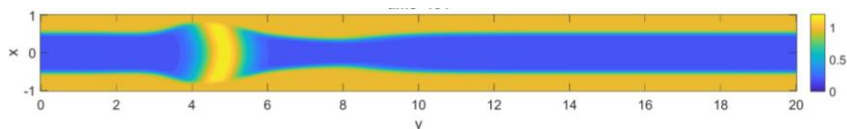


Рис. 3. Распределение вязкости в момент времени $T=150$

Образовавшийся вязкий барьер влияет на деформацию межфазной границы. Жидкость в центре канала словно «блокируется» барьером, за счет чего возникает расширение границы слева от вязкого барьера. При этом справа от вязкого барьера, наоборот, возникает сужение. Таким образом, вязкий барьер, изменяет геометрию межфазной границы.

Литература

1. Галеева Д.Р., Киреев В.Н., Урманчиев С.Ф. Влияние теплообмена на гидравлическое сопротивление при течении термовязкой жидкости в коническом диффузоре // Вестник Башкирского университета. Т. 27. № 4. 2022. С. 852-857.
2. Галеева Д.Р., Киреев В.Н., Ковалева Л.А., Мусин А.А. Консервативная численная схема для решения уравнения Кана-Хилларда // Прикладная математика и механика. Т. 89. № 1. 2025. С. 136-148.
3. Cahn J.W., Hilliard J.E. Free Energy of a Nonuniform System. I. Interfacial Free Energy // The Journal of Chemical Physics. Vol. 28. No. 2. 1958. Pp. 258-267.

© Ерастова П.С., Галеева Д.Р., 2026

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ В ЭМУЛЬСИИ

Эмульсии типа «вода в масле» распространены во многих сферах деятельности и производства, например, в металлургической и пищевой промышленности, медицине [1]. В частности, в нефтедобывающей промышленности, успешное разрушение таких эмульсий повышает качество получаемой нефти и значительно снижает количество необходимых для её транспортировки энергозатрат. Помимо этого, разделение подобных эмульсий позволит уменьшить накапливаемые отходы нефтяных шламов [2].

В работе выполнено численное исследование неизотермического расслоения эмульсии в прямоугольной полости (рис.1) с учётом зависимости вязкости масла от температуры и функции стеснённого осаждения. Задача решалась в одномерной постановке в однотемпературном приближении методом контрольных объёмов в OpenFOAM.

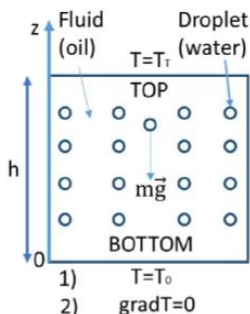


Рис. 1. Схема расчетной области

Установлено, что теплоизолированная нижняя стенка приводит к более высокой температуре эмульсии и ускорению осаждения капель. Для капель радиусом 15 мкм средняя скорость осаждения возрастает на 10–15 % по сравнению со случаем фиксированной температуры на нижней грани. Для капель радиусом 50 мкм выявлен эффект стеснённого осаждения в виде резкого снижения скорости в первые 200 с.

Литература

1. Петровский Э.А., Соловьёв Е.А., Коленчуков О.А. Современные технологии переработки нефтешламов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. Т. 4. С. 124–132.
2. Мусин А.А., Тухбатова Э.Р., Анисенкова Н.А. Исследование интенсивности расслоения высоковязкой водонефтяной эмульсии в емкости с нагретыми боковыми стенками // Вестник БашГУ. 2017. Т. 22 (3). С. 622–626.

© Гимадеев А.В., Ковалёва Л.А., 2026

УДК 532.5.032

Трефилов К.А.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Киреев В.Н.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПЛОСКОМ РАСШИРЯЮЩЕМСЯ КАНАЛАХ

Расширяющиеся каналы (диффузоры) являются составной частью различных гидродинамических устройств, которые широко используются в энергетике, химических производствах, системах вентиляции, микрофлюидике. Актуальность численного моделирования течений в расширяющихся каналах определяется потребностью в точном прогнозировании гидродинамических процессов в таких каналах. В данной работе выполнено численное моделирование ламинарного нестационарного течения вязкой несжимаемой жидкости в плоском расширяющемся канале.

Математическая модель, состоящая из уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности, в цилиндрической системе координат (r, φ, z) для радиального течения $\vec{u} = (u_r(r, \varphi), 0, 0)$ записывается в виде [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{u_r}{r^2} \right), \\ -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \frac{2\nu}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} &= 0, \\ \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} &= 0. \end{aligned}$$

Численная схема для решения уравнений математической модели построена на основе метода конечных разностей. Корректность численного алгоритма проверена путем сравнения полученного

численного решения с известным аналитическим решением задачи Джеффри-Гамеля [1].

В результате численного моделирования получены поля вектора скорости и давления в плоском диффузоре при различных геометрических (угол раскрытия, длина) и гидродинамических (перепад давления) параметрах. Построена зависимость критического числа Рейнольдса, при котором течение перестает быть симметричным везде расходящимся, от угла раскрытия диффузора.

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 6. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 736 с.

© Трефилов К.А., Киреев В.Н., 2026

УДК 536.24.083

Васильев М.К., студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Усманов Б.А., асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Гарифуллин И.Ш., асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

Науч. рук.: Мусин А. А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРОВ ДИМЕТИЛДИХЛОРСИЛАНА НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕКЛА ПУТЁМ ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ СИДЯЧЕЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ КАПЛИ

Актуальность работы связана с проблемой повышения коэффициента извлечения нефти на поздних стадиях разработки месторождений, где решающую роль играет смачиваемость поверхности породы-коллектора. Лабораторное стекло, близкое по химической природе к силикатным породам, использовалось в качестве модельного субстрата для изучения влияния обработки диметилдихлорсиланом (ДМДХС) на смачиваемость поверхности.

В качестве основного аналитического метода использовалось измерение равновесного краевого угла смачивания θ дистиллированной водой. Угол θ определяется геометрически по профилю сидячей капли. В работе была использована установка с собственным программным обеспечением (рис. 1), которая автоматически определяет линию трёхфазного контакта, выделяет контур капли и строит касательную в точке контакта, вычисляя искомый угол θ .

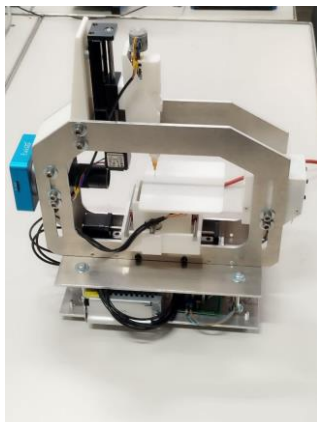


Рис. 1. Фото установки

В ходе выполнения работы был реализован полный цикл экспериментального исследования и отработана пошаговая методика подготовки образцов: стеклянные пластины подвергались многоступенчатой очистке в ультразвуковой ванне с моющим раствором, после чего ополаскивались дистиллированной водой и просушивались в конвекционной печи. Очищенные образцы выдерживались в растворах ДМДХС на толуоле при варьировании концентрации (0,5 %, 1 % и 20 %) и времени обработки (10, 180, 600 и 1800 с). По завершении обработки пластины промывались чистым растворителем и повторно просушивались для фиксации образованного силанового монослоя, после чего на каждом образце проводилось не менее пяти измерений краевого угла в разных точках поверхности. Результаты измерения приведены на рис. 2.

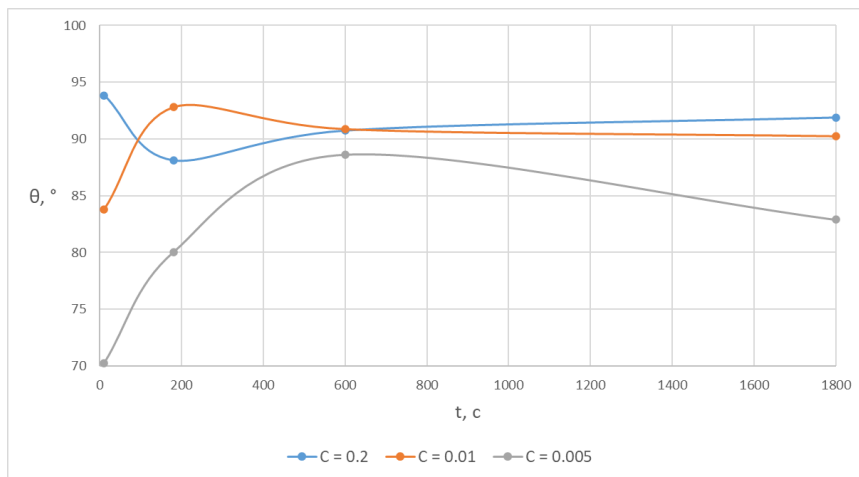


Рис. 2. Зависимость угла смачивания от времени обработки при разных концентрациях

Из рис. 2 видно, что значения контактного угла выходят на некое «плато» в пределах погрешности на определённом этапе обработки вне зависимости от концентрации ДМДХС, что совпадает с результатами, работы [1].

Литература

1. Vukovic T., Røstad J., Farooq U., Torsæter O., van der Net A. Systematic Study of Wettability Alteration of Glass Surfaces by Dichlorooctamethyltetrasiloxane Silanization—A Guide for Contact Angle Modification // ACS Omega. 2023. Vol. 8. P. 36662–36676.

© Васильев М.К., Усманов Б.А., Гарифуллин И.Ш., Мусин А.А., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМО-ХИМИЧЕСКОЙ ПОСТОБРАБОТКИ КРЕМНИЕВОГО МИКРОКАНАЛА НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ

Кремниевые микроканалы широко рассматриваются как перспективная основа для компактных теплообменных устройств, микрореакторов и элементов систем охлаждения высокой плотности теплового потока [1, 2]. Их эффективность во многом определяется не только геометрией канала, но и состоянием внутренней поверхности, поскольку именно микрорельеф влияет на характер течения, развитие пограничного слоя, гидравлическое сопротивление и интенсивность теплообмена. В этой связи контролируемое формирование шероховатости поверхности представляет собой важный инструмент целенаправленного управления потоковыми и тепловыми характеристиками микроканальных систем.

Одним из технологически удобных способов модификации поверхности кремния является плазмо-химическое травление (ПХТ), позволяющее получать заданный микрорельеф при варьировании режимов обработки. При этом мощность генератора является одним из ключевых параметров, определяющих интенсивность взаимодействия плазмы с поверхностью, а, следовательно, морфологию и степень развитости шероховатости. Изучение влияния мощности на параметры сформированной поверхности представляет интерес не только с точки зрения технологии микромеханической обработки, но и как основа для последующего прогнозирования гидродинамического поведения жидкости в микроканалах.

В рамках настоящей работы проведено тестирование технологии создания контролируемой шероховатости поверхности микроканалов в кремнии с помощью постобработки в установке ПХТ в режиме работы одного генератора. Рассматривался плоский микроканал прямоугольного поперечного сечения размером 1 см на 1 см. После формирования микроструктуры производилась постобработка поверхности в течение 5 минут с использованием одного источника - генератора смещения подложкодержателя; мощность варьировалась от 50 до 250 Вт с шагом 50 Вт. Было изготовлено и обработано 5 каналов и 1 канал без постобработки. Структурные характеристики полученных поверхностей анализировались

методом атомно-силовой микроскопии и представлены в Таблице 1, что позволило количественно оценить параметры шероховатости и сопоставить их с режимами обработки. У 50 Вт самые низкие Sq и Sa, умеренные Sv, а случай для 200 Вт демонстрирует самые глубокие впадины и самые высокие выступы, что приводит к повышению сопротивления.

Таблица 1

Результаты исследования поверхности кремниевых микроканалов после постобработки

Мощность подложкодержателя, Вт	Sq(нм)	Sa(нм)	Sv(нм)	max (мкм)
50	36,64	24,09	165,9	0,583
100	121	96,8	371,2	0,887
150	87,3	66,01	374	0,8812
200	94,38	66,81	649	1,392
250	49,68	36,03	314,5	0,595

Полученные данные важны для последующего изучения влияния контролируемой шероховатости на распределение скоростей, сопротивление течению и теплоперенос в микроканалах. Таким образом, работа направлена на установление связи между технологическими параметрами плазмо-химической обработки и характеристиками поверхности кремниевых микроканалов, что создает основу для целенаправленного проектирования микроканальных систем с улучшенными гидродинамическими и теплообменными свойствами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ 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. Galieva K., Garifullin I., Batyrshin E., Solnyshkina O. Experimental analysis of fluid dynamics in microchannels featuring two-scale fin pin arrays // EPJ Web of Conferences. – 2025. – Vol. 321. – P. 01006.

© Андриянов Н.Г., Солнышкина О.А., 2026

Муллагалямов Р.Х.,
 студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
 Усманов Б.А.,
 асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Мусин А.А.,
 к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ И АКУСТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

В работе было проведено численное исследование процесса нагрева призабойной зоны нефтяного пласта при одновременном воздействии высокочастотного электромагнитного и акустического полей.

Основой для описания процесса нагрева является нестационарное уравнение теплопроводности с внутренними распределёнными источниками тепла:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \Delta T + \frac{q}{c\rho} \quad (1)$$

где T – температура, t – время, λ – коэффициент теплопроводности, c – удельная теплоёмкость, ρ – плотность среды, q – мощность внутренних источников тепла.

Акустическое поле интенсифицирует теплообмен за счёт возникновения кавитации и акустических течений, которые разрушают пограничный слой и увеличивают эффективную теплопроводность среды. Электромагнитное поле нагревает диэлектрическую среду за счёт диэлектрических потерь: полярные молекулы стремятся переориентироваться вслед за электрическим полем, однако вследствие инерционности этого процесса возникает фазовое запаздывание, рассеивающее энергию поля в виде тепла. Суммарная мощность объёмных источников тепла, возникающих в пористой среде при комбинированном воздействии, складывается из вклада акустического и электромагнитного полей:

$$q = \frac{\alpha_a N_{a0} \exp(-\alpha_a(r-r_0))}{2\pi r h} + \frac{\alpha_s N_{s0} \exp(-2\alpha_s(r-r_0))}{\pi r h} \quad (2)$$

где α_a , α_s – коэффициенты затухания акустических и электромагнитных волн в пласте, N_{a0} , N_{s0} – мощности акустического и электромагнитного

излучателей, h – толщина пласта, r – радиальная координата, r_0 – радиус скважины.

На основе данной математической модели в программном пакете OpenFOAM было проведено численное исследование процесса нагрева призабойной зоны пласта. Задача решалась в радиальных координатах с учётом осевой симметрии. Были рассмотрены три режима воздействия: электромагнитное, акустическое и комбинированное.

© Муллагалямов Р.Х., Усманов Б.А., Мусин А.А., 2026

УДК 004.942

Межаев С.А.,
асп. 1 г. об. ТюмГУ, г. Тюмень
Науч. рук.: Шевелев А.П.,
д.ф.-м.н., проф. ТюмГУ, г. Тюмень

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ С ПОМОЩЬЮ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА

Успешная разработка месторождений невозможна без глубокого знания целого ряда параметров, причем проницаемость является одним из наиболее значимых. Существует большое количество способов определения проницаемости, в том числе на образцах горных пород. Лабораторные исследования керна служат наиболее надежным источником информации о характеристиках пласта.

В зависимости от комплекса исследований керна, специального или стандартного, предлагаются различные методики определения проницаемости. Классические пермеаметры (Пермеаметр – испытательное оборудование для определения проницаемости) работают на стационарной фильтрации [1], подчиняющаяся закону Дарси. Помимо всего прочего, чаще всего они работают в атмосферных условиях, то есть давления и температуры несоответствующие пластовым условиям. Учитывая данные факторы, а также условия роста трудноизвлекаемых запасов, куда входят низкопроницаемые коллекторы, получаем существенное увеличение времени эксперимента, а как следствие и время необходимое для получения результата. Существуют методики или подходы [2], которые ускоряют время проведения эксперимента для низкопроницаемых образцов, но чаще всего они справедливы для конкретного месторождения/пласта или определенного коллектора.

Поэтому универсальной и общеизвестной методики, которая станет альтернативой существующим решениям на данный момент нет.

В данной работе предложена методика, позволяющаякратно ускорить эксперимент, для низкопроницаемых коллекторов, а в дальнейшем и вовсе заменить классический подход. Данный подход не требует выхода на стационар, т. к. причиной фильтрации является изменение порового пространства, с изменением эффективного давления, действующего на образец горной породы. Также эксперимент проводится в пластовых условиях, что позволяет максимально точно приблизиться к естественным условиям залегания углеводородов. Помимо всего, проницаемость, полученная по методики предложенной автором, является функцией эффективного давления, что позволяет определять проницаемость на всём жизненном цикле месторождения, т. к. по мере выработки запасов, пластовое давление снижается. Методика была апробирована на выборке, состоящей из 10 образцов горных пород. Сравнения проводились с классическим подходом, максимальное различие в проницаемости составило всего около 12%, при этом время проведения эксперимента сократилось многократно.

Литература

1. Шулев, В.Е. Лабораторные методы определения абсолютной проницаемости низкопроницаемых пород-коллекторов / В. Е. Шулев, А. Б. Золотухин // Актуальные вопросы в науке и практике: Сборник статей по материалам VIII международной научно-практической конференции. В 3-х частях, Самара, 15 мая 2018 года. Том Часть 3. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. – С. 172-184. – EDN XYRXEL.

2. Sheng Peng, Evaluating the accuracy of liquid permeability measurements in shale and tight rocks using transient flow method and comparison with gas permeability, Marine and Petroleum Geology, Volume 157, Nov 2023.

© Мехаев.С.А., Шевелев А.П., 2026

СЕКЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ РАДИОТЕХНИКИ И СВЯЗИ»

УДК 537.86.029

Сафиуллин Т.Э.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Муллагалиев И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Стремительный рост объемов передаваемой информации и исчерпание частотного ресурса традиционных радиодиапазонов диктуют необходимость освоения спектра миллиметровых и субмиллиметровых (терагерцовых) волн. Переход к электромагнитному излучению (ЭМИ) сверхвысоких частот позволяет кратно увеличить пропускную способность каналов беспроводной связи. Однако практическое применение таких волн для передачи информации сопряжено с рядом существенных физических и аппаратных барьеров [1].

Основные физические ограничения при использовании новых частот связаны с особенностями распространения радиоволн. В отличие от излучения дециметрового и сантиметрового диапазонов, короткие волны подвержены критическому атмосферному затуханию из-за сильного резонансного поглощения энергии молекулами водяного пара и кислорода. Кроме того, сверхмалая длина волны практически лишает сигнал способности к дифракции (огибанию препятствий). Это требует обеспечения строгой прямой видимости между передатчиком и приемником, так как сигнал блокируется осадками и физическими преградами [2]. Физическое затухание сигнала частично компенсируется внедрением многоантенных систем (Massive MIMO) и алгоритмов формирования узконаправленного луча (Beamforming).

Помимо особенностей среды распространения, критическим препятствием выступает несовершенство современной электронной компонентной базы. Традиционная кремниевая (CMOS) технология не способна эффективно детектировать и генерировать сигналы на частотах, приближающихся к терагерцовому диапазону. При таких значениях подвижность носителей заряда в кремнии становится недостаточной, а падение коэффициента полезного действия приводит к критическому перегреву микрочипов [3].

Для преодоления аппаратных ограничений требуется прорыв в материаловедении. Приоритетным направлением является создание новой архитектуры микроразрешенных компонентов на основе нетрадиционных

материалов. В частности, для реализации компактных приемопередающих устройств, сенсоров и гибкой электроники будущего огромный потенциал демонстрируют композитные тонкопленочные структуры. Исследования показывают, что применение органических полевых транзисторов и полиэлектrolитных комплексов с углеродосодержащими наполнителями позволяет добиться необходимой морфологии и высокой подвижности носителей заряда в тонких пленках [4].

Оптимальным решением в данной области выступают гибридные полиэлектrolитные комплексы на основе хитозана с добавлением одностенных углеродных нанотрубок или оксида графена. Подобные нанокomпозиты обеспечивают формирование равномерной проводящей структуры, что крайне важно для предотвращения потерь на высоких частотах. Как показывают результаты экспериментов, интеграция углеродных наполнителей позволяет увеличить подвижность электронов более чем в три раза по сравнению с чистыми полимерами [4].

Именно такие высокопроизводительные тонкие пленки способны стать основой для создания энергоэффективных приемопередатчиков, не подверженных критическому перегреву. Таким образом, успешное освоение новых диапазонов электромагнитного излучения для перспективных систем беспроводной связи невозможно исключительно за счет программных алгоритмов. Окончательное решение данной проблемы требует комплексного подхода: объединения радиофизических методов управления лучом и передовых достижений нанoeлектроники в сфере органических материалов.

Литература

1. Попов, А. А. Развитие технологий 6g и их применение // Сборник статей XII Международной научно-практической конференции, Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2025, с. 18-20.

2. Потапов А. А. Волны, орбитальный угловой момент, связанные состояния в континууме, фракталы и метаповерхности: Многопрофильное радио // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии, 2024, т. 16, № 4, с. 961-1008.

3. Гусинский, А. В., Певнева, Н.А., Бондаренко, В.П., Касперович, М. М., Захаров, И. А., Редько, С. В., М. А. Боровская, Копшай, А.А. Перспективы развития СВЧ техники, технологии и микроэлектроники, 2024, с. 8-22.

4. Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Салихов Т. Р., Муллагалиев И.Н. Тонкопленочные органические транзисторы на основе полиэлектrolитного комплекса хитозана с добавлением углеродосодержащих наполнителей // Вестник Башкирского университета. 2025, т. 30, № 3, с. 114-121.

© Сафиуллин Т.Э., Муллагалиев И.Н., 2026

Искакова Э.Ю.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абзалилов Д.А.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вальшин А.М.,
к.ф.-м.н, доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ПРОБОЕ

В данной работе проводится исследование спектров излучения воды при высокочастотном пробое, что в свою очередь открывает новые возможности для диагностики плазменных процессов в жидких средах и разработки технологий очистки воды.

Вода, особенно в чистом виде, является весьма стойким диэлектриком. Это означает, что для того, чтобы электрический ток смог прорваться сквозь водный слой между электродами, требуется приложить чрезвычайно высокое напряжение. Однако существует метод, называемый инициацией, который позволяет "облегчить" этот пробой. Суть его в том, чтобы искусственно создать в воде небольшую зону, где условия для возникновения электрического разряда будут значительно благоприятнее, что ускорит и упростит его начало.

К 1974 году были получены ключевые сведения о основных процессах пробоя, а также о важнейших электрофизических параметрах канала разряда. Был зафиксирован факт инициирования разряда с анодной, а не катодной стороны, что опровергло ранее существовавшее представление. Эти открытия легли в основу проектирования изоляции формирующих и накопительных линий, а также создания высокоточковых искровых коммутаторов с жидкостной изоляцией.

Последующие исследования подтвердили ранее сделанный вывод: при различных условиях пробоя возможны различные механизмы его протекания. Установлено, что две ключевые стадии – зажигание разряда и его развитие – могут различаться по своей физической природе даже в рамках одного акта пробоя. В первом случае процессы происходят вблизи неподвижного металлического электрода, а во втором – в зоне переднего края плазменного канала, перемещающегося в межэлектродном пространстве с высокой скоростью (до 10^7 – 10^8 см/с).

Спектроскопическое исследование высокочастотного пробоя воды дает возможность фиксировать диссоциацию молекул H_2O , появление новых спектральных линий продуктов разложения, уширения полос излучения и проявления высоковозбужденных состояний, что позволяет

количественно оценить параметры плазмы и динамику релаксационных процессов.

Таким образом, изучение спектров излучения при высокочастотном пробое не только углубляет понимание фундаментальных процессов пробоя в жидких диэлектриках, но и создает научную основу для создания инновационных технологий очистки воды.

Литература

1. Вальшин А.М., Зайнуллин А.А., Инсапов А.Р. Высокочастотный пробой в технической воде //Лазерно-информационные технологии 2022. – 2022. – С. 64-66.

© Исакова Э.Ю., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М., 2026

УДК 621.373.8

Исламгулов Д.Р.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абзалилов Д.А.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вальшин А.М.,
к.ф.-м.н, доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ГЕНЕРАЦИЯ МОЩНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

В данной работе представлено моделирование схемы генератора высоковольтных наносекундных импульсов.

Используя принцип формирования импульса за счёт быстрого прерывания тока в индуктивной цепи, реализованный в работе [1], была разработана и смоделирована схема, в которой данный механизм реализован без применения диодов с резким восстановлением.

Схема представляет собой генератор наносекундных импульсов, в котором энергия накапливается в индуктивных элементах двух параллельных ветвей и высвобождается при быстром запираии транзисторов. Индуктивности обеспечивают накопление энергии и развязку каналов, а конденсатор, включённый между ветвями, формирует динамическую связь и способствует ускорению переходных процессов. В результате совместного действия элементов происходит суммирование энергии и формирование импульса высокого напряжения с малой длительностью.

Результаты моделирования показали, что при использовании двух параллельных ветвей амплитуда выходного импульса увеличивается примерно в два раза по сравнению с одноканальной схемой и достигает ~8 кВ. Это свидетельствует об эффективном суммировании энергии, накопленной в индуктивностях. Длительность суммированных импульсов по основанию равна 50 нс, и 20 нс по полувысоте, а импульсная мощность составляет приблизительно 1 МВт.

Литература

1. А.М. Вальшин, С.В. Гарнов, С.А. Бельков, С.М. Першин. Высоочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2022. Т. 502. № 1. С. 67-72.

2. Коротков С.В., Аристов Ю.В., Жмодиков А.Л. Диодно-транзисторный генератор наносекундных импульсов высокого напряжения // Приборы и техника эксперимента. – 2020. – №. 1. – С. 59-63.

© Исламгулов Д.Р., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М., 2026

УДК 621.373.8

Резяпов Т.Д.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абзалилов Д.А.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вальшин А.М.,
к.ф.-м.н, доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА В ВОДЕ

Исследования высокочастотного разряда в воде представляет собой динамично развивающуюся область, находящуюся на стыке физики плазмы, электрофизики и гидродинамики. На сегодняшний день научные работы охватывают широкий спектр направлений: от изучения фундаментальных электрофизических свойств воды в ВЧ-диапазоне до разработки прикладных технологий очистки воды и получения водорода. К числу перспективных практических применений можно отнести очистку и обеззараживание воды, синтез наноматериалов.

Одним из интереснейших явлений при высокочастотном импульсно-периодическом разряде в воде является поведение газовых пузырьков. Эксперименты показывают, что при частоте следования импульсов свыше 350-400 импульсов в секунду каждый последующий разряд начинается

собирает множество пузырьков вокруг кончика электрода, где они в итоге сливаются. Исследование этого процесса с помощью высокоскоростной видеосъемки выявило сложную динамику: каждый разряд сначала выталкивает пузырьки от электрода, а затем втягивает их обратно. Причем пузырьки, находящиеся дальше от электрода, притягиваются сильнее, чем ближние. Со временем характеристики движения пузырьков меняются, что, по-видимому, связано с изменением формы самого разряда. Понимание этих механизмов важно для управления плазмохимическими процессами.

Таким образом, исследования высокочастотного разряда в воде ведутся комплексно - от изучения фундаментальных свойств воды на высоких частотах до разработки конкретных технологий. Дальнейшее развитие этой области связано с углублением понимания связи между электрическими параметрами разряда, газодинамикой пузырьков и акустическими полями для повышения эффективности приложений в энергетике, экологии и обработке материалов.

Механизм пробоя воды – это сложный, многостадийный процесс, который до сих пор является предметом активных исследований. В науке сформировалось два основных подхода к его описанию, которые в современных моделях часто дополняют друг друга.

Ключевой вывод современных исследований заключается в том, что механизм пробоя не является фиксированным. Он может меняться в зависимости от целого ряда условий: напряжения, проводимости воды, наличия примесей и газовых пузырьков.

Литература

1. Вальшин А.М., Зайнуллин А.А., Инсапов А.Р. Высокочастотный разряд в технической воде //Лазерно-информационные технологии 2022. – 2022. – С. 64-66.
2. Oikawa T. et al. Movement of bubbles in high repetition discharges in tap water //2016 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC). – IEEE, 2016. – С. 612-615.

© Резяпов Т.Д., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М., 2026

Сароян Г.Г.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абзалилов Д.А.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вальшин А.М.,
к.ф.-м.н, доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИМПУЛЬСНАЯ НАКАЧКА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА НА ГРАНАТЕ С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ПОДЖИГОМ

В данной работе рассматривается импульсная накачка, базовые принципы ее работы, специфика применения в лазерах на гранате и её потенциальные преимущества в сравнении с традиционными методами накачки.

Импульсная накачка является методом введения энергии в активную среду лазера, при котором процесс возбуждения (создания инверсии населенностей) происходит в виде коротких, мощных импульсов, а не непрерывно. Энергия предварительно накапливается в батарее конденсаторов, а затем быстро разряжается через источник излучения (лампу-вспышку или лазерный диод). Импульсная накачка позволяет достичь высокой пиковой мощности излучения и широко применяется в технологических лазерах для резки, сварки, гравировки и других операций.

Высокочастотный поджиг (ВЧ-поджиг) представляет собой метод инициирования разряда, при котором на электроды лампы подается переменное напряжение высокой частоты (обычно 1–5 МГц), вызывающее пробой газового промежутка. В отличие от импульсного поджига постоянным током, при ВЧ-поджиге оба электрода попеременно выполняют роль анода и катода, что приводит к возникновению свечения одновременно на обоих электродах и ускоряет процесс ионизации всего объема газа. Порог пробоя снижается с 20 кВ до 3–5 кВ, что позволяет упростить требования к изоляции и повысить надежность системы.

Использование ВЧ поджига вместо традиционной импульсной накачки позволит существенно увеличить эффективность работы твердотельного лазера на гранате.

Литература

1. А.М. Вальшин, С.В. Гарнов, С.А. Бельков, С.М. Першин. Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2022. Т. 502. № 1. С. 67-72

2. А.М. Вальшин, В.А. Орлович, С.А. Бельков, С.М. Першин, В.И. Пузыревский. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД ND^{3+} : YAG лазера при ВЧ раскачке поджига лампы. Инженерная физика, № 12 (2023) С. 3-10.

© Сароян Г.Г., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М., 2026

УДК 621.373.8

Шайхуллин Т.А.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абзалилов Д.А.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вальшин А.М.,
к.ф.-м.н, доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ГЕНЕРАТОР ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ ЧАСТОТОЙ В МГЦ ДИАПАЗОНЕ

В данной работе рассматриваются генераторы высокочастотных колебаний, их принцип работы, классификация и перспективы развития.

Генератор высоковольтных высокочастотных колебаний представляет собой устройство, предназначенное для преобразования энергии источника питания (постоянного или промышленной частоты 50 Гц) в электромагнитные колебания, характеризующиеся одновременно высокой частотой (от сотен килогерц до единиц мегагерц) и высоким выходным напряжением (от 1 кВ до 10 кВ и выше). В отличие от измерительных генераторов сигналов, управляемых программным обеспечением и имеющих выходную мощность в милливатты, рассматриваемый класс устройств относится к силовой электронике и ориентирован на передачу значительной энергии в нагрузку.

Разработка высокочастотного генератора с перестраиваемой частотой и импульсной мощностью не менее 100 кВт является актуальной задачей, находящейся на стыке силовой электроники, высокочастотной схемотехники и технологии согласования нагрузок. Достижение целевого уровня мощности 100 кВт при сохранении возможности широкополосной электронной перестройки частоты представляет собой научно-техническую проблему, решение которой позволит создать универсальное устройство, применимое в промышленности, медицине и научных исследованиях.

Таким образом, исследование генераторов высокочастотных колебаний имеет фундаментальное и прикладное значение, открывая пути

к созданию высокоэффективных и гибких источников высокочастотной энергии для современных технологий.

Литература

1. Вальшин, А.М. Высокочастотное возбуждение активных сред на основе перестраиваемых транзисторных ВЧ генераторов в диапазоне (1÷3) МГц в импульсно-периодическом режиме. Импульсные лазеры и области применения лазеров: XVII Международная конференция, Томск, 14–19 сентября 2025 года. – Томск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИОА им. В.Е. Зуева Сибирского отделения РАН, 2025. – С. 20-23.

© Шайхуллин Т.А., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М., 2026

УДК 621.373.8

Валиев И.А., студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абзалилов Д.А., асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вальшин А.М.,
к.ф.-м.н, доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ НАКАЧКА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА НА ГРАНАТЕ

В данной работе рассматриваются основные принципы работы высокочастотной индукционной накачки, особенности применения этой технологии для лазеров на гранате, а также актуальные направления развития и возможные преимущества по сравнению с традиционными методами накачки.

Высокочастотная индукционная накачка является методом возбуждения активных сред в лазерах и других оптических устройствах с помощью переменного магнитного поля, создаваемого высокочастотным индукционным возбуждением. Этот метод используется в основном для нагрева и возбуждения проводящих или полупроводящих материалов, а также в некоторых случаях – для активных сред, требующих индукционного возбуждения. Высокочастотная индукционная накачка инициирует индукционный разряд в газовой среде посредством электромагнитной индукции: переменное магнитное поле, индуцирует в газе вихревой электрический ток без непосредственного контакта электродов с плазмой.

Высокочастотная индукционная накачка твердотельного лазера на гранате является одной из современных и перспективных технологий в

области телекоммуникаций, медицины и обработки материалов. Данная методика основана на использовании высокочастотных электромагнитных полей для передачи энергии в активную среду лазера, что позволяет достигать высокой эффективности и стабильности процесса накачки. Гранатовые лазеры, благодаря своим уникальным оптическим и термическим свойствам, находят широкое применение в научных исследованиях, промышленности и медицинской технике.

Литература

1. А.М. Вальшин, В.А. Орлович, С.А. Бельков, С.М. Першин, В.И. Пузыревский. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД ND^{3+} : YAG лазера при ВЧ раскачке поджига лампы. Инженерная физика, №12 (2023) С. 3-10.

2. Менушенков А.П., Неволин В.Н., Петровский В.Н. Физические основы лазерной технологии. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 210 с.

© Валиев И.А., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М., 2026

УДК 53

Краилов Д.А.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Абдрахманов В.Х.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА ШЛЮЗА MODBUS–IP ДЛЯ СИСТЕМ УДАЛЁННОГО МОНИТОРИНГА

Современные системы удалённого мониторинга и управления технологическими процессами широко применяются в промышленности, энергетике и телекоммуникационной инфраструктуре. В основе таких систем лежит обмен данными между распределёнными устройствами, включая датчики, контроллеры и исполнительные механизмы. Одним из наиболее распространённых протоколов промышленной связи является Modbus, благодаря своей простоте реализации и широкой поддержке различными устройствами [1].

В большинстве случаев устройства Modbus функционируют с использованием последовательных интерфейсов, таких как RS-485, реализующих протокол Modbus RTU. Данный подход обеспечивает высокую помехоустойчивость и надёжность передачи данных на расстояниях до 1200 м при скорости до 115 кбит/с [2]. Не смотря на все это использование последовательных линий связи ограничивает возможность интеграции таких устройств в современные сети, построенные на основе IP-технологий.

Актуальность работы обусловлена необходимостью интеграции существующих Modbus-устройств в сети передачи данных связи и

корпоративные IP-сети для организации централизованного мониторинга и управления. Современные исследования показывают активное развитие шлюзов Modbus TCP–RTU, предназначенных для интеграции промышленных устройств в системы интернета вещей и инфокоммуникационные сети [3].

Целью работы является разработка и анализ архитектуры шлюза Modbus–IP, обеспечивающего надёжную и эффективную передачу данных между устройствами с последовательным интерфейсом и IP-сетями.

Структурно шлюз Modbus–IP включает микроконтроллер, интерфейс RS-485 для взаимодействия с устройствами Modbus RTU, а также сетевой интерфейс для подключения к IP-сети. В ряде исследований рассматривается реализация подобных устройств на базе встроенных систем и микроконтроллеров, обеспечивающих преобразование протоколов и обработку данных [4].

Основной функцией шлюза является преобразование данных из формата Modbus RTU в формат Modbus TCP. При этом происходит буферизация данных, управление передачей и контроль целостности информации. Использование именно таких решений позволяет интегрировать устаревшие устройства в современные цифровые системы несмотря на разницу в технологиях [3].

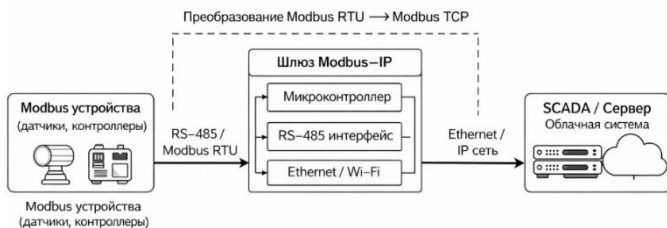


Рис. 1. Структура системы удаленного мониторинга с использованием шлюза Modbus-IP

Проведенный анализ показывает, что использование шлюза Modbus–IP позволяет существенно расширить возможности системы мониторинга. IP-сети обеспечивают передачу данных на практически неограниченные расстояния и позволяют интегрировать устройства в SCADA и облачные системы [5]. При этом задержки передачи в локальных сетях составляют от 1 до 10 мс, а в сетях оператора связи могут достигать 50–100 мс, что является приемлемым для большинства задач мониторинга.

Так же следует отметить, что развитие IoT-решений и встроенных систем, включая устройства на базе современных микроконтроллеров, позволяет создавать гибкие и масштабируемые системы сбора данных [6]. Это подтверждает перспективность использования шлюзов Modbus–IP в инфокоммуникационных сетях.

Таким образом, разработка шлюза Modbus–IP является актуальной задачей, направленной на интеграцию промышленных устройств в современные сети передачи данных и повышение эффективности систем удалённого мониторинга [1–6].

Литература

1. Чжао С., Ван Л., Чен Ю. Повышение эффективности двунаправленного шлюза Modbus TCP–RTU – 2025, v 25, № 13, pp. 3861.
2. Гайтан Н. С., Попеску Д., Ионеску А. Анализ протокола Modbus RTU и разработка шлюзов для промышленных систем – 2026, v 82, pp. 1-15.
3. Тироволас М. Внедрение шлюза Modbus RTU/MQTT для систем Интернета вещей – 2021, с. 1-10.
4. Сладек И., Новак Я. Разработка интерфейсного модуля RS-485 для промышленных систем – 2024, v 14, № 18, pp. 3675.
5. Шишов О. В. Разработка преобразователя интерфейса MODBUS – 2022, № 3, pp. 1-6.
6. Салихов Р. Б., Остальцова А. Д., Салихов Т. Р. Системы интернета вещей на базе микроконтроллеров ESP32 для мониторинга – 2021, v 1, pp. 1-6.

© Краилов Д.А., Абдрахманов В.Х., 2026

УДК 004

Амакасов А.А.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Муллагалиев И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВЫЗОВЫ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ: АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ АСПЕКТЫ

Квантовые компьютеры демонстрируют значительный потенциал для решения задач, например, моделирование сложных молекул, оптимизацию больших систем вычислений. В настоящее время устройства находятся на стадии, в которой доминируют шум, ограниченная масштабируемость и высокая чувствительность к внешним воздействиям. Переход к способности системы продолжать работу даже при неисправностях или ошибках требует преодоления фундаментальных барьеров [1].

Программные вызовы включают отсутствие квантово-специфичных алгоритмов, сложность компиляции и отладки программ, недостаток инструментов – интерфейса программирования приложений, а также отсутствие стандартов и интеграции в учебные программы [2, 3].

Масштабирование квантовых систем усложняется криогенным охлаждением и интеграцией с классическими системами, увеличивая затраты и технические сложности, что затрудняет разработку эффективных квантовых платформ [3].

Наши исследования направлены на создание ультратонких пленок методом сверхчистого осаждения (магнетронное распыление в высоком вакууме), что позволит минимизировать дефекты, которые вызывают декогеренцию кубитов.

Преодоление указанных проблем – как программных, так и аппаратных – станет определяющим фактором для перехода от экспериментальных прототипов к промышленно применимым системам.

Литература

1. Awschalom D.D., Bernien, H., Hanson, R., Oliver, W.D., Vučković, J. Challenges and opportunities for quantum information hardware // Science, 2025, v. 370, pp. 1004–1010.

2. Memon Q.A., Al Ahmad M., Pecht M. Quantum computing: Navigating the future of computation, challenges, and technological breakthroughs // Quantum Reports, 2024, v. 6, № 4, pp. 627-663.

3. Salam M., Ilyas M. Quantum computing challenges and solutions in software industry—a multivocal literature review // IET Quant. Comm, 2024, v. 5, № 4, pp. 462–485.

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

СЕКЦИЯ «ПУТЬ В НАУКУ»

УДК 538.955

Сафархузин В.Д.,
уч. 10 кл. ЧОУ ЦО «НОВОШКОЛА», г. Уфа
Науч. рук.: Мигранова М.М.,
учитель физики ЧОУ ЦО «НОВОШКОЛА», г. Уфа

ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ОТВЕТСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В современных условиях развития промышленности обеспечение надежности и безопасности металлоконструкций является одной из ключевых задач. Особое значение в этом процессе имеет контроль качества сварных соединений, так как именно сварной шов чаще всего является наиболее уязвимым элементом конструкции. Визуально-измерительный контроль (ВИК) представляет собой один из основных

методов неразрушающего контроля, позволяющий выявлять дефекты без нарушения целостности изделия. Данный метод сочетает в себе визуальный осмотр и инструментальные измерения, что обеспечивает высокую эффективность и доступность его применения. Метод ВИК применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия: начиная с входного контроля материалов и заготовок, далее на этапе подготовки и сборки под сварку, в процессе выполнения сварочных работ, а также при окончательной приемке изделия и в процессе его эксплуатации.

К основным задачам визуально-измерительного контроля относятся выявление поверхностных дефектов, контроль геометрических параметров сварных соединений, оценка качества подготовки кромок, а также выявление деформаций, смещений и других отклонений от проектных значений. Преимуществами визуально-измерительного контроля являются его простота, низкая стоимость, оперативность получения результатов, а также возможность применения в различных условиях без использования сложного оборудования.

Сварные соединения могут содержать различные дефекты, возникающие в результате нарушения технологии сварки, использования некачественных материалов или неблагоприятных условий выполнения работ. К основным видам дефектов относятся трещины, которые являются наиболее опасными, так как значительно снижают прочность конструкции. Также выделяются поры, раковины и другие полости, возникающие вследствие газонасыщения металла. К дефектам относятся и шлаковые включения, непровары, наплывы и нарушения формы сварного шва.

По результатам проведения визуально-измерительного контроля составляется заключение, в котором указываются выявленные дефекты, их характеристики, а также делается вывод о соответствии изделия установленным требованиям. Практическое применение метода показало его высокую эффективность. В ходе выполнения контроля были выявлены такие дефекты, как прожог, наплыв, незаваренный кратер и скопление пор, что подтверждает необходимость проведения контроля на всех этапах производства. Визуально-измерительный контроль широко применяется в строительстве, энергетике, нефтегазовой и химической промышленности, а также в других отраслях, где предъявляются повышенные требования к надежности и безопасности конструкций.

Таким образом, визуально-измерительный контроль является важнейшим элементом системы обеспечения качества сварных соединений. Его применение позволяет своевременно выявлять дефекты, повышать надежность конструкций и снижать риск аварийных ситуаций.

Литература

1. ГОСТ Р 55724-2013 «Контроль неразрушающий соединения сварные. Методы ультразвуковые»
2. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. М.: Машиностроение, 2006. 368 с.
3. Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2006. 279 с.
4. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В. В. Клюев [и др.]; под ред. В.В. Клюева. 2-е изд, перераб. и доп. М.: Машиностроение: Спектр, 2003. 656 с.

© Сафархузин В.Д., Мигранова М.М., 2026

УДК 538.955

Дьяченкова А.В.,
уч. 8 кл. ЧОУ ЦО «НОВОШКОЛА», г. Уфа
Науч. рук.: Мигранова М.М.,
учитель физики ЧОУ ЦО «НОВОШКОЛА», г. Уфа

ИЗУЧЕНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Предпосылкой к нашей исследовательской деятельности стала проблема радиационного загрязнения. В наши дни проблема радиации стоит очень остро. До недавнего времени этой проблемой интересовался узкий круг людей. Но в свете недавних событий эта проблема стала волновать многих людей. Ведь радиацию можно назвать незаметным и неуловимым убийцей нашего здоровья. Сегодня история с выбросом в атмосферу на территории России радиоактивного вещества превратилась в скандал и даже истерию. В Росгидромете сообщили, что в конце сентября **2017 года** на Южном Урале фиксировали экстремально высокое загрязнение рутением-106. Тем самым российские специалисты косвенно подтвердили заявление Института ядерной и радиационной безопасности Франции (IRSN) о радиоактивном облаке, появившемся над Европой, которое указывает на то, что на одном из ядерных объектов России или Казахстана в последнюю неделю сентября могла произойти авария. Поэтому мы попробовали ответить на основные вопросы по радиоактивному загрязнению и исследовать радиоактивный фон.

Поэтому знания о радиоактивных веществах и излучениях, а также их влиянию на человека необходимы не только ученым этой области, но и обычным людям. Это требует от каждого из нас элементарных знаний о явлении радиоактивности и единицах ее измерения, о естественном

радиационном фоне биосферы и источниках излучения техногенного происхождения, о предельно допустимой дозе уровня ионизирующего излучения и внутреннем облучении

Например, радон – бесцветный инертный газ; радиоактивен, может представлять опасность для здоровья и жизни при сильной концентрации. При комнатной температуре является одним из самых тяжелых газов. Сразу хочу привести источники выделения радона в процентах, чтобы все поняли всю разность по отношению к камню и другим облицовочным материалам. Почва, подвалы 70%, вода со скважин 20%, Воздух 8%, Строительные материалы 2%. Отмечу, что материалы, выделяющие радон, не создают сами по себе проблему для здоровья – проблему создают закрытые непрветриваемые помещения, где этот газ может скапливаться

Одна из основных идей работы состоит в том, что радиации не надо бояться, вместе с тем с ней надо обращаться очень осторожно. Необходимо всегда помнить, что ионизирующее излучение не только наш друг, но и является одновременно смертельным врагом человека. Это требует от каждого из нас элементарных знаний о явлении радиоактивности и единицах ее измерения, о естественном радиационном фоне биосферы и источниках излучения техногенного происхождения, о предельно допустимой дозе уровня ионизирующего излучения и внутреннем облучении.

Литература

1. Арсеньев А.И., Новиков С.Н., Арсеньев Е.А., Беляев А.М., Нефедов А.О., Тарков С.А., Новиков Р.В., Рогачев М.В., Мельник Ю.С., Зозуля А.Ю., Брянцева Ж.В., Антипов Ф.Е., Тюряева Е.И., Акулова И.А., Ильин Н.Д., Мережка Ю.О. Радиационная безопасность: учебное пособие для обучающихся в системе высшего и дополнительного профессионального образования. – Санкт-Петербург: НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова, 2024. – 204 с.

2. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.

3. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.

© Дьяченко А.В., Мигранова М.М., 2026

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДАТЧИКА ДЕФОРМАЦИИ, ОСНОВАННОГО НА МОДУЛЯЦИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛИМЕР/МЕТАЛЛ

Изготовлен простой датчик деформации металлических объектов, основанный на зависимости сопротивления границы раздела полимер/металл от величины деформации [1]. Метод, использованный для создания датчика, предполагал изготовление структуры, содержащей тонкую полимерную пленку между двумя металлами, таким образом, что получался конденсатор, обладающий емкостным и активным сопротивлением (рис 1а). При деформации исследуемого объекта (стальной пластины) емкость и активное сопротивление такой структуры изменялись. Причем, в зависимости от толщины пленки зависело, насколько сильно будет изменяться импеданс структуры, в переменном электрическом поле. Если для толстых (более 1 мкм) пленок, изменение было незначительно, так как определялось незначительным изменением геометрической емкости. То, в случае тонких пленок, основной вклад в импеданс уже определялся вкладом активного сопротивления. Это явление происходит благодаря «модуляции» большого сопротивления полимерной пленки (десятки МОм), контактным сопротивлением R_k . Результат такой модуляции представлен на временной зависимости сопротивления (рис. 2).

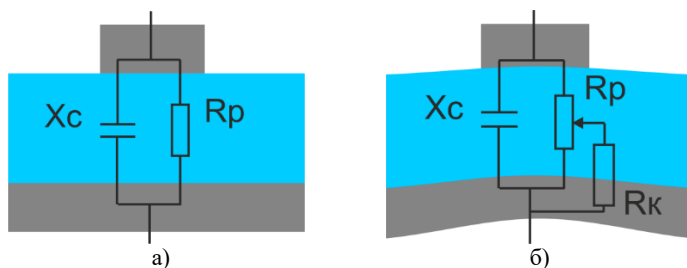


Рис. 1. Схема структуры датчика: а) до деформации, б) после деформации, X_c – реактивное сопротивление конденсатора, R_p – активное сопротивление полимера, R_k – контактное сопротивление

На графике показано изменение импеданса датчика в зависимости от нагрузки на металл. На графике видно ступеньки, которые соответствуют нагрузке: 0, 0.5, 1.0 и 1.5 кг. При достижении нагрузки 1.5 кг, наблюдается резкое уменьшения импеданса – резистивное переключение. Это точка критической деформации, который может соответствовать переходному моменту между упругой и неупругой деформациями. В общем случае, порог переключения полимера зависит от многих факторов и его можно изменять. Датчик, использующий это свойство, может сигнализировать о достижении установленного порога деформации, требуемого в тех или иных областях.

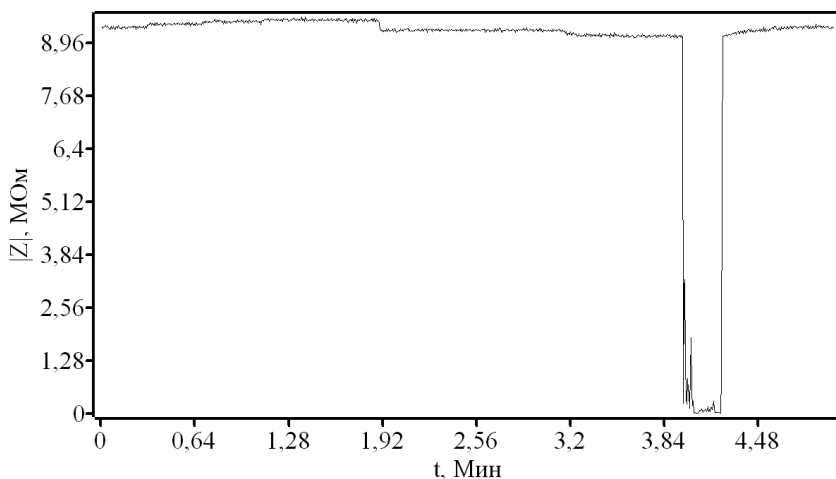


Рис. 2. Временная зависимость сопротивления при приложении деформирующего усилия разной величины

Таким образом, используя выше описанное свойство резистивного переключения, можно изготовить датчик, который будет сигнализировать о достижении критической деформации.

Литература

1. Galiev A. F. et al. Non-conjugated polymer films to monitoring strain deformation of metals and alloys //Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2024. – V. 35. – I. 14. – P. 976.

© Соловьев Г.А., Латипов И.И., 2026

АЭРОДИНАМИКА АВТОМОБИЛЕЙ И БОЛИДОВ ФОРМУЛЫ 1

В настоящее время аэродинамика является важным аспектом при конструировании автомобилей не только для общего пользования, но и для автомобильного спорта. Аэродинамика активно изучается, каждый день инженеры тестируют тысячи элементов для того чтобы сделать свой автомобиль лучше, быстрее и отзывчивее. Цель моей работы создать новый дизайн автомобиля для более эффективной работы набегающих потоков воздуха. На практике я создал аэродинамическую трубу и провел ряд тестов для лучшего понимания аэродинамики. Я сделал небольшой макет нового автомобиля с улучшенной работой аэродинамики. Считаю, что проделанная работа была плодотворной и мой проект заслуживает дальнейшего улучшения и реализации.

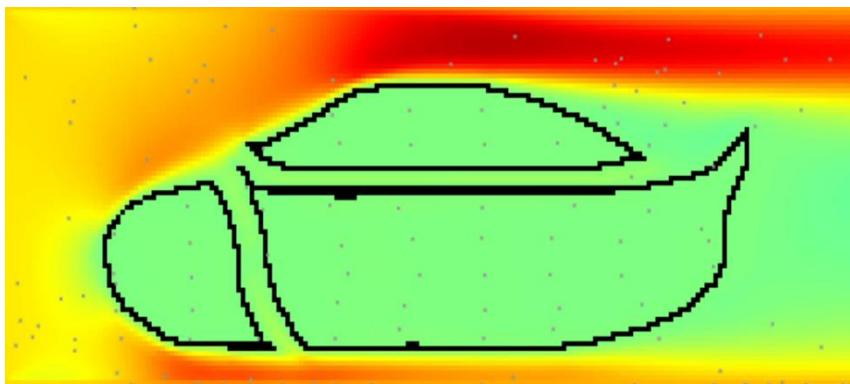


Рис. 1. Аэродинамика макета автомобиля

Литература

1. Книга Аэродинамика автомобиля. Под редакцией В.-Г. Гухо.
2. Применение закона Бернулли в аэродинамике болида Formula-1
Иванис Павел Владимирович Научный руководитель - канд. техн. наук,
доц. Сергеевко В.А. (Белорусский национальный технический университет).

3. Эдриан Ньюи Как построить машину. Автобиография величайшего конструктора «Формулы-1» ISBN: 978-5-04-102023-1.

Электронные ресурсы:

4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Аэродинамика#cite_note-2
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Аэродинамика_автомобиля
6. <https://www.kp.ru/edu/shkola/zakon-sokhraneniya-impulsa/>
7. <https://fb.ru/article/547892/2023-sila-soprotivleniya-dvijeniyu-formula-primeryi>
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/Подъёмная_сила
9. <https://agse.ru/info/turbulentnyy-i-laminarnyy-potok-kak-rabotaet-szhatyy-vozdukh/>
10. <https://www.businessinsider.com/how-formula-1-wind-tunnel-testing-works-2024-9>
11. <https://www.redbull.com/ru-ru/5-technical-f1-innovations-2017-26-03>

© Саитбаталов А.А., Дуланова Г.М., 2026

УДК 621.314.1

Стехун М.А.,
уч. 9 кл. ГБОУ «РПМГ № 2 «СМАРТ»», г. Уфа;
Хитрюк А.О.,
уч. 9 кл. МОБУ ЦО «Знание», Уфимский р-н;
Галин Р.О.,
уч. 9 кл. МАОУ «Гимназия № 21», г. Уфа;
Карагулов Т.А.,
учитель физики ГБОУ «РПМГ № 2 «СМАРТ»», г. Уфа;
Сава О.В.,
учитель физики ГБОУ МОБУ ЦО «Знание», Уфимский р-н;
Сайдылов А.Х.,
учитель физики МАОУ «Гимназия № 21», г. Уфа;
Науч.рук.: Шарипова Е.В.,
асс. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СБОРКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАНСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА (КАТУШКИ ТЕСЛА) В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ СТРИМЕРНЫХ РАЗРЯДОВ

В работе представлены результаты сборки и настройки действующего макета резонансного трансформатора Тесла. Теоретической основой послужили фундаментальные положения электродинамики [1, 2] и анализ явления резонанса в колебательном контуре [3]. Исследованы условия

возникновения нелинейных эффектов пробоя воздуха вблизи высоковольтного торроида: переход от коронного разряда к стримерному и формирование разветвлённых каналов ионизации. Физика пробоя газов рассматривалась с опорой на модель электронных лавин и стримеров [4]. Показано, что изменение частоты следования импульсов и геометрии разрядной системы позволяет управлять длиной и топологией разряда. Проведено сравнение экспериментальных данных с моделью колебательного LC-контура [5, 6]. Работа демонстрирует наглядный пример нелинейной динамики плазменных образований в газообразной среде при воздействии сильных электромагнитных полей.

Литература

1. Парселл, Э. Электрические и магнитные поля / Э. Парселл. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Наука, 1975. – 448 с. – Текст: непосредственный.
2. Иродов, И. Е. Электричество и магнетизм. Основные законы: учебное пособие для студентов физических специальностей вузов / И.Е. Иродов. – 6-е изд., стер. – Москва: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 288 с. – (Физика в техническом университете). – Текст: непосредственный.
3. Ивашин, Н. Резонанс и Никола Тесла (бифилярная катушка) / Н. Ивашин // Радиомир. – 2020. – № 1. – С. 34-35. – Текст: непосредственный.
4. Ретер, Г. Электронные лавины и пробой в газах / Г. Ретер; перевод с английского Г.А. Волкова; под редакцией Б. Н. Кляфельда. – Москва: Мир, 1968. – 392 с. – Текст: непосредственный.
5. Tilbury, M. The Ultimate Tesla Coil Design and Construction Guide / M. Tilbury. – New York: McGraw-Hill, 2008. – 496 p. – Text: direct.
6. Физические основы получения информации: учебник / Г.Г. Раннев, В.А. Суругина, А.П. Тарасенко, И.В. Кулибаба. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ДМК Пресс, 2017. – 297 с. – ISBN 978-5-906818-97-3. – Текст: непосредственный.

© Стехун М.А., Хитрюк А.О., Галин Р.О., Карагулов Т.А., Сава О.В., Сайдылов А.Х., Шарипова Е.В., 2026

Хаматнурова А.Р.,
уч. 9 кл. МБОУ СОШ, Нуримановский р-н, с. Павловка;
Ахметоза А.В.,
уч. 9 кл. МАОУ «Гимназия № 39 им. Файзуллина А.Ш.», г. Уфа;
Газизова Р.М.,
учитель физики МБОУ СОШ, Нуримановский р-н, с. Павловка;
Бикметов Э.В.,
учитель физики МАОУ «Гимназия № 39 им. Файзуллина А.Ш.», г. Уфа
Науч.рук.: Шарипова Е.В.,
асс. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СБОРКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРА ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Данная работа посвящена созданию и изучению характеристик компактного устройства для детектирования инфракрасного (ИК) излучения. Актуальность исследования обусловлена широким применением ИК-технологий в системах дистанционного управления, охранных системах и приборах ночного видения [3, с. 19-20]. Теоретической основой послужили фундаментальные сведения о природе инфракрасного излучения, его источниках и свойствах [2].

В ходе работы была разработана и собрана электрическая схема детектора. Основными элементами устройства являются высокочувствительный фотодиод или фототранзистор, принимающий ИК-сигнал, и схема на операционном усилителе, которая усиливает слабый сигнал для последующей индикации [1, с. 26-31]. Был также исследован принцип модуляции ИК-сигнала, позволяющий повысить помехоустойчивость устройства к внешним засветкам.

В результате был собран рабочий прототип детектора, способный фиксировать наличие ИК-излучения от стандартных пультов дистанционного управления. Проведенные испытания подтвердили работоспособность схемы и её чувствительность в диапазоне расстояний до нескольких метров.

Литература

1. Шрайбер, Г. Инфракрасные лучи в электронике / Г. Шрайбер; пер. с фр. Н. О. Сомова. – Москва: ДМК Пресс, 2003. – 237 с. – ISBN 5-94074-019-7. – Текст: непосредственный.

2. Элементы беспроводного управления электронных устройств на базе Arduino: онлайн-презентация. – Текст: электронный // ppt-online.org. – URL: <https://en.ppt-online.org/475318> (дата обращения: 16.04.2026).

3. Кривченко, И.В. Применения инфракрасного излучения: факультатив к учебнику «Физика 7-9» / И.В. Кривченко. – Текст: электронный // fizika.ru. – URL: <http://fizika.ru/fakultat/index.php?theme=11&id=11230> (дата обращения: 16.04.2026).

© Хаматнурова А.Р., Ахметоза А.В., Газизова Р.М.,
Бикметов Э.В., Шарипова Е.В., 2026

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

Фадеева Е.О., Фридман Ю.А. ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОГО ФЕРРИМАГНЕТИКА ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	3
Филиппова В.В., Гареева З.В. МАГНИТНЫЕ СОСТОЯНИЯ В МНОГОСЛОЙНОЙ ФЕРРИТО- ГРАНАТОВОЙ ПЛЕНКЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	5
Исмаэль Эрасо Веласко, Кузьмин Д.А. УПРАВЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬЮ И МАЙОРАНОВСКИМИ НУЛЕВЫМИ МОДАМИ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ГЕОМЕТРИИ.....	6
Шарипов Р.А. ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ В ЛАГРАНЖЕВЫХ ТЕОРИЯХ ПОЛЯ....	9
Япаров С.В., Фахретдинов М.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СОЛИТОНОВ УРАВНЕНИЙ КЛЕЙНА-ГОРДОНА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЛОКАЛЬНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ.....	10
Юлдашева А.Р., Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф. ЧАСТИЧНЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ТОНКИХ СВЕРХРЕШЕТКАХ ГЕЛИМАГНЕТИК/ФЕРРОЭЛЕКТРИК.....	11
Самигуллина А.И., Юлдашева А.Р., Шарафуллин И.Ф. СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ В ГЕЛИКОИДАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПЛЁНКАХ.....	14
Демидова В.А., Юмагузин А.Р., Вахитов Р.М. ОСОБЕННОСТИ ЗАРОЖДЕНИЯ 0° - ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В (111)-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ С УЧЕТОМ ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА.....	16
Хохлач Я.А., Гареева З.В. ОСОБЕННОСТИ СПИН-ФЛОП ПЕРЕХОДОВ В ПРОВОДЯЩИХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ.....	18

Филиппов М.А., Хакимуллина А.А., Ахметова А.А., Вахитов Р.М.	
ВЛИЯНИЕ КОЛУМНАРНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ДВИЖЕНИЕ МАГНИТНЫХ СКВИМОНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СПИН- ПОЛЯРИЗОВАННОГО ТОКА.....	19
Кудашев В.С., Фасхутдинов Р.А., Екомасов Е.Г.	
ЗАВИСИМОСТЬ ЧАСТОТЫ И РАДИУСА СТАЦИОНАРНЫХ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В СТО СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА ОТ ВЕЛИЧИНЫ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	21
Абдрахманов Д.И., Шарафуллин И.Ф.	
ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТА НА ЛОКАЛИЗАЦИЮ И ТЕМПЕРАТУРНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СКВИМОННОЙ ФАЗЫ...	22
Баймурзина Ю.И., Гареева З.В.	
МАГНИТОГАЛЬВОНИЧЕСКИЕ ТОКИ В ПРОВОДЯЩИХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ.....	24
Шестаков А.С., Титов Е.В.	
АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СЛАБОПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТНЫХ СРЕДАХ ВБЛИЗИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ТОКОНЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	25
Попов А.В., Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БРИЗЕРОВ УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ДВУМЯ ПРОТЯЖЕННЫМИ ПРИМЕСЯМИ И УЧЕТОМ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛН.....	27
Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.	
КОЛЕБАНИЕ МАГНИТНЫХ СОЛИТОНОВ В МУЛЬТИСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕНЕРАТОРА СПИНОВЫХ ВОЛН.....	28
Латыпов А.Э., Закирьянов Ф.К.	
ОПИСАНИЕ ОТКРЫТОГО СОСТОЯНИЯ МОЛЕКУЛЫ ДНК ДВУХСОЛИТОННЫМИ РЕШЕНИЯМИ УРАВНЕНИЯ SIN-ГОРДОНА	30
Лукошкина Т.А., Нерадовский Д.Ф.	
РАЗНОПОЛЯРНАЯ ДИНАМИКА МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В ТРЕХСЛОЙНОМ СПИН-ТРАНСФЕРНОМ НАНООСЦИЛЛЯТОРЕ	31
Ильясова Г.Ф., Вахитов Р.М.	
ТРАНСФОРМАЦИЯ $k\pi$ -СКВИМОНОВ НА КОЛУМНАРНЫХ ДЕФЕКТАХ ТИПА «ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА».....	33
Пересторонина А.В., Хазимуллин М.В.	
ИЗУЧЕНИЕ НЕМАТИЧЕСКИХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИММЕТРИЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ.....	36

Полуденная О.А., Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф. ДИНАМИКА СПИНОВЫХ ВОЛН В МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ.....	37
--	----

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Баранов Б.М., Новокрещенов А.М., Титов Е.В. ЧАСТОТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СВЧ-НАГРЕВА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	39
Батисова А.А., Альмухаметов Р.Ф. СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СОЕДИНЕНИЯ $Cu_{1.8}Na_{0.2}S$	41
Хазикаев Э.А., Кубенова М.М., Балапанов М.Х. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОВОДИМОСТИ $Ag_{0.01}Cu_{1.99}Se$	43
Абуайяш А.М.М., Нестеров К.М., Наумов И.А., Зайнуллин А.И., Гизатуллин Д.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СТАЛИ 30ХГСА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ РОТОРОВ СИНХРОННЫХ МАШИН.....	45
Саяпин А.В., Акманова Г.Р. ЗОННАЯ СТРУКТУРА ДВУМЕРНЫХ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ.....	47
Аккубеков Ш.А., Тулякаев М.И., Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х. ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМО- Э.Д.С. КОМПОЗИТОВ $Li_{0.09}Cu_{1.82}S$, $Li_{0.12}Cu_{1.80}S$, $Li_{0.16}Cu_{1.75}S$	48

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА И БИОФИЗИКА»

Мургазина Л.С., Кудрейко А.А. МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАТАЦИИ И СТРУКТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПАНКРЕАТИЧЕСКОГО ИНГИБИТОРА ТРИПСИНА БЫКА.....	50
Фатеев А.Н., Кузьмин Д.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕЙРОНОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНТЕРФЕРИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ.....	52

Батталова А.Р., Акманова Г.Р. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ФИЗИКО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛАНОВ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ (3D-CRT, IMRT, VMAT) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТРИК КОНФОРМНОСТИ И АЛГОРИТМОВ ИНВЕРСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ.....	55
Мирзоев Х.Т., Акманова Г.Р. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОТОВОГО ТЕЛЕФОНА НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ.....	56
Хуснутдинова З.А., Акманова Г.Р. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА.....	57
Усманова А.Р., Акманова Г.Р. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСЧЁТА ДОЗЫ (TG-43 VS СОВРЕМЕННЫЕ СЕТОЧНЫЕ МЕТОДЫ) В ПЛАНИРОВАНИИ БРАХИТЕРАПИИ.....	58

СЕКЦИЯ «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

Остальцова А.Д., Салихов Т.Р. ПРОВЕРКА НАЛИЧИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В СЕНСОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ.....	60
Остальцова А.Д., Салихов Т.Р. НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПЛЕНКИ СУКЦИНИЛА ХИТОЗАНА В СЕНСОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ.....	63
Остальцова А.Д., Салихов Т.Р. ПЛЕНОЧНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ В РАЗРАБОТКЕ СЕНСОРОВ АНАЛИЗА ГАЗОВОГО СОСТАВА.....	65
Чебаева Т.В., Салихов Т.Р. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК.....	67
Мухаметдинов Ч.Р., Степанова П.А., Зильберг Р.А. КОМПОЗИТНЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ SWCNT, rGO и AuNPs ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД.....	69
Мичник В.С., Муллагалиев И.Н. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЯ НА РАМАНОВСКИЙ СПЕКТР УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК.....	71
Мичник В.С., Муллагалиев И.Н., Мустафин А.Г. РАМАНОВСКИЙ СПЕКТР УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК.....	72
Траоре М., Степанова П.А., Зильберг Р.А. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ЭНАНТИОМЕРНО И ДИАСТЕРЕОМЕРНО ЧИСТЫХ КОМПЛЕКСОВ Ni (II) С ХИРАЛЬНЫМИ ЛИГАНДАМИ НА ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОСТЬ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ.....	73

Степанова П.А., Волкова А.А., Терес Ю.Б., Зильберг Р.А. ХИРАЛЬНЫЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА КОБАЛЬТА (III) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И РАСПОЗНОВАНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ ТИРОЗИНА.....	75
Ишмакаева Г.И., Зильберг Р.А. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ (R,R)- diPh -[Co]-Cl И (S,S)-diPh- [Co]-Cl ДЛЯ ХИРАЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ТИРОЗИНА МЕТОДОМ КВАДРАТНО-ВОЛНОВОЙ ВОЛЬТАМПЕРМЕТРИИ...	77
Миннеахметов Д.И., Муллагалиев И.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПЛЁНКИ ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАЛИНИНА НА АЛЮМИНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ.....	79
Закиров К.И., Вахрин Д.А., Сафаргалин И.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ВЕРШИНЫ БАРЬЕРА ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С ДВУХЗАТВОРНОЙ СТРУКТУРОЙ В БАЛЛИСТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ.....	81
Макарычева К.В., Степанова П.А., Зильберг Р.А. БИНАРНАЯ ХИРАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНОГО ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОДА И D-КАМФОРСУЛЬФОНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ МЕТИОНИНА.....	83
Терес Ю.Б., Зильберг Р.А. АМИНОКИСЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ CU(II) КАК ХИРАЛЬНЫЕ СЕЛЕКТОРЫ ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНЫХ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ.....	85
Гильманов Б.Ф., Кабиров А.Т., Сафаргалин И.Н. ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМИДНЫХ ПЛЕНОК НА ВЛАЖНОСТЬ...	87
Дрепакова А.П., Муллагалиев И.Н. ОРГАНИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ, РЕГИСТРИРУЮЩИЕ ПАРЫ АММИАКА.....	89
Дрепакова А.П., Муллагалиев И.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИАНИЛИНА МЕТОДАМИ СПЕКТРОСКОПИИ.....	91
Аюпов А.Р., Рудкевич Е.Е., Сырцева Ю.Д., Сафаргалин И.Н. МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARDUINO UNO R3 И ДАТЧИКОВ MQ-9, ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ/ВЛАЖНОСТИ.....	93
Галиев Д.М., Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф. ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КОБАЛЬТА.....	95

Кондров Я.В., Муллагалиев И.Н. ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ ПЛЁНОК ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАНИЛИНА МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ.....	96
Кондров Я.В., Муллагалиев И.Н. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАПЫЛЕНИЯ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАНИЛИНА.....	97
Кондров Я.В., Муллагалиев И.Н. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ(УВП-250) ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАНИЛИНА НА СИТАЛЛОВЫХ ПОДЛОЖКАХ.....	98
Минсеева А.С., Муллагалиев И.Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА С ПОМОЩЬЮ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОВОДИМОСТИ.....	100
Габбасов Б.А., Муллагалиев И.Н. ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ Фуллерена или ПОЛИАНИЛИНА НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК.....	102
Набиуллин М.Р., Абдрахманов В.Х. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ЭКСТРЕННОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА БАЗЕ LoRaWAN С ЛОКАЛЬНЫМ НЕЙРОСЕТЕВЫМ РАСПОЗНАВАНИЕМ НАБОРА КОМАНД.....	103
Зекеева А.Ф., Зильберг Р.А. ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЭНАНТИОМЕРОВ ТРИПТОФАНА НА ОСНОВЕ БИНАРНОЙ ХИРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ.....	105
Ермилов И.С., Абдрахманов В.Х. ПОЛУДУПЛЕКСНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ С БАТАРЕЙНЫМ ПИТАНИЕМ ЛОГИКИ.....	107
Айдагулов А.А., Цеплин Е.Е. ОБРАЗОВАНИЕ ВОДОРОДНОГО КОМПЛЕКСА МОЛЕКУЛЫ ФТАЛИДА С МОЛЕКУЛАМИ ВОДЫ ПРИ ИХ АДсорбции.....	109
Уткин Е.Г., Сафаргалин И.Н. СЕНСОР НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С ДОБАВЛЕНИЕМ ЙОДИДА СЕРЕБРА.....	111

Баджассилона Г.Б., Абдрахманов В.Х. РАЗВЁРТЫВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ N8N КАК СЛОЯ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ СЕТИ LORAWAN С ОБЛАЧНЫМ ПЕРСИСТЕНТНЫМ ХРАНИЛИЩЕМ.....	113
Баджассилона Г.Б., Сафаргалин И.Н. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИОТ-СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ LORAWAN И СЕРВЕРА VEGA...	115
Краилов Д.А., Муллагалиев И.Н. ПРОБЛЕМЫ ПЕЧАТНОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ.....	117
Аллагулов И.И., Муллагалиев И.Н. ПРОБЛЕМЫ ГАЗОВЫХ НАНОСЕНСОРОВ.....	119
Зайнетдинов Т.И., Муллагалиев И.Н. ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА....	120
Гарипова Д.Р., Муллагалиев И.Н. РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК И ПОРОШКОВ ПОЛИАНИЛИНОВ.....	121
Габбасов Б.А., Муллагалиев И.Н. СОЗДАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОНА.....	122
Фазуллин А.З. ИЗУЧЕНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ С ПОМОЩЬЮ СХЕМЫ СОЙЕРА-ТАУЭРА.....	123
Золотых Я.В., Абдрахманов В.Х. ПОСТРОЕНИЕ УМНОГО ДОМА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИК ХОЛЛА.....	125
Закиров Д.А., Абдрахманов В.Х. АВТОНОМНОЕ УСТРОЙСТВО ГОЛОСОВОГО ВВОДА- ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ НА LORAWAN.....	127
Юсупова К.З., Абдрахманов В.Х. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТОРГОВОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОТ.....	129
Урвачев М.А., Абдрахманов В.Х. УМНЫЙ ДОМ НА БАЗЕ LORAWAN: ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ.....	131
Таланкина А.Р., Абдрахманов В.Х. УЧЕТ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LoRaWAN...	133
Шагапов И.И., Абдрахманов В.Х. «РАДИОНЯНЯ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОТ.....	136

Садрук А.В., Абдрахманов В.Х. РАЗВЕРТЫВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ ПУНКТОВ КОНТРОЛЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ.....	138
Колотов В.Н., Абдрахманов В.Х. ВИДЕОКАМЕРА С LTE-МОДЕМОМ.....	141
Иванов В.И., Абдрахманов В.Х. УМНЫЙ ДОМ НА БАЗЕ LORAWAN: ДАТЧИК ДЫМА И ПЫЛИ....	143
Иванов Е.В., Абдрахманов В.Х. СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОГО ЭНЕРГОУЧЕТА И МОНИТОРИНГА КОМПРЕССОРОВ.....	146
Исламгулов Д.А., Абдрахманов В.Х. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32.....	149
Бурханова А.Д., Абдрахманов В.Х. ЦИФРОВОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО НА БАЗЕ LoRaWAN.....	152
Бочкарева В.А., Абдрахманов В.Х. МОНИТОРИНГ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LoRaWAN.....	154
Баранов В.С., Абдрахманов В.Х. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЖКХ НА ОСНОВЕ IOT И ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN.....	158
Баляков Д.М., Абдрахманов В.Х. УМНЫЙ ДОМ НА БАЗЕ LORAWAN: ДАТЧИК КАЧЕСТВА ВОЗДУХА.....	160

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОФИЗИКА»

Шарафутдинов В.М., Шарипов Т.И. РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЬНОГО АУДИОИНТЕРФЕЙСА НА ОСНОВЕ DSP-ПРОЦЕССОРА ADAU1467.....	163
Гладких И.А., Шарипов Т.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШАЮЩЕГО DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	165
Пиль Л.М., Шарипов Т.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	168

Хадыев Т.Э., Шарипов Т.И. ПОЛУЧЕНИЕ НАВЫКОВ КАЛИБРОВКИ АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУЦЕПОЧЕЧНЫХ ПРИРОДНЫХ ДНК НА НЕМ.....	170
Габбасов Б.А., Шарипов Т.И. ПОЛУЧЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО ТУНЕЛЬНОГО МИКРОСКОПА.....	172
Татлыбаев Д.Д., Шарипов Т.И. МОРФОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ГОМОГЕННЫХ ПОЛИНУКЛЕОТИДНЫХ ЦЕПОЧЕК ДНК dT ₁₂ и dG ₁₂ : СТМ- ИССЛЕДОВАНИЯ.....	174
Мухамедьянов М.М., Рыжиков О.Л. АЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАКЕТОМ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА.....	176
Гибадатов Д.А., Рыжиков. О.Л. ИССЛЕДОВАНИЕ SDR-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРИЕМА РАДИОСИГНАЛОВ.....	178
Тляубаев Т.Ю., Шайхитдинов Р.З. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКАХ.....	180
Миназов И.И., Шайхитдинов Р.З. ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ОРЕНФОАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕШАТЕЛЯ ИСОФОАМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ.....	182
Хадыев Т.Э., Шарипов Т.И. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ. ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ.....	184
Изюров Д.С., Латыпов К.Ф. РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ МАКЕТА ИНДУКЦИОННОГО МАГНИТОМЕТРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.....	186
Баязитов И.И., Рыжиков О.Л. АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНАЯ И ФАЗО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА.....	188
Янгиров Г.Р., Рыжиков О.Л. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	189

Байгузин Г.В., Шайхитдинов Р.З. ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛА.....	191
Полухин Р.В., Шарипов Т.И. АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ИССЛЕДУЕМЫЕ МЕТОДОМ АТОМНО- СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ.....	193
Татлыбаев С.А., Шайхитдинов Р.З. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКАХ.....	195
Каримов А.Х., Латыпов К.Ф. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ WI-FI НА ОСНОВЕ ПАССИВНОГО СБОРА ТЕЛЕМЕТРИИ И OPEN-SOURCE СТЕКА.....	197
Баишев А.Х., Шайхитдинов Р.З. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ МОСТИК В ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКАХ.....	198
Захаров Ю.А. ФЛИККЕР-ШУМ В ВОЛЬФРАМОВЫХ ПРОВОДНИКАХ С РЕАЛИЗАЦИЯМИ НЕПРЕРЫВНОГО ТИПА.....	199
Козин К.Д., Салихов Т.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ СТРУКТУР NI/CO НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ СИТАЛЛА.....	201

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

Буджогра С., Шарафутдинов Р.Ф. ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА ФИЛЬТРАЦИЮ ГАЗОКОНДЕНСАТА В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ.....	203
Хакимов Ф.Ш., Шарафутдинов Р.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ТРАЕКТОРИЕЙ.....	204
Кадияту М., Закиров М.Ф. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НЕФТИ И ВОДЫ ПРИ БАРЬЕРНОМ СПОСОБЕ ДОБЫЧИ.....	205
Шайхиңуров Ш.Н., Вахитова Г.Р. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКТОРОВ ФАМЕНСКОГО ЯРУСА БЕЛЕБЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА.....	207

Каримова Д.Ф., Вахитова Г.Р. ОЦЕНКА ТЕКУЩЕЙ НАСЫЩЕННОСТИ ПЛАСТОВ МЕОТИЧЕСКОГО ЯРУСА НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОМ ИНГК-СО.....	211
Семенов К.А., Шевелев А.П. СИНТЕЗ ИНТЕРВАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРОБЕГА ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ОСНОВЕ ПОЛНОГО КОМПЛЕКСА ГИС LWD В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН.....	213
Акманов И.С., Абаймов С.Г. РАСЧЕТ ПРОНИЦАЕМОСТИ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ОБРАЗЦОВ КЕРНА МЕТОДОМ ДАРСИ-БРИНКМАНА-СТОКСА..	215
Хусаинова Р.Р., Вахитова Г.Р. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПРИТОКА ДВУХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ.....	217
Асфина Р.Р., Давлетшин Ф.Ф. ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД.....	219
Хаматдинов М.Ф., Давлетшин Ф.Ф. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОИНТЕРВАЛЬНОГО РАСХОДА ФЛЮИДА В НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ.....	220
Аликов К.Р., Рамазанов А.Ш. НЕСТАЦИОНАРНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В УПРУГОМ ПЛАСТЕ.....	221
Басимова А.Х., Мухутдинов В.К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЁМКОСТНЫХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРОВ КАШИРО-ПОДОЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ.....	224
Автушенко О.А., Мухутдинов В.К. ПОСТРОЕНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРРИГЕННОЙ ТОЛЩИ НИЖНЕГО КАРБОНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЁМКОСТНЫХ СВОЙСТВ.....	225
Исламов Р.А., Шарафутдинов Р.Ф. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЯ- ТОМСОНА ДЛЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ.....	226
Мухутдинов В.К., Акчурин Р.З. МОДЕЛИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН.....	227
Втюрина А.Д., Мухутдинов В.К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕТРОТИПОВ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ..	229

Сухорослова А.А., Шарафутдинов Р.Ф. МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ: ЧИСЛЕННЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ.....	231
Гильманов Р.Я., Мухутдинов В.К. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ЗАРЕЗКИ БОКОВЫХ СТВОЛОВ И КРИТЕРИИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	232
Рамазанов И.Ш., Валиуллин Р.А. ОЦЕНКА НЕЦЕЛЕВОЙ ЗАКАЧКИ ВОДЫ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН.....	233
Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ И ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОКОНДЕНСАТА.....	235
Зиязетдинов С.И., Шарафутдинов Р.Ф. МНОГОФАЗНЫЕ ПОТОКИ В СТВОЛЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ. РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ТЕРМОМЕТРИИ.....	237
Абдуллина М.Р., Мухутдинов В.К. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОКСИ-МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРИОБСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ.....	239
Гирфанов И.И., Мухутдинов В.К. СОЗДАНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАСТОВ ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ С УЧЕТОМ ФАЦИАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАЗРЕЗА.....	241
Усманова Э.С., Вахитова Г.Р. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ КАШИРО-ПОДОЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НИКОЛО- БЕРЕЗОВСКОЙ ПЛОЩАДИ ПО ДАННЫМ ГИС И КЕРНА.....	243
Алимова М.Р., Вахитова Г.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ГАММА-АКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД КАШИРО-ПОДОЛЬСКОГО ГОРИЗОНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ КЕРНА И ГИС.....	246
Котьяшов М.С., Рамазанов А.Ш. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВЫХ КОНУСОВ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ: АНАЛИТИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯЦИИ И ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ ВРЕМЕНИ ПРОРЫВА ГАЗА.....	248
Хуссамов Р.И., Мухутдинов В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫСОКООМНОГО ПЛАСТА ЮС2 ОМБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	250

Абызбаева А.З., Галимов Р.А., Космылин Д.В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО ОТКЛИКА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ.....	253
Абызбаева А.З., Рамазанов А.Ш. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В СКВАЖИНЕ ПРИ ЗАКАЧКЕ ВОДЫ.....	255
Латыпов А.Р., Мухутдинов В.К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТОЕВ СКВАЖИН ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОМЫСЛОВО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	257
Кривоплясова А.А., Давлетшин Ф.Ф. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ОПТОВОЛОКОННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ТЕРМОМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ СКВАЖИН...	259
Фазылова Д.А., Шарафутдинов Р.Ф. К ВОПРОСУ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАСТЕ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ НЕФТИ, ВОДЫ И ГАЗА С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ.....	260
Ашкар Г.Х., Яруллин Р.К. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АГРЕГАЦИИ КАНАЛОВ DAS ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.....	262
Сынгизова Н.Ю., Вахитова Г.Р. ФОРМИРОВАНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С НИЗКОПРОНИЦАЕМОЙ МАТРИЦЕЙ.....	263

СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

Тимершаехова А.Я., Давлетбаев А.Я. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В СИСТЕМЕ «ПЛАСТ-ТРЕЩИНА ГИДРОРАЗРЫВА» ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ В СКВАЖИНЕ.....	265
Еникеев Р.М., Тимершаехов Д.Ф., Губайдуллин М.Р., Тимершаехова А.Я., Давлетбаев А.Я. АПРОБАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ РЕЖИМОВ НА ЭТАПЕ ВЫВОДА СКВАЖИН НА УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ РАБОТЫ.....	266

Хаирова Н.У., Давлетбаев А.Я. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА К ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЕ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕПАДАХ ДАВЛЕНИЯ.....	268
Евламписев Я.В., Ковалёва Л.А. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРАХ.....	269
Саяхов Д.Р., Давлетбаев А.Я. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ В КОЛЛЕКТОРЕ ТРЕЩИНОВАТО-ПОРОВОГО ТИПА В ПК «РН-ВЕГА».....	270
Абдулина Е.С., Валиуллина В.И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЛОЕНИЯ СЛОЖНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	271
Скоблицов Р.М., Шевелёв А.П. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАКАЧКИ И КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ПРИ ПАРОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПРИЗАБОЙНЫХ ЗОН.....	272
Абдильмянов Д.Р., Давлетбаев А.Я. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИТОКА И НАКОПЛЕННОЙ ДОБЫЧИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ В СКВАЖИНЕ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА.....	274
Латыпов Т.Р., Давлетбаев А.Я. ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИЙ ЖИДКОСТИ В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРАХ В ПК «РН-КИМ».....	275
Гусаков Г.К., Шевелев А.П. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМЕРА ПЕРВОГО ОБЪЕДИНЯЕМОГО В ПСЕВДОКОМПОНЕНТ УГЛЕВОДОРОДА.	276
Касперович А.М., Шевелев А.П. ПОСТРОЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО МАССОПЕРЕНОСА ПРИ БЛОКИРОВАНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ТРЕЩИН.....	278
Ганиев Э.Э., Давлетбаев А.Я. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ К СКВАЖИНЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ПОЛУДЛИНОЙ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА В ПК «РН-ВЕГА».....	280
Харисова И.И., Гареева Д.Ф., Зиннатуллин Р.Р. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ.....	281

Ильясов И.А., Валиуллина В.И. ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО ПРОСТРАНСТВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЭМУЛЬСИИ.....	284
Волкова К.Е., Мусин А.А., Юлмухаметова Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В КАПЛЕ ЭМУЛЬСИИ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ НАГРЕВА.....	285
Гафаров К.Р., Ишмурзина Н.М. ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ ГАЗОПРОВОДА С МАЛЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖИДКОЙ ФАЗЫ.....	286
Сафина Р.Р., Ишмурзина Н.М. ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ НАЧАЛА ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ГАЗОПРОМЫСЛОВОМ ШЛЕЙФЕ.....	288
Киреев И.И., Зиннатуллин Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ.....	290
Батыршин К.Э., Солнышкина О.А., Батыршин Э.С. ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ КАНАЛОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА...	291
Фаррахетдинова А.И., Усманов Б.А., Мусин А.А. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ.....	293
Курбанова С.С., Давлетбаев А.Я. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ.....	294
Мечников В.А., Солнышкина О.А. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В МИКРОКАНАЛАХ ПРИ ПЕРЕУПАКОВКЕ МАССИВА ПИНОВ.....	295
Камалетдинов Н.Х., Зиннатуллин Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ-НАГРЕВА ПАРАФИНА С ДОБАВЛЕНИЕМ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ.....	297
Гимадеев А.В., Солнышкина О.А. ВЛИЯНИЕ ВТОРОГО МАСШТАБА УПАКОВКИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПОВ НА ЕГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	299

Галиева К.А., Солнышкина О.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ СТенок КРЕМНИЕВОГО МИКРОКАНАЛА НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА.....	300
Ермакова М.В., Киреев В.Н. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТЕЧЕНИЯ КРОВИ В КРОВЕНОСНЫХ СОСУДАХ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ.....	302
Кинзябулатов И.И., Зиннатуллин Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЭЛЕКТРОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЭМУЛЬСИИ.....	304
Панченко А.А., Латыпов К.Ф. МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ И АДАПТИВНЫХ ПЕРЕСТАНОВОК КАНАЛОВ.....	306
Мукимова Р.Ш., Мусин А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЦН-ПЭД...	308
Гизатуллина Э.И., Киреев В.Н. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ КУЭТТА-ТЕЙЛОРА.....	309
Зуева К.Д., Киреев В.Н. ОЦЕНКА ПРОВОДИМОСТИ РАЗЛОМОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН НА НЕФТЕГАЗОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ.....	310
Сабиров Т.З., Зиннатуллин Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ВОДОМАСЛЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В НЕОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	311
Маукаев И.И., Киреев В.Н. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СТРУЙНОГО ТЕЧЕНИЯ.....	312
Мухитов Д.Р., Киреев В.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ.....	314
Хасанова Я.Р., Мусин А.А., Галеев Р.Р. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЯЗКОСТИ МОДЕЛЬНОЙ НЕФТЯНОЙ СИСТЕМЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	316
Душенко А.Р., Галеева Д.Р. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КАПЛИ АНОМАЛЬНО-ТЕРМОВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ.....	317

Каншаев Д.А., Киреев В.Н. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ И КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ.....	319
Гарифуллин И.Ш., Андриянов Н.Г., Солнышкина О.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАВЛЕНИЯ КОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПОВ.....	320
Сайтов Т.М., Ишмурзина Н.М. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПАРАМЕТРОВ ГЖС ПО СТВОЛУ СКВАЖИНЫ.....	321
Ерастова П.С., Галеева Д.Р. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОГО ТЕЧЕНИЯ «ЖИДКОСТЬ – АНОМАЛЬНО-ТЕРМОВЯЗКАЯ ЖИДКОСТЬ – ЖИДКОСТЬ».....	323
Гимадеев А.В., Ковалёва Л.А. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ В ЭМУЛЬСИИ.....	325
Трефилов К.А., Киреев В.Н. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПЛОСКОМ РАСШИРЯЮЩЕМСЯ КАНАЛАХ.....	326
Васильев М.К., Усманов Б.А., Гарифуллин И.Ш., Мусин А. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРОВ ДИМЕТИЛДИХЛОРСИЛАНА НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕКЛА ПУТЁМ ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ СИДЯЧЕЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ КАПЛИ.....	327
Андриянов Н.Г., Солнышкина О.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМО-ХИМИЧЕСКОЙ ПОСТОБРАБОТКИ КРЕМНИЕВОГО МИКРОКАНАЛА НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ.....	330
Муллагалямов Р.Х., Усманов Б.А., Мусин А.А. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ И АКУСТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ.	332
Межаев С.А., Шевелев А.П. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ С ПОМОЩЬЮ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА.....	333

СЕКЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ РАДИОТЕХНИКИ И СВЯЗИ»

Сафиуллин Т.Э., Муллағалиев И.Н. ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ.....	335
Искакова Э.Ю., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М. ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ПРОБОЕ.....	337
Исламгулов Д.Р., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М. ГЕНЕРАЦИЯ МОЩНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ.....	338
Резяпов Т.Д., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М. ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА В ВОДЕ.....	339
Сароян Г.Г., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М. ИМПУЛЬСНАЯ НАКАЧКА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА НА ГРАНАТЕ С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ПОДЖИГОМ.....	341
Шайхуллин Т.А., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М. ГЕНЕРАТОР ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ ЧАСТОТОЙ В МГЦ ДИАПАЗОНЕ.....	342
Валиев И.А., Абзалилов Д.А., Вальшин А.М. ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ НАКАЧКА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА НА ГРАНАТЕ.....	343
Краилов Д.А., Абдрахманов В.Х. РАЗРАБОТКА ШЛЮЗА MODBUS-IP ДЛЯ СИСТЕМ УДАЛЁННОГО МОНИТОРИНГА.....	344
Амакасов А.А., Муллағалиев И.Н. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВЫЗОВЫ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ: АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ АСПЕКТЫ.....	346

СЕКЦИЯ «ПУТЬ В НАУКУ»

Сафархузин В.Д., Мигранова М.М. ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ОТВЕТСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ.....	347
Дьяченко А.В., Мигранова М.М. ИЗУЧЕНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	349
Соловьёв Г.А., Латипов И.И. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДАТЧИКА ДЕФОРМАЦИИ, ОСНОВАННОГО НА МОДУЛЯЦИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛИМЕР/МЕТАЛЛ.....	351

Саитбаталов А.М., Дуланова Г. М. АЭРОДИНАМИКА АВТОМОБИЛЕЙ И БОЛИДОВ ФОРМУЛЫ 1...	353
Стехун М.А., Хитрюк А.О., Галин Р.О., Карагулов Т.А., Сава О.В., Сайдылов А.Х., Шарипова Е.В. СБОРКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАНСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА (КАТУШКИ ТЕСЛА) В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ СТРИМЕРНЫХ РАЗРЯДОВ.....	354
Хаматнурова А.Р., Ахметоза А.В., Газизова Р.М., Бикметов Э.В., Шарипова Е.В. СБОРКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРА ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	356

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

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ
В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ**

*Материалы
XII Межрегиональной школы-конференции
молодых ученых
(г. Уфа, 28–29 апреля 2026 г.)*

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.
Статьи публикуются в авторской редакции*

Подписано к использованию 16.06.2026 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 12,85 Мб.
Заказ 99.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.*

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: ric-bdu@yandex.ru