



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Материалы

XI Межрегиональной школы-конференции молодых ученых
(г. Уфа, 24–25 апреля 2025 г.)



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
XI Межрегиональной школы-конференции
молодых ученых
(г. Уфа, 24–25 апреля 2025 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2025

УДК 53
ББК 22.3
Т33

*Публикуется по решению кафедры теоретической физики
Физико-технического института УУНиТ.
Протокол № 5 от 18.06.2025 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**

T33 **Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах:** материалы XI Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 24–25 апреля 2025 г.) / отв. ред. Ф.К. Закирьянов [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2025. – 250 с. – URL: <https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2025/100.pdf> – Загл. с титула экрана.

ISBN 978-5-7477-6115-5

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 978-5-7477-6115-5

© Уфимский университет, 2025

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

УДК 537.61.3

Ахметова А.А.,
асп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Филиппов М.А.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитов Р.М.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВИХРЕПОДОБНЫЕ МАГНИТНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В МОДУЛИРОВАННЫХ ОДНООСНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

В последнее время существенно возрос интерес к исследованиям различного рода вихреподобных магнитных неоднородностей, образующихся ферромагнитных пленках, в частности, к магнитным скирмионам, которые благодаря их необычным свойствам могут найти применение в качестве носителя информации в современных запоминающих устройствах нового поколения. Впервые магнитные скирмионы были обнаружены в материалах с нецентросимметричной решеткой [1], в которых стабилизация скирмионов достигается за счет взаимодействия Дзялошинского-Мория (DMI). Недостатком такого способа образования скирмионов является то, что их стабилизация в материалах с объемным DMI реализуется при крайне низких температурах. Однако стабилизации скирмионов можно достичь в многослойных пленках Co/Pt с межфазным DMI, но и здесь имеется ряд ограничений по толщине пленок. Альтернативным способом является зарождение скирмионов в пространственно модулированных одноосных ферромагнитных пленках. В данной работе рассматривается один из таких способов — зарождение стабильного скирмиона на колумнарном дефекте типа потенциальная яма в одноосной ферромагнитной пленке [3].

В работе [3] был проведён теоретический анализ микромагнитных структур, которые возникают в магнитных пленках данного типа. Было выяснено, что они бывают четырёх типов, два из которых представляют собой нетопологический солитон, а два — магнитный скирмион. Они различаются между собой ориентацией кора и направлением намагниченности на границе диска. Однако они имеют и общие топологические особенности; в их структуре можно выделить три участка вращения магнитных моментов: кор, промежуточный и граничный участки. Наложение магнитного поля H , направленного вдоль лёгкой оси анизотропии, приводит к трансформации их структуры, в частности,

магнитный солитон с ориентацией кора, противоположной полю Н, перемагничивается в три этапа: вначале уменьшаются размеры кора, затем при его критическом значении Нс переключается ориентация кора и скирмион превращается в нетопологический солитон, который исчезает по мере увеличения магнитного поля Н. Тем не менее, некоторые вопросы, связанные с механизмами с механизмами переключения кора, остались нерешенными. Поэтому для исследования данного вопроса было проведено микромагнитное моделирование процессов перемагничивания ферромагнитной плёнки, взятой в форме диска, с колумнарным дефектом в центре. Моделирование было осуществлено с помощью пакета программ OOMMF [4]. Были исследованы процессы перемагничивания, определены поля переключения кора. Кроме того, было проведено исследование зависимости значений критических полей от радиуса дефекта. Установлено, что при увеличении радиуса дефекта значение поля переключения кора уменьшается, а критическое поле полного перемагничивания диска от радиуса дефекта практически не зависит.

Литература

1. S. Mühlbauer, B. Binz, F. Jonietz, C. Pfleiderer, A. Rosch, A. Neubauer, R. Georgii, P. Böni // Science, 2009, v.323, №. 5916. P. 915-919.
2. M.V. Sapozhnikov, S.N. Vdovichev, O.L. Ermolaeva, N.S. Gusev, A.A. Fraerman, S.A. Gusev, Yu.V. Petrov // J. Appl. Phys., 2016, v. 109, № 042406, P. 6.
3. R.M. Vakhitov, R.V. Solonetsky, A.A. Akhmetova // J. Appl. Phys., 2020, v. 128, №. 153904. P. 6.
4. M.J. Donahue, D.G. Porter // Websites:
<https://math.nist.gov/oommf/doc/userguide20a3/userguide/>.

© Ахметова А.А., Филиппов М.А.,
Вахитов Р.М., 2025

Филиппов М.А.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитов Р.М.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СТРУКТУРУ МАГНИТНЫХ СКИРМИОНОВ В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛЁНКАХ

Магнитные скирмионы представляют собой топологически устойчивые вихревоподобные неоднородности, которые стабилизируются в магнетиках, как правило, благодаря взаимодействию Дзялошинского – Мория (DMI) [1]. Но при этом существуют методы их стабилизации, основанные на использовании наномодифицированных плёнок с пространственно-модулированными параметрами [2, 3]. В статье [4] было проанализировано взаимное влияние межфазного изотропного DMI и дефектов типа «потенциальная яма» на устойчивость магнитных скирмионов в ферромагнитной плёнке. В данной же работе рассматривается влияние внешнего магнитного поля на стабилизированные в области дефекта скирмионы. Поле направлено перпендикулярно плоскости плёнки по и против направления намагниченности кора скирмионов.

Все описанные выше исследования проводились методом микромагнитного моделирования в пакете программ OOMMF [5]. Микромагнитная модель представляла собой плёнку в форме диска (радиус диска $R = 300$ нм, толщина $h = 30$ нм) с колумнарным дефектом в центре радиуса R_0 . На дефекте скачком меняется величина магнитной анизотропии: на дефекте — $K_{u2} < 0$, вне дефекта — $K_{u1} > 0$. Рассматривалось воздействие магнитного поля на устойчивые скирмионы при следующих параметрах: $R_0 = (10 \div 60)$ нм, $K_{u1} = 3 \cdot 10^4$ Дж/м³, $K_{u2} =$

$$(-1, -3, -5) \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^3, \text{ константа DMI } D = 0.8 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2.$$

В результате, при включении магнитного поля, направленного против намагниченности кора, наблюдалось возрастание значения критического поля H_{cr} при увеличении радиуса дефекта и глубины «потенциальной ямы». H_{cr} – это величина магнитного поля, при котором скирмион исчезал, а диск становился однородно намагниченным. В случае же, когда внешнее поле было ориентировано по направлению намагниченности кора, H_{cr} не менялось при изменениях R_0 и K_{u2} . Особенности перемагничивания наблюдались только при $R_0 = (55 \div 60)$ нм и $K_{u2} = -5 \cdot 10^4$ Дж/м³. При данных параметрах под действием внешнего магнитного поля происходило переключение скирмиона, при котором он менял свою поляризацию на

противоположную. Из вышесказанного можно сделать выводы о заметном влиянии дефектов типа «потенциальная яма» на устойчивость магнитных скирмионов во внешнем магнитном поле.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение научных исследований лабораториями (№ 075-03-2024-123/I от 15.02.2024).

Литература

1. Mishra K. K. et al., Magnetic skyrmion: from fundamental physics to pioneering applications // Appl. Phys. Rev., 2025, v. 12(1), pp. 011315.
2. Sapozhnikov M. V. et al., Artificial dense lattice of magnetic bubbles // J. Appl. Phys., 2016, v. 109(4), pp. 042406.
3. Вахитов Р. М. и др., Процессы перемагничивания одноосных ферромагнитных пленок с пространственно модулированными параметрами // ФММ, 2024, т. 125(5), стр. 513-520.
4. Vakhitov R. M. et al., Possible structures of skyrmion states in chiral ferromagnetic films with spatially modulated uniaxial anisotropy // JPCM., 2024, v. 37, pp. 5.
5. 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., Вахитов Р.М., 2025

Хакимуллина А.А.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Филиппов М.А.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитов Р.М.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МАГНИТНЫХ ВИХРЕПОДОБНЫХ СТРУКТУР В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЁНКАХ

Магнитные скирмионы представляют собой топологически защищенные вихреводобные структуры, устойчивость которых связана с асимметрией в распределении спинов. Их уникальные характеристики, такие как нанометровые размеры, возможность управления токами малой плотности и т.д., делает их перспективными для использования при создании энергоэффективных устройств памяти и логики на их основе [1].

Для стабилизации скирмионов, как правило, требуется наличие взаимодействия Дзялошинского-Мория (DMI), создающего киральное закручивание спинов, что ограничивает выбор материалов и повышает стоимость потенциальных устройств. Однако альтернативные подходы, включая использование наномодифицированных плёнок с пространственно модулированными параметрами, позволяют достичь устойчивости при небольшой величине DMI или даже в его отсутствии [2]. Цель данной работы — анализ совместного влияния межфазного DMI и дефектов типа «потенциальная яма» на стабильность неелевских скирмионов [3]. Исследование проводилось методом микромагнитного моделирования в пакете программ OOMMF [4]. В качестве микромагнитной модели рассматривается конечный диск радиуса r с материальными параметрами, соответствующими многослойным плёнкам типа Co/Pt. В центре диска находится колумнарный дефект типа «потенциальная яма» с радиусом r_0 , на котором скачком уменьшается значение величины легкоосной магнитной анизотропии, т.е. $K_{u1} > K_{u2}$ (K_{u1} - магнитная анизотропия вне дефекта, K_{u2} - магнитная анизотропия на дефекте). В ходе моделирования при двух разных радиусах дефекта изменялись константы DMI $D=(1,2,3,4)\cdot10^{-3}$ Дж/м², магнитной анизотропии $K_{u1}=(0.4,0.6)\cdot10^6$ Дж/м³ и численно анализировались возможные стабильные структуры при уменьшении K_{u2} относительно K_{u1} в области дефекта.

В итоге, результаты моделирования показали, что при наличии дефекта типа «потенциальная яма» возможно численно стабилизировать магнитные скирмионы неелевского типа. При этом понижается

критическое значение DMI, необходимое для устойчивости скирмionов. Таким образом, комбинирование дефектов с управляемой анизотропией и DMI открывает новые возможности для проектирования функциональных материалов для скирмionики.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение научных исследований лабораториями (№ 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024).

Литература

1. Mishra K. K. et al., Magnetic skyrmion: from fundamental physics to pioneering applications // Appl. Phys. Rev., 2025, v. 12(1), pp. 011315.
2. Sapozhnikov M.V. et al., Artificial dense lattice of magnetic bubbles // J. Appl. Phys., 2016, v. 109(4), pp. 042406.
3. Vakhitov R.M. et al., Possible structures of skyrmion states in chiral ferromagnetic films with spatially modulated uniaxial anisotropy // JPCM., 2024, v. 37, pp. 5.
4. Donahue M.J., Porter D.G., OOMMF User's Guide, Version 1.0 Interagency Report – National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1999.

© Хакимуллина А.А., Филиппов М.А.,
Вахитов Р.М., 2025

Валиев Д.И.,
студ. 4 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

ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В (001)-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

В настоящее время среди различного рода эффектов, наблюдаемых в магнитоэлектрических материалах, наименее изученным и в то же время наиболее привлекательным с точки зрения его возможного применения в прикладных целях является флексомагнитоэлектрический (ФМЭ) эффект, открытый более 15 лет назад [1]. Он представляет собой явление смещение доменной границы (ДГ) под действием неоднородного электрического поля, создаваемого заряженной иголкой, поднесенной к поверхности пленки [2]. Необходимо отметить при этом, что эффект наблюдался при комнатной температуре, а пленки, в которых он был обнаружен по составу являлись ферритами-гранатами. Соответственно, это сказалось на отличительной особенности этого эффекта: степень его проявления существенно зависит от ориентации пленки относительно кристаллографических осей, т.е. от симметрии магнитной подсистемы. Если в (210)-пленке он является значительным, в (011)-пленке проявляется более слабо, а в (111)-пленке его не обнаружили. В пленках с другой ориентацией ФМЭ не исследован. В связи с этим представляет интерес изучения ФМЭ эффекта в (001)-ориентированной пленке ферритов-гранатов. В энергии магнитных неоднородностей, возможных в рассматриваемой пленке, учитывались вклады наряду с обменным взаимодействием (характеризуемым обменным параметром A), одноосной (K_u) и кубической анизотропии (K_1), плотность энергии размагничивающих полей, обусловленных объемных зарядов, а также плотность энергии неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия, имеющая вид:

$$w_{\text{HM}\mathcal{E}} = M_s^2 \epsilon (b_1 \mathbf{m} \cdot \mathbf{div} \mathbf{m} + b_2 \mathbf{m} \times \mathbf{rot} \mathbf{m})$$

где b_1 и b_2 – магнитоэлектрические постоянные, $\mathbf{m} = \mathbf{M}/M_s$ -единичный вектор намагниченности вектора, M_s – намагниченность насыщения, ϵ – напряженность электрического поля ($\epsilon \parallel Oz$). Здесь Oz|[001], Oz совпадает с направлением, вдоль которого магнетик неоднороден.

Численное исследование уравнений Эйлера-Лагранжа соответствующей рассматриваемой пленки показывает, что при определенных значениях параметров $\alpha_1 = K_1/K_u$, $Q = K_u/2\pi M_s^2$ и величины электрического поля $\lambda = \epsilon p_0/2K_u$, ($p_0 = M_s^2(b_0 + b_2)\Delta_0$, $\Delta_0 = \sqrt{A/K_u}$) возможны решения типа 180° -ДГ с квазиблоховской структурой и 0° -ДГ с квазиблоховской структурой. В отсутствии поля ($\lambda = 0$) имеет место 180° -ДГ блоховского типа, которая существует при $\alpha > -1$. При включении поля ($\lambda \neq 0$) она становится квазиблоховской и в окрестности ДГ появляются связанные заряды благодаря ФМЭ эффекту. Распределение зарядов является четной функцией с максимумом в центре ДГ. С возрастанием λ величина максимума дифференциальной поляризации $p_m = p_0 v_m = \frac{\partial \omega_{\text{НМЭВ}}}{\partial x}$ также возрастает. Растет и величина интегральной поляризации $P = \int_{-\infty}^{\infty} p(y) dy$. В то же время с увеличением параметра α_1 интегральная поляризация P уменьшается. Последнее означает, что наличие кубической анизотропии в (001)-пленке ослабляет ФМЭ эффект.

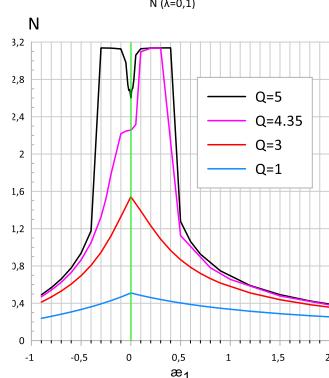


Рис. 1. Зависимость интегральной поляризации N от параметра α_1 при разных значениях фактора качества Q (приведенное внешнее электрическое поле $\lambda = 0,1$)

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

Литература

- Пятаков А.П., Зvezdin A.K. // УФН. 2012. Т. 182. С. 593–620.
- Logginov A.S., Meshkov G.A., Nikolaev A.V., Nikolaeva E.P., Pyatakov A.P. and Zvezdin A.K.// Appl.Phys.Lett. 2008, 93, 182510.

© Валиев Д.И., Юмагузин А.Р.,
Вахитов Р.М., 2025

Демидова В.А.,
студ. 2 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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ 0°-ГРАДУСНЫХ ДОМЕННЫХ
ГРАНИЦ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ
ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
В (111)-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ**

В пленках феррит-гранатах наблюдается малая диссипация по сравнению с материалами-мультиферроиками (такими как феррит висмут и др.), что делает их перспективными материалами для электрически перестраиваемых магнитных устройств [1].

Пространственная модуляция намагниченности может быть в любом магнитном веществе, которому свойственно разбиваться на области с различным направлением намагниченности (магнитные домены). Границы между ними – доменные границы (ДГ) – представляют собой переходные зоны, в которых вектор намагниченности разворачивается от направления в одном домене к направлению в другом, т.е. ДГ являются магнитными спиральными-солитонами и в симметрийном плане аналогичны циклоиде. Так как с циклоидами, из-за флексомагнитоэлектрического эффекта (ФМЭ), может быть ассоциирована некоторая электрическая поляризация, то появляется возможность управлять микромагнитной структурой с помощью электрического поля [2].

Интересной особенностью ФМЭ эффекта явилось зависимость характера его проявления от ориентации подложки, в частности, в (111)-ориентированной плёнке он не был зафиксирован, хотя в (011)- и (210)-плёнках в той или иной степени ФМЭ эффект проявился. Теоретический анализ влияния электрического поля на (111)-ориентированную плёнку ферритов-гранатов с ФМЭ взаимодействием [4] показал, что в окрестности 180°-ДГ происходит разделение зарядов, но из-за симметрии магнитной подсистемы их распределения таково, что результирующее электрическое поле, создаваемое этими зарядами, практически заэкранировано. Однако, приведённые расчеты проводились для случая, когда константа одноосной (K_u) и кубической анизотропии (K_1) принимают значения, при которых значение намагниченности плёнки $M \parallel [111]$ [3]. Поэтому представляет интерес исследование проявления ФМЭ эффекта в (111)-плёнках при других значениях констант анизотропии, когда не реализуется магнитная фаза с $M \parallel [111]$. В настоящей работе такие исследования проведены для случая $4/3 < \alpha_1 < 3/2$, ($\alpha_1 = K_1/K_u$), когда основным состоянием однородно намагниченной пластины является угловая фаза $\langle uuv \rangle$ [4].

Численное исследование уравнений Эйлера-Лагранжа рассматриваемой пленки показывает, что при определенных значениях материальных параметров пластины и величины электрического поля (λ) возможны решения типа 0° -ДГ с квазиблоховской структурой. Причем возможно при одинаковых материальных параметрах пленки и внешнего электрического поля одновременное существование 2 типов 0° -ДГ, различающихся энергией и амплитудой. Реализация того или иного типа 0° -ДГ влияет на распределение электрических зарядов и на величину интегральной поляризации. С увеличением величины поля размеры малого 0° -ДГ увеличиваются и в итоге они сливаются в единую 0° -ДГ.

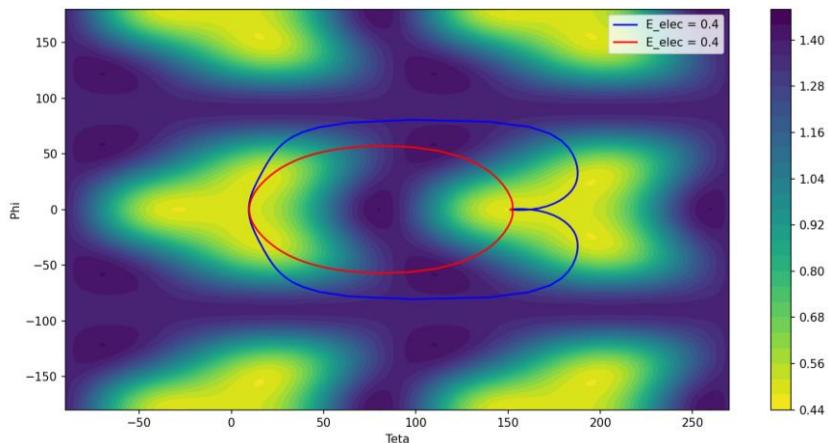


Рис. 1. Различные траектории вектора намагниченности в плоскости равных энергий для двух 0° -ДГ при одинаковых материальных параметрах пленки и значениях внешнего электрического поля ($Q=3$, $\alpha_1=1.5$, $\lambda = 0.4$)

Литература

1. Звездин А.К., Мухин А.А. // Письма в ЖЭТФ. 2009. Т. 89. С. 385.
2. Пятаков А.П., Сергеев А.С., Николаева Е.П., Косых Т.Б., Николаев А.В, Звездин А.К. // УФН. 2015. Т.185, 1077–1088.
3. Vakhitov R.M., Yumaguzin A.R. and Gridneva G.T. // Phys. Scr. 2023, 98, 125988.
4. Vakhitov R.M., Sabitov R.M., Gabbasova Z.V. // Phys.Stat.Sol.(b) 1991, 168, K87.

© Демидова В.А., Юмагузин А.Р.,
Вахитов Р.М., 2025

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

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ В БИСЛОЙНЫХ СИСТЕМАХ

Спиноволновая электроника, использующая магнитные материалы для передачи информации посредством спиновых волн, представляет собой перспективную энергоэффективную альтернативу традиционным устройствам электроники, работающие на основе переноса электрического заряда. Распространение спиновых волн осуществляется благодаря взаимодействию спинов электронов, что устраняет необходимость в перемещении физических частиц и значительно снижает энергопотребление. Дальнейшие исследования в этой области направлены на разработку эффективных методов генерации, управления и детектирования спиновых волн, а также на создание интегральных схем на основе спиноволновых компонентов. Ключевыми проблемами остаются разработка материалов с оптимальными магнитными свойствами и создание надежных и масштабируемых технологий изготовления спиноволновых устройств. Однако, потенциальные преимущества, такие как более высокая частота работы по сравнению с традиционными электронными компонентами и возможность реализации новых функциональных возможностей, делают спиноволновую электронику одной из самых перспективных областей современной физики твердого тела.

Метод функций Грина представляет собой мощный математический инструмент, который используется для изучения энергетических характеристик и термодинамических свойств различных физических систем. Анализ функций Грина, отражающих реакцию системы на внешние воздействия, позволяет извлечь ценную информацию о спектре энергий и магнитных свойствах. Этот метод нашел широкое применение в теоретической физике и исследовании конденсированных сред, позволяя анализировать сложные квантово-статистические системы и предсказывать их поведение в различных условиях и при различных взаимодействиях.

В данном исследовании рассматривается бислой, состоящий из магнитной и сегнетоэлектрической пленок. Гамильтониан системы выглядит следующим образом:

$$H = H_m + H_{an} + H_h + H_D + H_{fm} \quad (1)$$

где первое слагаемое описывает взаимодействие между соседними спинами в плоскости магнитной пленки, второе слагаемое учитывает анизотропию типа «легкая ось», третье слагаемое представляет магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости пленки по оси z. Четвертое слагаемое является межслойным взаимодействием между

пленками, а пятое слагаемое описывает гамильтониан сегнетоэлектрической пленки.

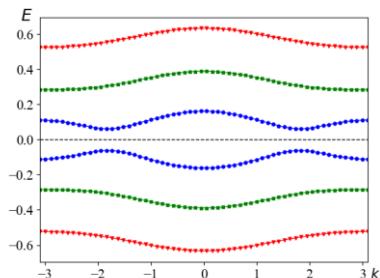


Рис. 1. Зависимость энергии от волнового вектора k_z вблизи критической температуры $T=1.5$ с параметрами $J_m = 1.25$, $I = 0.1$, $J_D = 0.75$, $\theta = 30^\circ$, где синий цвет – $h = 0$, зеленый – $h = 0.25$, красный – $h = 0.5$

Поведение спиновых волн в исследуемой системе демонстрирует отчетливую температурную зависимость, переходя от локализованного характера при низких температурах к нелокализованному при приближении к критической температуре. При низких температурах, ограниченное распространение спиновых волн, сопровождающееся образованием энергетических ям, свидетельствует о доминировании межспиновых взаимодействий и наличии локализованных магнитных состояний. Повышение температуры приводит к преодолению этих взаимодействий за счет тепловой энергии, что проявляется в равномерном распространении спиновых волн по поверхности пленки и усилении коллективных магнитных эффектов. Это подтверждается исследованиями намагниченности, магнитной восприимчивости, теплоемкости и энергетических характеристик, которые, как ожидается, продемонстрируют фазовый переход вблизи критической температуры.

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

Литература

1. Samardak A.S., Kolesnikov A.G., Davydenko A.V. et al. Topologically Nontrivial Spin Textures in Thin Magnetic Films // Phys. Metals Metallogr. 2022. V. 123. № 3. p. 227.
2. Sharafullin, I.F., Diep, H. T. Skyrmion Crystals and Phase Transitions in Magneto-Ferroelectric Superlattices: Dzyaloshinskii-Moriya Interaction in a Frustrated $J_1 - J_2$ Model //.
3. Sharafullin I.F., Kharrasov M.K., Diep H.T. Dzyaloshinskii-Moriya interaction in magnetoferroelectric superlattices: Spin waves and skyrmions // Phys. Rev. 2019. V. 99. 214420.

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

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ И СКИРМИОНЫ В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФРУСТРИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ

В данной работе исследуется влияние поверхностного структурного дефекта в виде отверстия разного диаметра на наличие межслойной связи и магнитоэлектрического взаимодействия в фрустрированных пленках с помощью моделирования методом Монте-Карло. В недавней работе Мацумото [1] использовались искусственные углубления на поверхности, созданные сфокусированным электронным пучком, для инициирования зарождения скирмионов из места закрепления в $FeGe_{1-x}Si_x$ ($x \sim 0.05$) [2]. Для дальнейшего технического применения в устройствах для считывания и записи информационных битов было бы желательно иметь возможность скирмионных нуклеаций в четко определенных положениях пленки.

В этой работе рассматривается простая кубическая решетка с поверхностным структурным дефектом со спинами Гейзенберга в узлах решетки. Конкуренция между обменным взаимодействием, взаимодействием Дзялошинского–Мория (D) и внешним магнитным полем, перпендикулярным плоскости пленки, соответственно, приводит к тому, что кристаллическая структура скирмиона остается стабильной вплоть до температуры перехода [3, 4]. Эта структура обнаруживается в многослойных материалах на основе CrI_3 , Pt/Co и таких соединениях, как $[Ir(1)|Co(0.8)|Pt(1)]_{\times 6}$. Магнитное разрушение индуцирует образование и эмерджентность фазы скирмионов, обсуждается влияние межслойной и магнитоэлектрической связи на размер и плотность скирмионов. Мы показываем, как небольшие изменения в межслойном взаимодействии и магнитоэлектрическом взаимодействии (типа Дзялошинского–Мория) приводят к значительным изменениям размеров скирмионов и влияют на изменение температуры фазовых переходов. Диапазон значений напряженности внешнего магнитного поля (H), в котором фаза решетки скирмиона существует в отсутствие дефекта, находится между $H = 0.5$ (для $D = 0.35$) и $H = 3.5$ (для $D = 2.0$). При наличии дефекта диаметром 40 узлов решетки критические поля, при которых существует фаза решетки скирмиона, находятся в диапазоне от $H = 0.35$ (при $D =$

0.35) до $H = 4.0$ ($D = 2.0$). При значениях, превышающих $D = 0.35$ и $H = 0.4$, решетка скирмионов разрушается, но отдельные скирмионы случайным образом распределяются по всему слою, диаметр скирмионов уменьшается с увеличением внешнего магнитного поля. При увеличении параметра взаимодействия Дзялошинского-Мория $D \geq 0.4$ происходит формирование скирмионной решетки. При наличии дефекта в форме отверстия диапазон значений, при которых существует фаза случайно распределенных скирмионов, значительно шире по сравнению с пленкой без дефекта. Более того, площадь этой фазы увеличивается с увеличением диаметра дефекта до значения $d = 50$ точек решетки. Можно сделать вывод, что наличие дефекта в форме отверстия в ферромагнитной пленке с простой кубической решеткой увеличивает диапазон значений внешнего магнитного поля, при котором возможно образование как фазы решетки скирмионов, так и фазы случайно распределенных скирмионов.

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

Литература

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

© Юлдашева А.Р., Самигуллина А.И.,
Шарафуллин И.Ф., 2025

УДК 530.182.1

Кабанов Д.К.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Екомасов Е.Г.,
д.ф.-м.н., проф., г. Уфа;
Фахретдинов М.И., к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРИМЕСНЫЕ МОДЫ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ КИНКОМ УРАВНЕНИЯ ϕ^4 НА ДВУХ ПРОТЯЖЕННЫХ И ТОЧЕЧНЫХ ПРИМЕСЯХ

В нашей работе исследуются примесные моды, возникающие при взаимодействии кинка уравнения ϕ^4 [1] с неоднородностями потенциала. Рассматривались как две точечные, так и две протяженные прямоугольные притягивающие неоднородности, расположенные на некотором расстоянии друг от друга. При взаимодействии кинка с примесями на них возбуждаются долгоживущие локализованные волны бризерного типа (примесные моды), а на самом кинке возбуждается внутренняя мода, превращая его в колеблющийся кинк (вобблер). Были исследованы структура и динамика этих возбужденных волн, включая компактное ядро и протяженный хвост у вобблера.

Изменение геометрических параметров примесей и начальной скорости кинка влияет на тип и динамические параметры связанных колебаний локализованных на примесях волн. Были найдены возможные решения в виде синфазных, антифазных колебаний и биений. Было показано наличие двух возможных частот для связанных локализованных колебаний, которые сильно зависят от расстояния между примесями, сближаясь с частотой одиночной примеси при увеличении расстояния.

Установлено, что протяженные и точечные примеси демонстрируют качественно аналогичный характер возбуждения локализованных мод. Численно полученные зависимости частот от параметров примесей и расстояния между ними хорошо согласуются с аналитическими результатами, особенно на больших расстояниях между примесями, хотя аналитические значения частот оказываются несколько выше численных. Частоты колебаний примесных мод не зависят от начальной скорости кинка, но зависят от расстояния между примесями.

Литература

1. A Dynamical Perspective on the ϕ^4 Model: Past, Present and Future, P. Kevrekidis, J. Cuevas-Maraver (Eds.), Cham: Springer, 2019.

© Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.,
Фахретдинов М.И., 2025

Клявлин Р.Т.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Юмагузин А.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В (011)-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПЛЕНКЕ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

Пленки ферритов-гранатов имеют большие перспективы для применения в спинтронике и наноэлектронике. На основе этих кристаллов можно создавать различные устройства: ёмкостные электромагниты, сверхвысокочастотные фильтры, элементы магнитной памяти и т.д. Рассматриваемые магнетики с развитой поверхностью (011) характеризуются наличием в них ромбической анизотропии, что значительно улучшает их динамические характеристики и которая оказывает существенное влияние на доменную структуру в них. [1].

Одним из таких явлений, имеющих непосредственное отношение к системам записи и считывания информации, является флексомагнитоэлектрический (ФМЭ) эффект [2]. Он представляет собой явление смещения доменной границы (ДГ) в пленках ферритов-гранатов при действии на него неоднородного электрического поля. Интересной особенностью обнаруженного эффекта явилось зависимость характера его проявления от ориентации подложки, в частности, в (011)-ориентированной в той или иной степени ФМЭ эффект проявился.

Численными методами, подобным в [3], исследовано влияние внешнего электрического поля на область устойчивости доменных границ различной топологии. Показано, что с увеличением значения электрического поля и в зависимости от материальных параметров пластины переходная область между различными фазами увеличивается.

Литература

1. Вахитов Р.М., Шанина Е.Г. Особенности доменной структуры кристалла-пластины (011) ферритов-гранатов // Журнал технической физики. 2003. Т.73. № 7. С. 67–74.
2. Logginov. A.S., Meshkov G.A, Nikolaev A.V., Nikolaeva E.P., Pyatakov A.P. and Zvezdin A.K. // Appl.Phys.Lett. 2008. 93 p.182510.
3. Вахитов Р.М., Магадеев Е.Б., Юмагузин А.Р., Солонецкий Р.В. // Физика твердого тела. 2015. Т. 57. № 8. С. 1462-1466.

Лукошкина Т.А.,
 студ. 4 к. ШЕН ТюмГУ, г. Тюмень
 Науч. рук.: Нерадовский Д.Ф.,
 ст. преп. ШЕН ТюмГУ, г. Тюмень

ВЛИЯНИЕ АНГАРМОНИЧЕСКИХ ПОПРАВОК К ЭНЕРГИИ НА ДИНАМИКУ СВЯЗАННЫХ ВИХРЕЙ В СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНО-ОСЦИЛЛЯТОРАХ

Рассматривается динамика вихрей в трёхслойном двухвихревом спин-трансферном нано-осцилляторе (СТНО). Для описания гиротропного движения вихрей используются уравнения Тиля [1], полученные на основе метода коллективных переменных для гирокорицкой динамики вихрей в нанодиске. Энергия этой системы в приближении парного взаимодействия записывается с учётом ангармонических поправок для квазиупругой энергии вихрей.

Полученная система для описания динамики системы двух магнитных вихрей в СТНО представляет собой проекции на декартову систему координат радиус-векторов и их производных по времени ($\vec{r}_i = (x_i, y_i, 0)$, $\dot{\vec{r}}_i = (\dot{x}_i, \dot{y}_i, 0)$) коров вихрей:

$$\begin{cases} G_1 \dot{x}_1 + k_1 y_1 + \mu y_2 + \frac{\kappa_1}{R^2} (x_1^2 + y_1^2) y_1 = 0, \\ G_1 \dot{y}_1 - k_1 x_1 - \mu x_2 - \frac{\kappa_1}{R^2} (x_1^2 + y_1^2) x_1 = 0, \\ G_2 \dot{x}_2 + k_2 y_2 + \mu y_1 + \frac{\kappa_2}{R^2} (x_2^2 + y_2^2) y_2 = 0, \\ G_2 \dot{y}_2 - k_2 x_2 - \mu x_1 - \frac{\kappa_2}{R^2} (x_2^2 + y_2^2) x_2 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где индекс $i = \overline{1,2}$ соответствует номеру вихря, G_i – модуль гирокорицкого вектора магнитного вихря, k_i – коэффициент квазиупругости i -го вихря, μ – коэффициент магнитостатического взаимодействия вихрей, κ_i – коэффициент ангармонической поправки, R – радиус нанодиска.

Дифференциальные уравнения (1) решаются численно методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Показано, что учёт нелинейных слагаемых в энергии СТНО приводит к появлению дополнительных гармоник по сравнению с линейным случаем.

Литература

- Thiele A.A. Steady-State Motion of Magnetic Domains // PHYSjCAL REVIEW LETTERS. 1973. Vol. 30, 6. P. 230-233.

Рахматуллин Р.И.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Юмагузин А.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПЛАСТИНЕ (111) ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ С ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ

Среди различного рода эффектов, наблюдаемых в магнитоэлектрических материалах наиболее привлекательным с точки зрения применения его в прикладных целях является флексомагнитоэлектрический (ФМЭ) эффект. Это механизм неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия, который в магнитно-неоднородных системах приводит к несобственной электрической поляризации и представляет собой явление смещение доменной границы (ДГ) под действием неоднородного электрического поля, создаваемого заряженным электродом, поднесенным к поверхности пленки [1]. Особенностью ФМЭ эффекта явилась зависимость характера его проявления от ориентации подложки, в частности, в (111)-ориентированной пленке ФМЭ эффект экспериментально не проявился, Теоретический анализ влияния электрического поля на (111)-ориентированную плёнку ферритов-гранатов с ФМЭ взаимодействием [2] показал, что в окрестности 180° ДГ происходит разделение зарядов, но из-за симметрии магнитной подсистемы их распределения таково, что результирующее электрическое поле, создаваемое этими зарядами, практически заэкранировано. Поэтому представляет интерес исследование проявления ФМЭ эффекта в (111)-плёнках при других значениях констант анизотропии, когда не реализуется магнитная фаза с $M \parallel [111]$.

Численными методами, подобным в [3], исследовано влияние внешнего электрического поля на область устойчивости доменных границ различной топологии. Показано, что величина электрического поля значительно влияет на устойчивость той или иной магнитной неоднородности.

Литература

1. Пятаков А.П., Звездин А.К. // УФН. 2012. Т.182, С. 593–620.
2. R.M.Vakhitov, A.R.Yumaguzin and G.T.Gridneva // Phys. Scr. 98, 125988 (2023).
3. Вахитов Р.М., Магадеев Е.Б., Юмагузин А.Р., Солонецкий Р.В. // Физика твердого тела. 2015. Т. 57. № 8. С. 1462-1466.

© Рахматуллин Р.И., Юмагузин А.Р., 2025

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

МАГНИТНЫЕ $k\pi$ -СКИРМИОНЫ В НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

В последнее время отрасль полупроводниковой электроники столкнулась с трудностями повышения производительности современных вычислительных систем за счет увеличения плотности микропроцессоров на единицу площади. Эти трудности вызваны фундаментальными физическими ограничениями, что стало стимулом для поиска новых моделей и методов реализации, на которых будет основываться современная электроника. Одним из перспективных направлений оказалась скирмионика, изучающая магнитные вихреводобные образования (скирмионы). Магнитный скирмion представляет собой аксиально-симметричную стабильную спиновую структуру, в которой от центра к периферии происходит плавный разворот вектора намагниченности \mathbf{M} между двумя противоположными направлениями.

Как правило, в подавляющем большинстве исследований, касающихся скирмионов понималась вихреводобная неоднородность, в которой вектор намагниченности $M = M(r)$ изменяет свое направление на 180° при перемещении в радиальном направлении от центра ($r=0$) до периферии ($r \rightarrow \infty$) пленки (π -скирмion). В то же время, задолго до обнаружения магнитных скирмионов, в работе [1] теоретически было предсказано, что в одноосных ферромагнитных пленках с DMI, возможно существование скирмионов с более сложной структурой, так называемые $k\pi$ -скирмионы ($k \in 1, 2, 3\dots$), в которых «закрутка» вектора \mathbf{M} происходит на угол, кратный 180° . В последствии скирмионы такого типа были обнаружены в работе [2], в которой изучались микромагнитные структуры, возникающие в нанодисках Fe_3Sn_2 . В результате были выявлены в них устойчивые состояния $2\pi, 3\pi$ и 4π -скирмионов при комнатной температуре, при этом наблюдалась следующая закономерность в появлении $k\pi$ -скирмионов: чем больше размер диска, тем вероятнее обнаружить скирмion в них с большей величиной «закрутки» вектора намагниченности \mathbf{M} .

В данной работе изучаются устойчивые состояния магнитных $k\pi$ -скирмионов, образующихся на колумнарных дефектах типа «потенциальная яма» в одноосных ферромагнитных пленках. Исследование возможных типов магнитных скирмионов, структура и их устойчивость в таком магнетике проводилось методом микромагнитного

моделирования в пакете программ открытого доступа OOMMF [3]. В результате моделирования были выявлены устойчивые $k\pi$ -скирмионы ($k = 1, 2, 3, 4, 5$). Кроме того была получена зависимость влияния радиуса образца на величину «закрутки» k .

На рис.1 представлен стабильный 5π -скирмион, при диаметре образца равным 1150 нм.

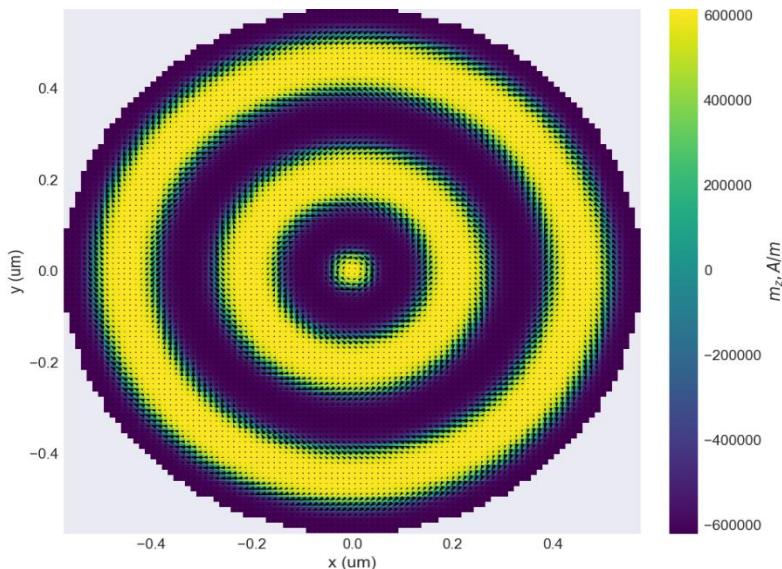


Рис. 1. Топологическая спиновая текстура 5π -скирмиона

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

Литература

1. A.Bogdanov, A.Hubert, J.Magn.Mater. 195,182 (1999).
2. J. Jiang, Y. Wu, L. Kong, Y. Wang, J. Li, Y. Xiong, J. Tang Acta Materialia, 215 (2021) 117084.
3. M.J. Donahue, D.G. Porter OOMMF User's Guide, Version 1.0 Interagency Report – National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1999.

ДИНАМИКА ПРИМЕСНЫХ МОД УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА С УЧЕТОМ ИЗЛУЧАЕМЫХ ИМИ ВОЛН

Уравнение синус-Гордона (УСГ), пользуется популярностью при описании нелинейных волновых процессов в теоретической и математической физике [1]. Оно имеет широкое применение, например, может описывать динамику доменных границ в ферромагнетиках [2-3], однако для этого изначальное уравнение требует модификации. Например, нужно учитывать наличие внешней силы, неоднородность параметров среды и др. Модифицированное УСГ не имеет точных аналитических решений, но существует ряд широко применяемых численных методов и аналитических подходов (например, метод коллективных координат).

В настоящей работе численно исследована динамика нелинейной волны бризерного типа, локализованной в области протяженной притягивающей примеси с применением метода авторезонанса. Проведён анализ параметров (частоты и амплитуды) волн излучаемых бризером в системах с наличием и отсутствием диссипации и внешнего поля. Показано, что, изменяя параметры примеси, можно в широком диапазоне величин изменять частоту излучаемых волн, а изменяя амплитуду внешней силы можно управлять их амплитудой.

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.

Хасанов А.Д.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Кабанов Д.К.,
маг. 1 г. об ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Екомасов Е.Г.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МУЛЬТИКИНКОВЫЕ РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС- ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ШИРОКОЙ ПРИТЯГИВАЮЩЕЙ ПРОТЯЖЕННОЙ ПРИМЕСЬЮ

Одними из популярных модельных уравнений, описывающие многие нелинейные волновые процессы в теоретической и математической физике, являются уравнения Клейна-Гордона (УКГ). Наиболее изученным примером такого класса уравнений является уравнение синус-Гордона (УСГ) [1]. Оно, например, описывает динамику доменных границ в ферромагнетиках [2], однако для этого возникает необходимость его модификации путем добавления дополнительных слагаемых и функций. Они могут описывать наличие внешней силы, неоднородность параметров среды и др. Модифицированное УСГ не имеет точных аналитических решений, но существует ряд широко применяемых численных методов (например, метод коллективных координат).

В настоящей работе исследована структура и динамика кинков уравнения синус-Гордона в модели с широкой протяженной притягивающей примесью. Проведён анализ влияния параметров системы и начальных скоростей кинка на возможные сценарии его динамики и возбуждаемые примесные моды. Показана возможность получения на таких примесях при пининге одного кинка двух, трех и более кинковых устойчивых решений уравнения синус-Гордона

Литература

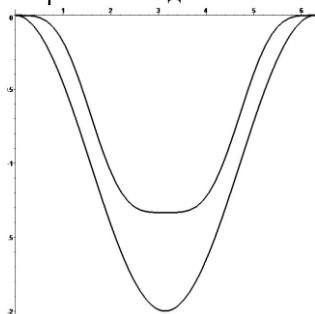
1. Cuevas-Maraver J. The Sine-Gordon Model and Its Applications: From Pendula and Josephson Junctions to Gravity and High-energy Physics / J. Cuevas-Maraver, P.G. Kevrekidis, F. Williams (Eds.) // Springer. – 2014. – V. 10. – P. 263.
2. Одномерная динамика доменной границы в мультислойной ферромагнитной структуре / Д.К. Кабанов, К.Ю. Самсонов, В.Н. Назаров, Е.Г. Екомасов // Физика твердого тела. – 2023. – Т. 65, № 4. – С. 558-565.

© Хасанов А.Д., Кабанов Д.К.,
Екомасов Е.Г., 2025

СОЛИТОНЫ В УГЛОВОЙ МОДЕЛИ ДНК С ПОТЕНЦИАЛОМ МОРЗЕ

«Открытое состояние» (open state) молекулы ДНК, возникающее в процессе её функционирования, при котором происходит разрыв водородных связей комплементарных полинуклеотидных оснований, наиболее естественно описывается в терминах солитонов. Солитонные модели динамики ДНК условно делятся на две основные группы: *поперечные и угловые*. Ранее для второй группы нами была предложена подробная классификация [1] моделей подобного типа, в которых открытое состояние описывается вращением азотистых оснований вокруг сахаро-фосфатного остова молекулы ДНК.

Одной из основных проблем угловых моделей является подбор эмпирического потенциала взаимодействия комплементарных полинуклеотидных оснований, который в группе поперечных моделей представлен хорошо зарекомендовавшим себя в моделировании водородных связей потенциалом Морзе. В данной работе представлена попытка построения *комбинированной* модели нелинейной динамики ДНК с учетом геометрии угловой модели и потенциала Морзе, характерного для поперечных моделей.



Нами показано, что в такой модели возможны солитоны типа кинка, возникающие в угловых моделях, но эти солитоны являются несколько более широкими по сравнению с солитонами в «классических» угловых моделях, описываемых уравнением sin-Гордона. Связано это с тем, что потенциал Морзе является более «мягким» в сравнении с потенциалом $(1 - \cos \varphi)$ «классической» модели, что хорошо видно на рисунке слева.

Литература

1. Кубатиева М.Р., Закирьянов Ф.К. О классификации угловых моделей ДНК. В книге: Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании. Тезисы докладов XV Международной школы-конференций студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 300-летию Российской академии наук. Уфа, 2024. С. 50.

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

СОЛИТОНЫ В ОДНОРОДНОЙ АСИММЕТРИЧНОЙ МОДЕЛИ ДНК

Ранее нами была предложена подробная классификация [1] так называемых поперечных моделей ДНК, в которых открытое состояние, возникающее в процессе функционирования молекулы, описывается поперечными смещениями нуклеотидов в направлении, перпендикулярном оси ДНК. Наибольшую известность среди этих моделей приобрели модели Пейядра-Бишопа (PB-модели) и их модификации. В этих моделях считается, что масса всех нуклеотидов *одинакова*. В то же время хорошо известна асимметрия комплементарных пар в нативных полинуклеотидных цепочках: *пуриновые* основания соединяются водородными связями с *тирамидиновыми*. При этом разница масс нуклеотидов варьируется от ~3% для пар А-Т до ~13% для пар Г-С. Такая разница может привести к особенностям в динамике распространения солитонов в молекуле ДНК.

Нами рассмотрена модель однородной асимметричной полинуклеотидной цепочки polyA-polyT (polyG-polyC), динамика которой описывается системой уравнений Клейна-Гордона:

$$\begin{aligned} m u_{tt} &= k u_{xx} + Da (\exp(-a(u-v)) - 1) \exp(-a(u-v)) \\ m (1+\varepsilon) v_{tt} &= k v_{xx} - Da (\exp(-a(u-v)) - 1) \exp(-a(u-v)), \end{aligned}$$

где m – масса пиримидинового нуклеотида (Т или С), u и v – поперечные смещения нуклеотидов комплементарных цепочек, k – параметр потенциала стекинг-взаимодействия, u и v – поперечные смещения нуклеотидов, D и a – параметры потенциала Морзе, описывающего взаимодействие пуриновых и пиримидиновых оснований, ε – отличие в массе пуринового нуклеотида (А или Г) от соответствующего пиримидинового нуклеотида (Т или С).

Численное моделирование показало, что в такой модели можно возбудить солитоны, которые движутся в разных цепочках с разными скоростями за счёт разности масс комплементарных нуклеотидов – смещение более тяжелых пуриновых нуклеотидов несколько отстает от смещений пиримидиновых, что подтверждает высказанную нами гипотезу.

Литература

- Галимова А.Д., Закирьянов Ф.К. О классификации поперечных моделей ДНК. В книге: Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании. Тезисы докладов XV Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 300-летию Российской академии наук. Уфа, 2024. С. 51.

© Галимова А.Д., Закирьянов Ф.К., 2025

ДВУХСОЛИТОННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ SIN-ГОРДОНА В ПРИМЕНЕНИИ К ДИНАМИКЕ ДНК

Уравнение sin-Гордона (УСГ) очень популярно для описания распространения нелинейных уединенных волн в различных средах. История описания конформационных волн в молекуле ДНК с помощью солитонов УСГ ведёт свое начало с 1980 г. Решения УСГ в виде 2π -кинков используют для описания распространения вдоль молекулы области *открытого состояния* (open state), возникающего в процессе функционирования ДНК. Вместе с тем одним из возражений против существования в ДНК солитонов в виде 2π -кинков является *предположение* о том, что азотистые основания не могут сделать полный оборот вокруг сахарофосфатного остова (СФО) из-за стерических ограничений (steric hindrances). В связи с этим является весьма актуальным использование *других типов* солитонов УСГ применительно к описанию динамики ДНК.

В данной работе в качестве математического образа открытого состояния в молекуле ДНК мы рассматриваем *двуихсолитонное* решение УСГ в виде *близкой пары* «кинк+антикинк», движущихся в одном направлении с одинаковыми скоростями. При достаточно малом расстоянии между центрами кинка и антикинка результирующее решение описывает поворот азотистых оснований вокруг СФО на угол 180° и возвращение в равновесное состояние. Такое решение представляет собой уединённую волну с топологическим зарядом $Q = 0$, что является весьма ценным математическим свойством решения для описания солитонов в полимерных цепочках. В то же время считается, что энергия пары «кинк+антикинк» в два раза больше энергии одиночного кинка (антикинка). Однако тщательный анализ показал, что энергия этой пары зависит от расстояния между центрами кинка и антикинка и может принимать значения, существенно меньшие двойной энергии кинка и близкие к энергии одиночного кинка.

Таким образом, двухсолитонное решение УСГ в виде близкой пары «кинк+антикинк», движущихся в одном направлении с одинаковыми скоростями, является весьма перспективным для описания распространения в молекуле ДНК области открытого состояния как с «топологической», так и с «энергетической» точки зрения.

Фасхутдинов Р.А.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Кудашев В.С.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Екомасов Е.Г.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СВЯЗАННАЯ ДИНАМИКА В МУЛЬТИСЛОЙНОМ СТНО С ПРОТИВОПОЛОЖНЫМИ ПОЛЯРНОСТЯМИ ВИХРЕЙ

В настоящее время одним из самых перспективных устройств спинtronики можно считать микроволновой спин-трансферный наноосциллятор (СТНО) [1]. Под СТНО подразумевают столбик из нескольких магнитных слоев, разделенных немагнитным. В магнитных слоях реализуются в качестве основного состояния магнитные вихри – неоднородности намагниченности, наблюдаемые в ферромагнитных наноматериалах, при этом намагниченность в слое закручена по окружности везде, кроме ‘кора’ – области радиусом в несколько нанометров, в которой намагниченность направлена перпендикулярно плоскости диска. В настоящее время существует множество работ, в которых исследуются двухвихревые СТНО разных диаметров (к примеру: 120, 200, 400 нм) с вихрями, обладающими одинаковой полярностью, с магнитными слоями из пермаллоя и немагнитным из меди (например, [1]).

В данной работе исследована подобная конфигурация двухвихревого СТНО малого диаметра (120 нм), отличающаяся противоположной направленностью намагниченностей сердцевин. Верхний слой нанодиска называется тонким (толщина 4 нм), нижний слой называется толстым (толщина 15 нм), между ними немагнитный слой меди (толщина 10 нм). Через данный столбик пропускают спин-поляризованный электрический ток, который воздействует на вихри, приводя их в определенные виды движения. При достижении некоторых значений силы тока, называемых критическими, тип движения вихря может измениться – происходит динамическое переключение. Исследования нашей конфигурации проводились численными методами при помощи пакета программ для микромагнитного моделирования SpinPM. В итоге исследований были найдены виды движения вихрей, критические значения тока, а также определены зависимости частоты и радиусов орбит стационарных колебаний от силы спин-поляризованного тока. Проведено сравнение с результатами для геометрически идентичной системы, отличающейся одинаковым направлением намагниченности в слоях, взятыми из работы

[2]. Было обнаружено, что антипараллельная конфигурация требует меньшего значения силы тока для активации стационарных колебаний.

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.

2. Ekomasov A.E., Stepanov S.V., Zvezdin K.A., Ekomasov E.G., Influence of perpendicular magnetic field and polarized current on the dynamics of coupled magnetic vortices in a thin nanocolumnar trilayer conducting structure, Phys. Metals Metallogr. 118, 328 (2017). DOI: 10.1134/S0031918X17020028.

© Фасхутдинов Р.А., Кудашев В.С.,
Екомасов Е.Г., 2025

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

УДК 538.911

Хабибуллина А.А.,

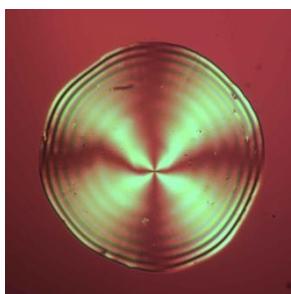
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

Науч. рук.: Хазимуллин М.В., к.ф.-м.н., с.н.с. ИФМК УФИЦ РАН;
Кудрейко А.А., д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

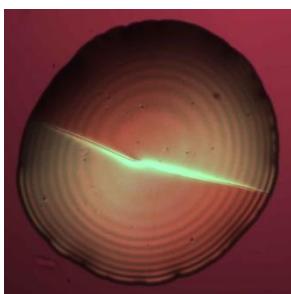
ОРИЕНТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ АНИЗОТРОПНЫХ КАПЕЛЬ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Жидкие кристаллы (ЖК) представляют собой перспективные материалы для создания «умных» устройств и биосенсоров благодаря их высокой чувствительности к изменениям на границе, что обусловлено дальним ориентационным порядком жидких кристаллов [1]. Даже небольшие изменения граничных условий могут приводить к заметным и легко детектируемым структурным переходам в жидких кристаллах.

В данной работе исследовались ориентационные структуры в жидкокристаллических каплях, осажденных на фоточувствительную поверхность. Наблюдаемые структурные изменения в ЖК-каплях (рис. 1) демонстрируют высокую чувствительность к свойствам таких поверхностей, что открывает перспективы использования таких систем в качестве «умных» материалов.



(а)



(б)

Рис. 1. Микроскопические изображения капли ЖК 5СВ
на (а) необлученной поверхности азокрасителя и (б) на облученной
линейно-поляризованным УФ светом

Фоточувствительный азокраситель SD1 (максимум поглощения - 390 нм) обладает способностью к фотоизомеризации и вращательной диффузии [2]. Воздействие линейно-поляризованного света УФ света на тонкую пленку SD1 приводит к анизотропному распределению

ориентации молекул красителя. Использование таких пленок в качестве ориентирующих слоев обеспечивает однородную планарную ориентацию в плоских жидкокристаллических слоях. При обратной фотоизомеризации с использованием неполяризованного УФ света возможна перезапись ориентационных состояний ЖК с высокой циклической стабильностью.

При осаждении жидкого кристалла 4-циано-4'-пентилбифенила (5CB) на стеклянную подложку с нанесенным тонким слоем SD1 формируются капли с небольшим контактным углом в интервале от 8° до 13°. Наблюдения в поляризационный микроскоп показали, что на необлученных поверхностях возникает радиально-симметричная ориентационная структура с точечным топологическим дефектом в центре капли (рис. 1 (а)). На облученных подложках радиальная симметрия нарушается и появляется линейный топологический дефект — диаметральная дисклиниация (рис. 1 (б)). Переход между структурами определяется временем облучения подложек УФ светом.

Причиной появления топологических дефектов является несовместимость граничных условий на границе с планарно-ориентирующей подложкой и на границе с воздухом, где ЖК ориентируется по нормали к поверхности. Радиально-симметричная структура с точечным дефектом свидетельствует о вырожденной планарной ориентации на необлученных подложках. Облучение подложек приводит к снятию вырождения планарной ориентации и структурному переходу с изменением заряда топологического дефекта.

Литература

1. Kudreyko A., Chigrinov V. Optical Biosensing of Polarized Light // Crystals – 2023. – Т. 13. – №. 12. – С. 1680.
2. Yip, W.C., Prudnikova, E.K., Kozenkov, V.M., Chigrinov, V.G., Kwok, H.S., Akiyama, H., Fukuda, M., Takada, H., Takatsu, H. Azo Dye Materials for the Alignment of Liquid Crystal // SID Symposium Digest of Technical Papers – 2001. – Т. 32. – № 1. – С.1170. – 1173.

© Хабибуллина А.А., Хазимуллин М.В.,
Кудрейко А.А., 2025

УДК 539.3

Сугоняко И.С.,
асп. 1 к. УГНТУ, г. Уфа;
Бабичева Р.И.,
к.ф-м.н., науч. сотр. ИФМК УФИЦ РАН, г. Уфа
Науч. рук.: Дмитриев С.В.,
д.ф.-м.н., проф. ОТСК УГНТУ; зав. лаб. ИФМК УФИЦ РАН, г. Уфа

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ В АЛЮМИНИИ ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Электропластический эффект (ЭПЭ) был экспериментально открыт О.А. Троицким в 1969 г [1]. ЭПЭ заключается в повышении пластичности и снижении предела текучести материала при воздействии импульсных токов высокой плотности. Актуальность исследования ЭПЭ заключается в возможности применения данного метода для повышения энергоэффективности методов обработки давлением, например, прокатки, волочения, штамповки и т.д. Существуют несколько теорий объясняющих действие ЭПЭ, основные из которых – теория неравномерного джоулева нагрева и теория электронного ветра. Согласно теории электронного ветра, поток движущихся электронов с некоторой силой действует на дислокации, повышая их подвижность и, соответственно, и пластичность материала. По теории неравномерного нагрева локальный джоулевый нагрев происходит преимущественно на дефектах решетки, таких как дислокации. Далее тепло передается от дислокации в бездефектную структуру за счет теплопроводности.

Для изучения ЭПЭ были проведены эксперименты на алюминиевых и медных проволоках [2]. Однако для оценки влияния джоулева нагрева на процесс движения дислокаций при ЭПЭ потребовалось использовать метод молекулярной динамики.

Построили расчетную ячейку монокристалла алюминия с параметром решетки 4,04 Å. При выборе размера расчетной ячейки ориентировались на то, чтобы ее высота была втрое больше ширины, т.к. при таком соотношении размеров дислокации разных знаков практически не взаимодействуют друг с другом [3]. При моделировании в LAMMPS движения краевых дислокаций при различных температурах и напряжениях сдвига использовали потенциал межчастичного взаимодействия [4].

На рис.1 представлено положение краевой дислокации при 400 К и сдвиге на 1 вектор Бюргерса в моменты времени 0 и 2 пкс. Подобные эксперименты были проделаны для нескольких температур.

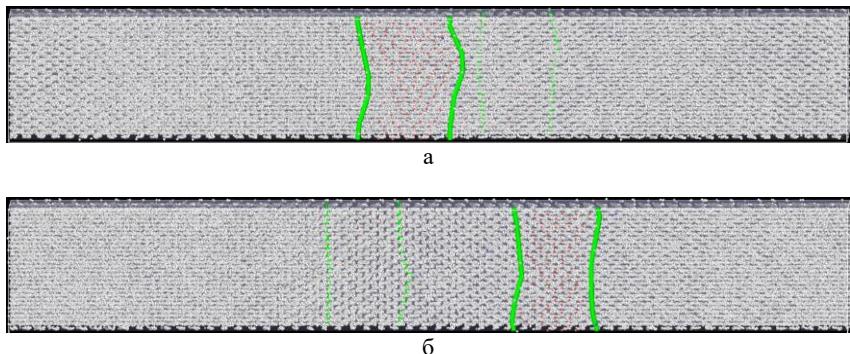


Рис.1. Положение расщепленной краевой дислокации в алюминии при температуре 400 К: а – при 0 пс, б – при 2 пс

Результаты моделирования будут использованы при интерпретации экспериментальных результатов, полученных при изучении электропластического эффекта на алюминиевой проволоке.

Литература

1. Troitsky, O.A. Electromechanical effect in metals // JETP Letters. 1969. v. 1. Pp. 18–22.
2. Comparison of the effect of electroplasticity in copper and aluminum / A.Y. Morkina, D.V. Tarov, G.R. Khalikova [et al.] // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. 2024. v. 22, № 4. Pp. 615–632.
- 3 Interaction of edge dislocations with voids in tungsten / A. Kazakov, R. I. Babicheva, A. Zinovev // Tungsten. 2024. v. 6, № 3. Pp. 633 – 646.
4. Liu, X.-Y., Ercolessi, F., Adams, J.B. Aluminium interatomic potential from density functional theory calculations with improved stacking fault energy // Modell. Simul. Mater. Sci. Eng. 2004. № 12. P. 665.

© Сугоняко И.С., Бабичева Р.И.,
Дмитриев С.В., 2025

УДК 539.3

Рожнова Е.А., маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Сафина Л.Р., асп. 3 г. об. ИПСМ РАН, г. Уфа;
Крылова К.А., к.ф.-м.н., с.н.с. ИПСМ РАН, г. Уфа
Науч. рук.: Баймова Ю.А.,
д.ф.-м.н., проф. РАН, зав. лаб. 11 ИПСМ РАН, г. Уфа

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ ГРАФЕН/МЕДЬ НА ПРОЧНОСТЬ И ТВЕРДОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛА МЕДИ

Композиты на основе графена обладают уникальными свойствами, что делает их перспективными материалами для повышения прочности металлических поверхностей в качестве защитных и упрочняющих покрытий. В данной работе методом молекулярной динамики (МД) исследуется прочность и твердость поверхности Cu, покрытой композитным нанопокрытием графен/Cu.

Для исследования выбран монокристалл Cu, покрытый композитным нанопокрытием графен/Cu толщиной 2,4 нм. Механические свойства структуры оцениваются в процессе одноосного растяжения при 300 К. Оценка твердости Cu с композитным покрытием осуществлялась методом Оливера-Фарра при 10 К. Для описания взаимодействия атомов C-C, Cu-C, Cu-Cu используются потенциалы AIREBO, Леннарда-Джонса и EAM соответственно. Параметры потенциалов были выбраны из работы [1]. Численные эксперименты выполняются в свободно распространяемом пакете МД моделирования LAMMPS.

Установлено, что нанесение композитного покрытия толщиной 2,4 нм повышает предел прочности на растяжение поверхности меди более чем в 2 раза. Разрушение Cu с композитным покрытием при одноосном растяжении начинается с разрушения покрытия. Твердость поверхности меди с покрытием возрастает на 6%. В результате показано, что композитное графен/Cu покрытие является перспективным упрочняющим и защитным материалом для металлических поверхностей ответственного назначения.

Литература

1. Safina, L.R. et al. Interatomic potentials for graphene reinforced metal composites: Optimal choice // Comput. Phys. Commun., 2024, v. 301, pp. 109235.

© Рожнова Е.А., Сафина Л.Р.,
Крылова К.А., Баймова Ю.А., 2025

Харунов А.А., маг. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Ишембетов Р.Х., к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Балапанов М.Х., д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ СПЛАВОВ $K_{0.01}Cu_{1.94}S$, $K_{0.02}Cu_{1.94}S$, $K_{0.03}Cu_{1.94}S$

В последние годы к сульфидам меди наблюдается повышенный интерес в связи с перспективностью их применения в термоэлектрических устройствах [1-3]. Допирорование подходящими добавками остается действенным способом повышения полезных характеристик термоэлектрических материалов [4]. Так, введение примеси приводит к снижению теплопроводности k , что повышает безразмерную термоэлектрическую эффективность материала $ZT = \alpha^2\sigma T/k$ [5]. При этом важно, чтобы легирование не привело к снижению проводимости σ и коэффициента термо-э.д.с. α .

В данной работе были получены и исследованы сульфиды меди состава $K_xCu_{1.94}S$ ($x=0.01, 0.02, 0.03$). Рентгенофазовый анализ показал, что образцы при $T=300$ К являются сплавами на базе моноклинного халькоцита Cu_2S с примесями джарлеита $Cu_{1.96}S$ (10-12 %) и дигенита $Cu_{1.80}S$. Также на рентгенограммах имеются слабые линии оксида меди Cu_2O . Вычисленные из полуширины рентгеновских линий размеры частиц синтезированного порошка лежат в интервале от 20 – 180 нм [5].

Результаты измерений приведены на рис. 1. Температурные зависимости теплопроводности исследованных составов имеют сложный характер, обусловленный фазовыми переходами (ФП). Для всех образцов характерны минимумы около 90-110 °C при переходе составов из моноклинной γ -фазы Cu_2S в гексагональную β -фазу. Наиболее ровную температурную зависимость выше 110 °C имеет образец $K_{0.02}Cu_{1.94}S$. Теплопроводность образцов $K_{0.01}Cu_{1.94}S$ и $K_{0.03}Cu_{1.94}S$ резко снижается в интервале 500-600 К. Для состава $K_{0.01}Cu_{1.94}S$ зафиксирована очень низкая теплопроводность 0.1 Вт/м·К при температурах 620 и 660 К.

Легирование калием привело к сильному снижению проводимости сульфида меди $Cu_{1.96}S$ – до 2 Ом⁻¹см⁻¹, в то же время значительно повысив коэффициент термо-э.д.с. – до 2 мВ/К [7]. При 620 К в $K_{0.01}Cu_{1.94}S$ получили максимум термоэлектрической мощности образца $P=\alpha^2\sigma$ в 8.1 мкВт·м⁻¹К⁻² и при $k=0.53$ Вт/м·К достигли высокого значения $ZT = \alpha^2\sigma T/k = 0.95$. При значении $k=0.10$ Вт/м·К термоэлектрическая эффективность ZT в $K_{0.01}Cu_{1.94}S$ может быть значительно выше 0.95.

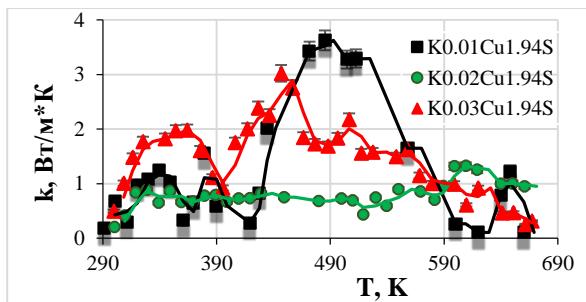


Рис. 1. Температурные зависимости теплопроводности $K_{0.01}Cu_{1.94}$, $K_{0.02}Cu_{1.94}S$, $K_{0.03}Cu_{1.94}S$

Литература

1. Li. X. et al. Introducing potassium into copper sulfide for the enhancement of thermoelectric properties // J. Mater. Chem. A. 2013. V.1. P. 13721- 13726.
2. Kubanova M.M. et al. Some Thermoelectric Phenomena in Copper Chalcogenides Replaced by Lithium and Sodium Alkaline Metals. // Nanomaterials. 2021. V.11. P. 2238 – 2286.
3. Jaldurgam F.F. et al. Low-toxic, earth-abundant nanostructured materials for thermoelectric applications // Nanomaterials. 2021. V. 11. P. 895.
4. Basit A. et al. Recent advances, challenges, and perspective of copper-based liquid-like thermoelectric chalcogenides: A review. *EcoMat.* 2023, 5, e12391.
5. Kubanova M.M. et al. Thermal conductivity of new nanocomposite superionic semiconductors $K_{0.01}Cu_{1.96}S$, $K_{0.02}Cu_{1.95}S$, $K_{0.03}Cu_{1.94}S$, $K_{0.04}Cu_{1.93}S$, $K_{0.05}Cu_{1.94}S$ // Euras. J. Phys. and Funct. Mater., 2023. V. 7 (3). P. 197-206.
6. Бекмұханбетов Д.С. Электронная проводимость нанокристаллитных сплавов халькогенидов меди $K_{0.01}Cu_{1.94}S$. В книге: Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. Материалы IX Межрег. школы-конф. Отв. редактор Ф.К. Закирьянов. Уфа, 2023. С. 27.
7. Аккубеков Ш.А. Температурная зависимость электронной проводимости и коэффициента электронной термо-Э.Д.С. нанокомпозитного сплава $K_{0.01}Cu_{1.96}S$. В книге: Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. Материалы X Межрег. школы-конф. Отв. редактор Ф.К. Закирьянов. Уфа, 2024. С. 48-49.

© Харунов А.А., Ишембетов Р.Х.,
Балапанов М.Х., 2025

Кирилюк К.К.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Маширов А.В.,

к.ф.-м.н., с.н.с. лаб. физики магнитных явлений ИРЭ РАН

Науч. рук.: Мусабиров И.И.,
к.ф.-м.н., с.н.с. ИПСМ РАН, г. Уфа

РАЗРАБОТКА РЕЖИМА КОМПАКТИРОВАНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ DyAl₂ И ПОРОШКА МЕДИ

Интерметаллидное соединение DyAl₂ представляет интерес для технологий криомагнитного охлаждения. Магнитное фазовое превращение 2-го рода в области 60 К обуславливает наличие магнитокалорического эффекта [1]. Однако высокая хрупкость ограничивает практическое применение. Для решения задачи можно рассмотреть модификацию структуры, например, введение металлического связующего — меди, которая придаёт материалу пластичность, улучшает теплоотвод и обеспечивает условия для получения композита с комплексом улучшенных свойств.

Для компактирования использовались частицы DyAl₂ размером порядка 100 μm , полученные ручным размолом. В качестве матричного материала использован мелкодисперсный порошок меди. Смесь подвергалась прессованию с контролем давления и температуры. Исследовалось влияние давления на формирование структуры, фазовый состав и взаимодействие компонентов.

Установлено, что при температуре спекания 800 °C в течение 30 минут при давлении 33 МПа достигается плотное сращивание компонентов. Реакционная диффузия между DyAl₂ и медью минимальна. Медь остаётся преимущественно в свободном состоянии, формируя армирующую матрицу.

Разработанный режим обеспечивает получение композита с равномерным распределением фаз и структурной целостностью, что открывает перспективы для дальнейшего изучения таких композитов в контексте создания новых функциональных материалов с магнитными или термостойкими свойствами.

Литература

1. Kuznetsov, A.S., Mashirov, A.V., Musabirov, I.I., et al. Quasi-isothermal magnetocaloric effect in the DyAl₂ alloy in magnetic field up to 14 T // *J. Magn. Magn. Mater.*, 2024, v. 612, 172612.

© Кирилюк К.К., Маширов А.В.,
Мусабиров И.И., 2025

Казакбаев А.Р.,
 маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Альмухаметов Р.Ф.,
 д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
 Давлетшина А.Д.,
 к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СОЕДИНЕНИЯ Cu_{1.5}Na_{0.5} S

Сульфиды меди и их сплавы представляют практический интерес как перспективные материалы для термоэлектрических преобразователей, источников тока, солнечных элементов, оптических устройств и других устройств. Интерес к сульфидам меди в качестве термоэлектрических материалов связан с их высокой термоэлектрической добротностью. Несмотря на большое количество публикаций по электродным материалам, мало работ, посвященных синтезу тройных соединений на основе сульфидов меди Na-Cu-S и изучению их свойств. Для целенаправленного поиска новых электродных материалов с улучшенными свойствами необходимо изучение процессов, протекающих в структуре этих материалов. В данной работе синтезировано новое соединение Cu_{1.5}Na_{0.5} S методом твердофазных реакций [1,2]. Нами показано, что исследуемое соединение имеет ГЦК-структуру. Размеры областей когерентного рассеяния (ОКР), определенные по уширению рентгеновских линий, варьируют в интервале от ~25 нм при комнатной температуре до ~110 нм при 500°C. Из-за малости ОКР дифрактограммы имеют широкие линии.

В работе для расчетов использовали приложение CaRIn Crystallography. Расчет интенсивности линий проводили по формуле:

$$I = \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 |F|^2 \left(\frac{1 + \cos^2 2\theta}{\sin^2 \theta \cos \theta} \right) P e^{-2B \left(\frac{\sin \theta}{\lambda} \right)^2}$$

Здесь $F = \sum_{n=1}^N f_n f_0 e^{2\pi i(hx_n + ky_n + lz_n)}$ – структурная амплитуда;

h, k, l – индексы плоскостей; x_n, y_n, z_n -координаты n-го атома базиса; f_n - атомный множитель рассеяния; f_0 -заселенность кристаллографических позиций;

поляризационный фактор $P = \frac{1 + \cos^2(2\theta)}{2}$;

$\left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2$ - множитель Томсона

$f_L = \frac{1}{4\sin^2 \theta \cos \theta}$ - фактор Лоренца

$f_T = e^{-2B\left(\frac{\sin \theta}{\lambda}\right)^2}$ - температурный фактор, где

$B = \frac{8}{3} \pi^2 \langle U^2 \rangle$, $\langle U^2 \rangle$ - среднеквадратичное тепловое отклонение атомов из положения равновесия;

$f_A = \frac{1}{2\mu}$ - фактор поглощения; μ - линейный коэффициент поглощения.

В результате исследований нами установлено, что в $\text{Cu}_{1.5}\text{Na}_{0.5}$ S атомы серы образуют ГЦК-структуру. Тетраэдрические позиции, образованные атомами серы в вершинах и в центре граней куба, занимают атомы меди и натрия. На дифрактограмме присутствует сильный фон. Мы полагаем, что это связано с частичным разупорядочением катионов меди и натрия по доступным кристаллографическим позициям ГЦК решетки. Данный вопрос изучается.

Литература

1. R.F. Al'mukhametov, A.D. Davletshina, V.V. Astanin, B.M. Akhmetgaliev// Inorg. Mater., 2024, V. 60, №. 10, pp. 1172–1179.
doi: 10.1134/S0020168524701504.
2. Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д., Астанин В.В., Ахметгалиев Б.М.// Неорг. Матер., 2024, Т. 60, № 6, С.673-680.
DOI: 10.31857/S0002337X24060031.

© Казакбаев А.Р., Альмухаметов Р.Ф.,
Давлетшина А.Д., 2025

Тулякаев М.И.,
 маг. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
 Ишембетов Р.Х.,
 к.ф.-м.н., доц. ФТИ, г. Уфа;
 Балапанов М.Х.,
 д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО И ИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМО-Э.Д.С. НАНОКОМПОЗИТНЫХ СПЛАВОВ $K_xCu_{1.94}S$ ($x=0.01, 0.02, 0.03$)

В последнее время к халькогенидам меди 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 были получены и исследованы нанокомпозитные сульфиды меди состава $K_xCu_{1.94}S$ ($x=0.01, 0.02, 0.03$). Образцы при $T=300$ К являются сплавами на базе халькоцита Cu_2S с примесями джарлеита $Cu_{1.96}S$, дигенита $Cu_{1.80}S$ и оксида меди Cu_2O . Оценка размеров частиц синтезированного порошка по полуширине рентгеновских линий дает интервал 20 – 180 нм [3]. Для измерений термо-э.д.с. использовался метод К. Вагнера [4]. Градиент температуры составлял 10 К/см. Для измерений электронной термо-э.д.с. использовали электронные зонды (хромелевые ветви термопар), ионную термо-э.д.с. измеряли составными ионными зондами $Cu/CuBr$.

Результаты измерений приведены на рис. 1.

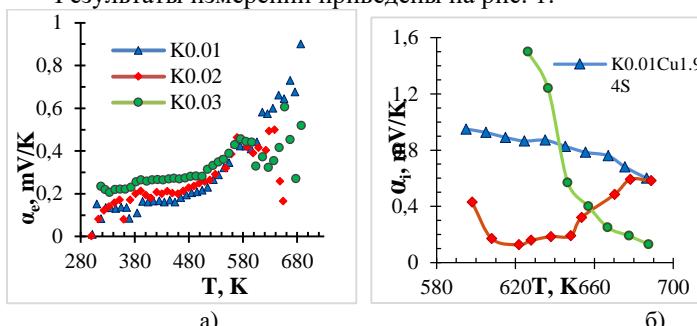


Рис. 1. Температурные зависимости коэффициента электронной термо-э.д.с. (а) и коэффициента ионной термо-э.д.с. (б) нанокомпозитных образцов $K_{0.01}Cu_{1.94}S$, $K_{0.02}Cu_{1.94}S$, $K_{0.03}Cu_{1.94}S$

Легирование калием привело к сильному повышению коэффициента электронной термо-э.д.с. α_e . В работе [5] ранее были измерены

температурные зависимости α_e в интервале 325 – 575 К для прессованного композита из нанополосок $\text{KCu}_{7-x}\text{S}_4$. Их результат примерно соответствует нашему результату для $\text{K}_{0.01}\text{Cu}_{1.94}\text{S}$ при соответствующих температурах, как по ходу кривой, так и по значениям α_e . Для наших образцов $\text{K}_{0.02}\text{Cu}_{1.94}\text{S}$, $\text{K}_{0.03}\text{Cu}_{1.94}\text{S}$ до 550 К значения α_e примерно в два раза выше. Кроме того, для $\text{K}_{0.01}\text{Cu}_{1.94}\text{S}$ мы обнаружили сильный рост α_e до 0.9 мВ/К в интервале 480 - 680 К.

Легирование калием приводит к снижению проводимости сульфида меди $\text{Cu}_{1.94}\text{S}$ – до 2 - 10 Ом⁻¹см⁻¹ [6], однако термо-э.д.с. влияет сильнее на термоэлектрическую эффективность ZT материала. В работе [7] при 620 К для близкого по составу образца $\text{K}_{0.01}\text{Cu}_{1.96}\text{S}$ получили теплопроводность $k=0.53$ Вт/м·К и достигли высокого значения $ZT = \alpha^2\sigma T/k = 0.95$. По нашему мнению, $\text{K}_{0.01}\text{Cu}_{1.94}\text{S}$ может превзойти этот результат, так как его теплопроводность k достигает 0.10 Вт/м·К согласно неопубликованным данным Харунова А.А.

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. Kubanova M.M. et al. Thermal conductivity of new nanocomposite superionic semiconductors $\text{K}_{0.01}\text{Cu}_{1.96}\text{S}$, $\text{K}_{0.02}\text{Cu}_{1.95}\text{S}$, $\text{K}_{0.03}\text{Cu}_{1.94}\text{S}$, $\text{K}_{0.04}\text{Cu}_{1.93}\text{S}$, $\text{K}_{0.05}\text{Cu}_{1.94}\text{S}$ // *Euras. J. Phys. and Funct. Mater.*, 2023. V. 7 (3). P. 197-206.
4. M. Kubanova, M. Balapanov et al. Thermoelectric properties of superionic $\text{Li}_{0.11}\text{Cu}_{1.89}\text{S}$ compound // *HELIYON*, 2024. V. 10, N.20. e39618.
5. Li. X. et al. Introducing potassium into copper sulfide for the enhancement of thermoelectric properties // *J. Mater. Chem. A*. 2013. V.1. P. 13721- 13726.
6. Бекмуханбетов Д.С. Электронная проводимость нанокристаллитных сплавов халькогенидов меди $\text{K}_{0.01}\text{Cu}_{1.94}\text{S}$. В книге: Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. Материалы IX Межрег. школы-конф. Отв. редактор Ф.К. Закирьянов. Уфа, 2023. С. 27.
7. Аккубеков Ш.А. Температурная зависимость электронной проводимости и коэффициента электронной термо-э.д.с. нанокомпозитного сплава $\text{K}_{0.01}\text{Cu}_{1.96}\text{S}$. В книге: Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. Материалы X Межрег. школы-конф. Отв. редактор Ф.К. Закирьянов. Уфа, 2024. С. 48-49.

Ямилов А.Р.,
 маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Балапанов М.Х.,
 д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

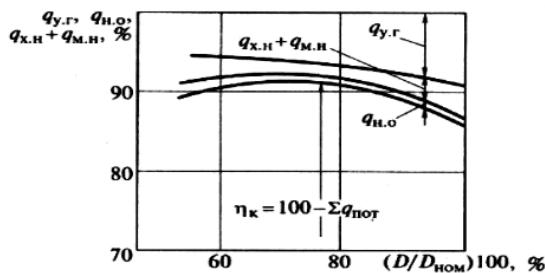
РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ КОТЛА И УСТАНОВКИ

Производительность котельного агрегата напрямую коррелирует с уровнем его нагрузки. Для точного определения этой взаимосвязи требуется комплексный учет всех видов эксплуатационных потерь, величина которых изменяется пропорционально текущей нагрузке. Пик эффективности оборудования достигается при конкретном уровне производительности, что определяет данный режим как оптимальный с точки зрения экономии энергоресурсов.

Для расчета суммарных тепловых потерь может быть использовано уравнение

$$\Sigma q_{\text{пот}} = q_{y,g} + q_{x,h} + q_{m,h} + q_{n,o}, \quad (1)$$

в котором $q_{y,g}$, $q_{x,h}$, $q_{m,h}$, $q_{n,o}$, $\Sigma q_{\text{пот}}$ — потери теплоты с уходящими газами, от химической неполноты сгорания, от механической неполноты сгорания, от наружного охлаждения соответственно [1].



Rис. 1. Графики возможных потерь

Вычисления иллюстрированы графиками на рис. 1.

Литература

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод)** / под ред. Н.В. Кузнецова. – М.: Энергия, 1973. – С. 20-22.

УДК 538.9

Полуденная О.А.,
студ. 1 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Гирфанова Ф.М.,
к. ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Исследование поверхностной структуры жидких кристаллов является ключевой задачей для фундаментальной науки, инновационных и прикладных разработок. Выбор определенного метода зависит от поставленной цели и задачи исследования, типа жидких кристаллов.

Наиболее применяемые методы исследования поверхностной структуры жидких кристаллов в наше время [1]:

-тепловая оптическая микроскопия - образец материала помещают между двумя скрещёнными поляризаторами, после чего нагревают и охлаждают. Кристаллическая и жидкокристаллическая фазы равномерно поляризуют свет, что способствует изменению яркости и цветовых градиентов;

-дифференциальная сканирующая калориметрия (DSC);

-импеданс-спектроскопия;

-поляризационная инфракрасная (ИК) спектроскопия

Ключевыми свойствами ЖК являются: отсутствие жесткой кристаллической решетки; жидкие кристаллы могут принимать форму сосуда или любой другой ёмкости, в которую они помещены; способность реализовывать более сложный ориентационный порядок молекул, в отличие от кристаллов. Такие кристаллы обладают эластичностью и флексоэлектрическим эффектом, т.е. возникновением электрической поляризации в телах при их изгибе или любом другом виде неоднородной деформации. Изменение ориентации молекул под воздействием электрических полей открывает возможность их применения в промышленности.

Литература

1. Коншина Е.А., Щербинин Д.П., Федоров М.А. Практикум по физике и оптике жидких кристаллов и композитов на их основе. Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 60 с.

© Полуденная О.А., Гирфанова Ф.М., 2025

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА И БИОФИЗИКА»

УДК 57.036

Кагарманова А.О.,

студ. 2 к. ИРО ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, г. Уфа

Науч. рук.: Кудрейко А.А.,

д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ β 2-МИКРОГЛОБУЛИНА С ГИДРОФОБНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Неправильное сворачивание и агрегация амилоидогенных белков лежат в основе ряда дегенеративных заболеваний [1]. Молекулярно-динамическое моделирование способствует детальному изучению этих процессов на атомном уровне, что необходимо для разработки эффективных терапевтических методов [2].

В настоящей работе исследуются процессы неправильного складывания бета-2-микроглобулина с помощью методов молекулярной динамики. Для оценки взаимодействия структуры с поверхностями гидрофобного куба (рис. 1 а), выполнено два 100-наносекундных моделирования с использованием программы NAMD.

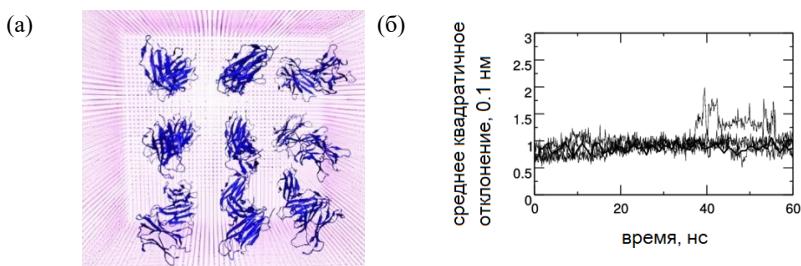


Рис. 1. (а) Исходная система с 27 идентичными цепочками β 2m (синий цвет) в молельном кубе, состоящим из неполярных атомов (пурпурный цвет); (б) среднеквадратичные отклонения от кристаллографической структуры в зависимости от времени моделирования для четырёх изолированных белков

На рис. 1 б. показано среднеквадратичное отклонение от исходной конформации в зависимости от времени для четырёх белков, которые оставались изолированными в течение первых 60 нс при наложении элементов вторичной структуры исходной структуры. Временное увеличение среднеквадратичного отклонения, показанного на одной из четырех траекторий, обусловлено колебаниями в цепи C' водородных связей. Анализ взаимодействия β 2-микроглобулина с модельным

гидрофобным кубом, состоящим из 41508 гидрофобных атомов показывает, что белки адсорбируются на стенах куба с минимальными искажениями их локальной геометрии. Структура и динамические характеристики при этом сохраняются. Ван-дер-ваальсовы взаимодействия преобладают среди факторов, влияющих на свободную энергию сцепления.

Адсорбция β 2-микроглобулина на гидрофобной поверхности приводит к изменениям в его конформационной динамике, что может иметь значение для понимания механизмов агрегации белков [3]. Согласно результатам моделирования, белок демонстрирует повышенное взаимодействие в участках, близких к гидрофобной поверхности, что может вызывать перераспределение зарядов и изменение локальной полярности. Результатом таких изменений является нарушение стабильности структуры белка.

Полученные данные о среднеквадратичном отклонении показывают, что адсорбция не только удерживает белок на поверхности, но и снижает вероятность его неправильного складывания и агрегации.

Литература

1. Michaels T.C. Amyloid formation as a protein phase transition / T.C. Michaels, D. Qian, A. Šarić, M. Vendruscolo, S. Linse, T.P. Knowles // Nature Reviews Physics. – 2023. – Т. 5, № 7. – С. 379 – 397.
2. Ando, Y. Diagnosis and therapeutic approaches to transthyretin amyloidosis / Y. Ando, M. Ueda // Current medicinal chemistry. – 2012. – Т. 19, № 15. – С. 2312 – 2323.
3. Kelly, J.W. A chemical approach to elucidate tin mechanism of transthyretin and β -protein amyloid fibril formation / J.W. Kelly, P.T. Lansbury // Amyloid. – 1994. – Т. 1, № 3. – С. 186 – 205.

© Кагарманова А.О., Кудрейко А.А., 2025

Хамзина К.Р.,
студ. 1 к. БГМУ, г. Уфа;
Гилязова Л.Ф.,
студ. 1 к. БГМУ, г. Уфа
Науч. рук: Зелеев М.Х.,
к.ф.-м.н., доц. БГМУ, г. Уфа

ПЕРСПЕКТИВЫ РАМАН-СПЕКТРОСКОПИИ В УРОЛОГИИ: МИНИАТЮРИЗАЦИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ РАМАН- СПЕКТРОСКОПИИ С ЭНДОСКОПАМИ

В последние десятилетия эндоскопические методы стали основой диагностики и лечения в урологии, которые играют ключевую роль в поддержании здоровья мужчин, особенно в контексте профилактики и лечения заболеваний, связанных с мужским здоровьем, которые могут существенно влиять на качество жизни и общее самочувствие. Однако визуальный осмотр слизистых оболочек, даже с высокой разрешающей способностью, не всегда даёт полную информацию о патологических изменениях. В связи с этим возрастает интерес к методам, способным дать молекулярную информацию прямо в процессе эндоскопии, а именно одной из перспектив является интеграция миниатюрных Раман-спектроскопических датчиков с эндоскопическим оборудованием. Основу метода составляет эффект неупругого рассеяния света (эффект Рамана), при котором энергия фотона изменяется в результате взаимодействия с колебательными уровнями молекул:

$$\Delta E = h\nu_0 - h\nu_s = h(\nu_0 - \nu_s)$$

где ν_0 — частота падающего излучения, ν_s — частота рассеянного света, ΔE — энергия вибрационного перехода.



Рис. 1. Аппарат Раман-спектроскопии с эндоскопической системой

Раман-спектроскопия основана на эффекте неупругого рассеяния света при взаимодействии лазерного извлечения с молекулами. Полученный спектр отражает химическую структуру исследуемого вещества и позволяет: идентифицировать ткани и соединения; отличать злокачественные и доброкачественные образования; определять состав твёрдых образований (например, камней в мочевом пузыре). Эти свойства делают метод ценным для экспресс-ненинвазивной диагностики непосредственно в теле пациента. Традиционные Рамановские спектрометры громоздки и используются преимущественно в лабораторных условиях. Однако развитие, оптоволоконных технологий и микрооптики позволило создать (в полевых условиях) портативные и даже зондовые версии спектроскопов, которые могут быть встроены в эндоскоп.

Механизм работы: Опираясь на обследования с помощью Раман-спектроскопии и эндоскопии, появляется возможность внедрить новый вид обследования с применением перечисленных аппаратов-это встроенный в эндоскоп Раман-зонд, который будет направлять лазерный луч на интересующую область (например, на подозрительный участок слизистой). Отражённый сигнал будет улавливаться и анализироваться встроенным спектрометром или внешним модулем. В результате врач сможет в реальном времени: идентифицировать инфекционные образования; мгновенно определить состав камней; дифференцировать опухоли без биопсии; идентифицировать участки инфекции или воспаления (особенно в случаях хронического цистита).

Преимущества метода: Экспресс диагностика - без необходимости ожидания гистологии; высокая точность - чувствительность к молекулярным изменениям; минимальная инвазивность - не требует удаления тканей;

Заключение: Миниатюризация и интеграция Раман-спектроскопии с эндоскопами ускорит постановку диагноза и повысит точность лечения, особенно в онкоурологии и инфекционных заболеваниях мочевых путей. С дальнейшим развитием технологий и доступности таких систем Раман-эндоскопия имеет все шансы стать стандартом будущей диагностики.

Литература

1. «Возможности применения гамма-спектроскопии в диагностике рака мочевого пузыря *in-vitro*» Королев В.В., Павлов В.Н., Гильманова Р.Ф., Урманцев М.Ф.
2. «Квантово-химические исследования взаимодействия гистамина с клеточным лецитином» Зелеев М.Х., Галеева Р.И., Усманова С.И., Кузнецова М.В., Фахретдинова Д.И., Насибуллин.

© Хамзина К.Р., Гилязова Л.Ф.,
Зелеев М.Х., 2025

Латыпова И.И.,
студ. 1 к. БГМУ, г. Уфа;
Юлдашева С.Ю.,
студ. 1 к. БГМУ, г. Уфа
Науч. рук.: Зелеев М.Х.,
к.ф.-м.н., доц. БГМУ, г. Уфа

ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА МСКТ ПРИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ

Современному врачу необходимы знания диагностического оборудования, позволяющие правильно выбирать метод исследования и последующего лечения [1].

Последние 50 лет мир переживает пандемию сердечно-сосудистых заболеваний. В начале XXI века они оказались причиной около 50% всех летальных исходов в развитых странах и 25% процентов в развивающихся государствах. Сейчас особенно актуально широкое использование неинвазивных методов диагностики поражения коронарных артерий (КА), особенно на раннем этапе развития заболевания.

Высокой диагностической точностью в определении поражения КА обладает компьютерно-томографическая коронарография. Частота применения этого метода для диагностики болезней сердца и сосудов постоянно растет [2].

Последние 20 лет в медицине набирает популярность такое исследование как МСКТ. Не все знают, как расшифровывается название диагностики и зачем её назначают. Расшифровка аббревиатуры означает мультиспиральная или мультирезовая компьютерная томография. Принцип томографа МСКТ основан на применении рентгеновских лучей и двухмерных детекторов, позволяющих максимально точно визуализировать любой орган и обнаружить патологии на самой ранней стадии. Датчики вращаются вокруг тела пациента и позволяют выполнять более двухсот снимков за один круг. С помощью компьютерной программы снимки воспроизводятся в трехмерном изображении, что дает полную картину о состоянии исследуемого органа.



Рис. 1. МСКТ-аппарат [3]

Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) – современная разновидность компьютерного томографа (КТ). Была разработана в 1992 г. Диагностика считается безопасной. Широкие диагностические возможности МСКТ делают незаменимым исследованием при выявлении ряда патологических процессов и определении тактики лечения различных заболеваний. МСКТ применяется в онкологии, кардиологии, сосудистой хирургии, гастроэнтерологии, урологии и других областях медицины.

Коронарография – это малоинвазивное исследование сосудов сердца (см. приложение 2), в ходе которого врач получает рисунок сосудов сердца с помощью введение рентгеноконтрастного вещества. Сегодня данная процедура считается одной из самых информативных в кардиологии в отношении патологии сосудов [4].

Осуществляют МСКТ-коронарографию в специальном кабинете, экранированном от рентгеновских лучей. За пределами этого помещения пациент оставляет все металлические предметы и украшения. Во время процедуры медицинский персонал находится в соседней комнате и общается с пациентом через микрофон вмонтированный в томограф [5].

Всем пациентам проводят кожную аллергическую пробу на переносимость препаратов йода. В случае отрицательного результата проверяют общее состояние больного: пульс, АД, ЭКГ и устанавливают катетер в локтевую вену. Исследование осуществляют в положении пациента лежа на спине на передвижном столе аппарата, который в автоматическом режиме проходит через сканирующий туннель. С помощью автоматического инжектора происходит введение контрастного йодосодержащего вещества, которое окрашивает сосуды на сканах в ярко-белый цвет. Это улучшает их визуализацию, гарантирует четкость изображения. Как правило, никаких неприятных ощущений при этом не появляются, может ощущаться тепло по мере действия контраста, металлический привкус во рту. Специальные датчики фиксируют и передают послойное изображение артерий на компьютер. После обработки результатов формируется объемное трехмерное модель исследуемого органа, которую врач видит на экране томографа. После завершения МСКТ-коронарографии пациент может сразу покинуть клинику. Расшифровкой результатов занимается врач-рентгенолог. Отсутствие патологических изменений свидетельствует о норме. При выявлении любой патологии вопрос о дальнейшем ведение больного решает лечащий врач [6].

Для статистики процедуры рассмотрим Республиканский Кардиологический Центр, здесь МСКТ-коронарография проводится ежедневно, как пациентам, которые находятся на госпитализации, так и амбулаторным пациентам. Ежегодно количество процедур увеличивается.

В проведенном ретроспективным исследовании было показано, что МСКТ-коронарография проводится чаще всего лицам среднего возраста от 40 до 60 лет, независимо от пола. Согласно квартальному отчету КТ кабинета Кардиологического Центра города Уфы было проведено около 7 000 процедур коронарографии за год.

МСКТ-коронарография на сегодняшний момент является наиболее передовой методикой медицинской визуализации среди всех процедур, основанных на использовании рентгеновских лучей.

Литература

1. Физические основы визуализации медицинских изображений: учебное пособие / сост.: С.И. Хажина, В.В. Войтик, А.А. Кудрейко, М.Х. Зелеев, З.Д. Юсупова. – Уфа: Издательство ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, 2021. – 120 с.
2. <https://orto.lv/en/par-ortho-kliniku/>.
3. <https://docdoc.ru/articles/mskt/mskt-chto-eto-za-obsledovanie>.
4. <https://www.krasotaimedicina.ru/articles/diagnostics/msct.html>.
5. <https://medsi.ru/articles/koronarografiya-sosudov-serdtsa-sut-protsedury-pokazaniya-i-protivopokazaniya/>.
6. Журнал радиология и практика 2020 года.

© Латыпова И.И., Юлдашева С.Ю.,
Зелеев М.Х., 2025

Алексеева Д.И.,
студ. 1 к. БГМУ, г. Уфа;
Хузиева А.С.,
студ. 1 к. БГМУ, г. Уфа
Науч. рук.: Зелеев М.Х.,
к.ф.-м.н., доц. БГМУ, г. Уфа

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ МЕТОДОМ ПЦР И КТ НА ПРИМЕРЕ БИРСКОЙ ЦРБ

Коронавирусная инфекция COVID-19, начиная с конца 2019 года, охватила весь мир, вызвав пандемию с беспрецедентными масштабами. Диагностика заболевания играет ключевую роль в своевременном начале лечения и изоляции пациентов для предотвращения дальнейшего распространения инфекции. Наиболее распространёнными методами диагностики являются ПЦР (полимеразная цепная реакция) и компьютерная томография (КТ). Оба метода имеют свои преимущества и ограничения, и выбор подходящего способа диагностики зависит от множества факторов.

Актуальность данного исследования предопределена изменениями, происходящими в современном здравоохранении, в целом, и в системе оказания медицинской помощи, в частности, в диагностике заражения коронавирусной инфекцией.

ПЦР остаётся «золотым стандартом» лабораторной диагностики COVID-19, поскольку позволяет выявить РНК вируса даже при низкой вирусной нагрузке. Однако чувствительность теста зависит от правильности забора материала, времени его транспортировки и стадии заболевания. Ложноотрицательные результаты ПЦР могут вводить в заблуждение как пациентов, так и врачей, особенно в условиях высокой заболеваемости. Именно здесь важную роль играет КТ органов грудной клетки, позволяющая визуализировать характерные для COVID-19 поражения лёгких даже при отрицательном ПЦР [1].

Согласно китайским исследованиям, в начале пандемии наблюдалось значительное количество пациентов с типичной КТ-картинаю коронавирусной пневмонии, но с отрицательным ПЦР-тестом. Эти данные легли в основу национальных клинических рекомендаций, в которых КТ признавалась неотъемлемой частью алгоритма диагностики. Анализ клинических случаев показывает, что типичная КТ-картина COVID-19 включает двусторонние участки «матового стекла», консолидации, а также признаки фиброза на поздних стадиях.

Принцип действия ПЦР: Полимеразная цепная реакция с высокой точностью определяет в биологических материалах любые виды чужеродных микробов, включая вирусы, грибки, бактерии. Лабораторному исследованию подвергают пробы сыворотки крови, мочи, слюны и других жидкостей организма, в которых предположительно могут присутствовать патогены.

Суть метода компьютерной томографии: с помощью рентгенологического оборудования, которые совмещаются с компьютерной станцией, получаются данные при сканировании органов человека и впоследствии проводится детальный анализ изображения [2]. При диагностике с помощью КТ получается изображение слоя ткани малой толщины, которые впоследствии обрабатываются в процессе получения с детекторов рентгеновского излучения. Эти слои просвечиваются в разных проекциях [3].

На примере Бирской центральной районной больницы были проанализированы случаи пациентов, обратившихся с жалобами на одышку, лихорадку и слабость. Несмотря на отрицательные ПЦР-тесты, проведённые в первые дни заболевания, КТ выявляла поражения лёгочной ткани, соответствующие вирусной пневмонии. Эти пациенты получали своевременное лечение, что помогало избежать тяжёлых последствий. Такой подход позволил также изолировать потенциально заразных пациентов до получения положительного ПЦР-результата [4].

Важно отметить, что методические рекомендации Минздрава РФ и Центра диагностики и телемедицины акцентируют внимание на комплексном подходе. Решающим фактором для госпитализации и назначения терапии может быть именно КТ-картина, а не лабораторное подтверждение. Это особенно актуально в периоды пиков заболеваемости, когда лаборатории перегружены, а задержки с результатами могут стоить пациенту здоровья.

Таким образом, можно сделать вывод, что КТ играет критическую роль в ранней диагностике COVID-19, особенно в сочетании с клинической оценкой и результатами ПЦР. Своевременное выявление и оценка степени поражения лёгких позволяют не только корректно выбрать тактику лечения, но и предотвратить распространение инфекции среди населения. Использование КТ в качестве первичного метода скрининга в ряде случаев оправдано, особенно у пациентов с типичными симптомами и риском тяжёлого течения болезни.

Выводы, полученные на примере Бирской ЦРБ, подтверждают мировую тенденцию к усилению роли лучевой диагностики при вирусных эпидемиях. Современная медицина требует комплексного подхода, и КТ в тандеме с ПЦР даёт наиболее точную клиническую картину, способствуя эффективной борьбе с пандемией.

Литература

- 1. Неопознанный COVID: больше половины ПЦР-тестов ...**
<https://iz.ru> › Статья › Наука.
2.
<https://www.auntminnie.com/index.aspx?sec=sup&sub=cto&pag=dis&ItemID=129357>.
3. Корб Т.А., Гаврилов П.В., Чернина В.Ю., Блохин И.А.,
Алешина О.О., Мокиенко О.А., Морозов С.П., Гомболевский В.А.
Специфичность компьютерной томографии органов грудной клетки при
пневмонии, ассоциированной с COVID-19: ретроспективное
исследование. *Альманах клинической медицины.* 2021;49(1):1-
10. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2021-49-001>.
4. Синицын В.Е., Тюрин И.Е., Митьков В.В. Временные
согласительные методические рекомендации Российского общества
рентгенологов и радиологов (РОПР) и Российской ассоциации
специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУДМ)
«Методы лучевой диагностики пневмонии при новой коронавирусной
инфекции COVID-19» (версия 2). *Вестник рентгенологии и радиологии.*
2020;101(2):72-89. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2020-101-2-72-89>.

© Алексеева Д.И., Хузиева А.С.,
Зелеев М.Х., 2025

Грицаенко М.С., студ. 1 к. БГМУ, г. Уфа;
Колосова И.А., студ. 1 к. БГМУ, г. Уфа
Науч. рук.: Зелеев М.Х.,
к.ф.-м.н., доц. БГМУ, г. Уфа

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

У ядерной медицины огромный потенциал, многое нераскрытых возможностей и перспектив. Ядерная медицина предполагает применение радиоактивных изотопов, обеспечивает качественную диагностику. С ее помощью можно диагностировать то, что было скрыто в результате применения других методов и инструментов.

Ядерная медицина начала свой старт со сцинтиграфии. В настоящее время исследование получило широкое распространение. Ежегодно его проходят миллионы человек во всем мире. Сцинтиграфия сердца позволяет определить скрытую форму ишемии миокарда. В этом случае можно более корректно выставить показания к коронарографии. Диагностика может дать точный ответ.

Благодаря представленному инструменту можно обнаружить метастазы опухолей в кости на ранней стадии. Если инициировать процесс своевременно, то получится подобрать правильную терапию, а также отсрочить развитие заболевания на несколько лет.

Кроме того, при помощи представленного способа можно легко выявить различные воспалительные заболевания почек, либо опухоли в этом органе. Динамическая сцинтиграфия способна объективно оценить, насколько хорошо система концентрирует, а также выделяет мочу.

Кроме того, ядерная медицина будет полезна и при диагностике различных патологий щитовидной железы. Она помогает на ранней стадии показать наличие узлов, а также воспалительных процессов и злокачественных опухолей.

Сцинтиграфия полезна и актуальна для определения различных заболеваний легких. Она помогает с высокой точностью определить тромбозэмболгию легочной артерии. Также позволяет заметить даже небольшие по размерам тромбы. Проблем с постановкой диагноза не возникнет.

Перечень возможностей далеко не исчерпывающий. Сфера применения ядерной медицины с годами становится только шире. Направление наращивает потенциал [1].

Ядерная медицина ассоциируется главным образом с диагностикой и лечением онкологических заболеваний, однако на самом деле ее применение гораздо шире. Более 50% радионуклидных исследований приходится на кардиологию и неврологию. Как развивать данный раздел медицины, в чем его преимущество и как России достичь полного

технологического суверенитета в этой области, обсудили на стратегической сессии. Экспертами выступили генеральный директор дивизиона «Технологии здоровья» Госкорпорации «Росатом» Игорь Обрубов, генеральный директор Федерального научно-клинического центра медицинской радиологии и онкологии ФМБА России Юрий Удалов, директор Инженерно-физического института биомедицины НИЯУ МИФИ Александр Гармаш и другие [2].

Лаборатории КТ и МРТ

1. Маммограф GE “Senograph Pristina” - более 2200 исследований в год
2. Компьютерный томограф GE “Optima 660” - более 7000 исследований в год
3. Магнитно-резонансный томограф с напряжением 1,5 Тесла GE “Optima 360” - более 3300 исследований в год

Внутриоперационный контроль качества с помощью программного обеспечения Artis Pheno и визуализации слияния

Вместо того, чтобы перемещать пациента в КТ в радиологии, исследование выполняется в гибридной операционной, что приводит к значительной экономии времени и более плавным рабочим процессам. Предоперационная МРТ может быть объединена с помощью программного, чтобы немедленно проверить результат и обеспечить точную визуализацию при проведении оперативных вмешательств с целью:

- 1) Позиционирования конечных стимулирующих электродов/криозондов;
- 2) Точного наведения для биопсии или доставки лекарственных и радиофармпрепараторов;
- 3) Оценки перфузии органов до операции и после операции - визуального подтверждения качества проведенного лечения.

С 2011 года на базе Клиники БГМУ проводится внутритканевая лучевая терапия закрытым источником Йод-125 - брахитерапия для лечения локализованного рака предстательной железы. На сегодняшний день пролечено более 500 пациентов [3].

Литература

1. <https://www.business-gazeta.ru/article/537219>.
2. <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/28154/view>.
3. "Физические основы визуализации медицинских изображений: учебное пособие", Хажина С.И., Войтик В.В., Кудрейко А.А., Зелеев М.Х., Юсупова З.Д., БГМУ 2022 г.

СЕКЦИЯ «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

УДК 620.171.2

Исмаилов А.Р.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Имаев М.Ф.,
д.ф.-м.н., проф. ИПСМ РАН, г. Уфа

АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И МИКРОТВЁРДОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИТА С TiO_2 ПОСЛЕ ОТП

Алюминиевые ММК с TiO_2 (in-situ) исследовали после многопроходной обработки (2–20 проходов). Микроструктура (Tescan Vega) не изменилась, но микротвёрдость (HV, 50 Гс) снизилась с ~80 HV из-за нагрева.

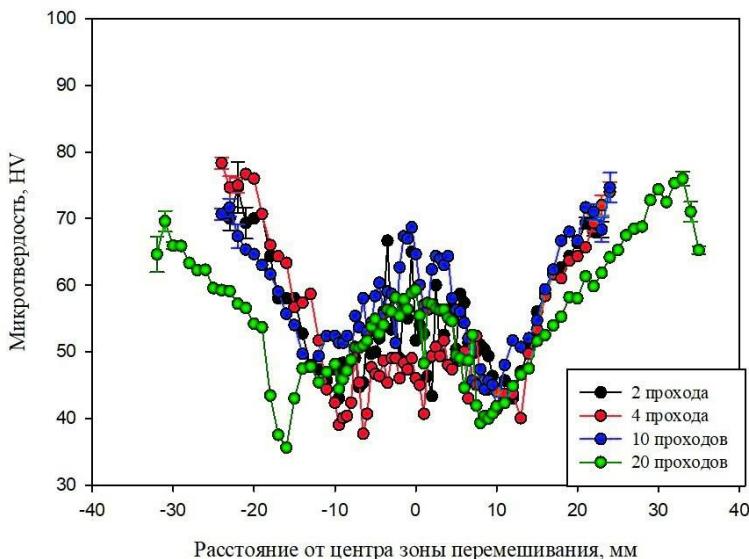


Рис. 1. Распределение микротвердости в зоне ОТП композита $\text{Al}+\text{TiO}_2$

На рис. 1 микротвёрдость растёт при увеличении проходов (4→20). После 2 проходов – разброс (67 HV в зонах с TiO_2 , 43 HV без него), после 4 – выравнивание (38–52 HV). Дальнейшие проходы не меняют структуру (зерно 3–5 мкм). Максимум твёрдости – после 2 и 20 проходов, минимум – после 4.

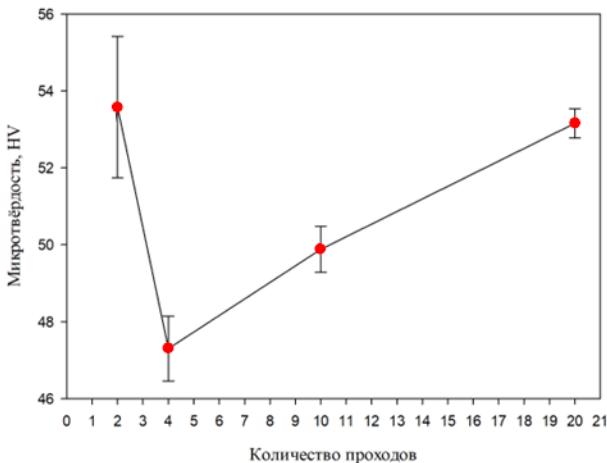


Рис. 2. Зависимость значения микротвёрдости от количества проходов в зоне перемешивания

На рис. 2 продемонстрировано, что исследование показало, что в композите Al+TiO₂ не происходит фазовых изменений, температура плавления соответствует сплаву 6063. Начальная микротвёрдость (~80 HV) снижается при обработке. После 2 проходов наблюдается разброс твёрдости (67 HV в зонах с TiO₂, 43 HV без него), после 4 проходов – выравнивание (38-52 HV). Дальнейшие проходы (до 20) не изменяют микроструктуру (зерно 3-5 мкм), но снижают плотность TiO₂.

Литература

1. Huang G. et al. Development of surface composite based on Al-Cu system by friction stir processing: Evaluation of microstructure, formation mechanism and wear behavior // Surface and Coatings Technology. 2018. Vol. 344. P. 30–42.

© Исмаилов А.Р., Имаев М.Ф., 2025

Пухачева Ю.А.,
маг. 2 г. об. ФТИ УННиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Баймова Ю.А.,
д.ф.-м.н., проф. РАН, ИПСМ РАН, г. Уфа

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБЪЕМНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БОРА И АЗОТА: АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Исследование механических свойств материалов на основе нитрида бора в настоящий момент актуальны, поскольку такие материалы являются широкозонными полупроводниками, что открывает широкие перспективы для их применения в различных областях промышленности [1]. Гексагональный нитрид бора и другие полиморфы нитрида бора являются актуальными объектами для создания новых объемных наноматериалов, обладающих уникальными физическими и механическими свойствами, например, алмазоподобных фаз [2]. В настоящей работе методом молекулярно-динамического моделирования изучены объемные алмазоподобные фазы на основе бора и азота, состоящие из sp^3 -гибридизированных атомов (рис. 1).

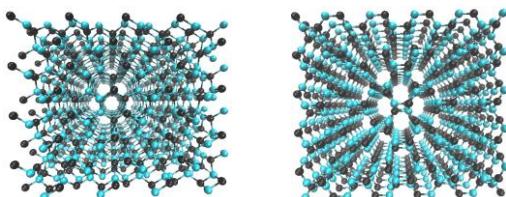


Рис. 1. Пример алмазоподобных фаз на основе бора и азота LA5 и LA6. Атомы бора показаны светло-синим цветом, атомы азота – черным

Для каждой структуры проведен анализ устойчивости и расчет констант упругости, в том числе найдены материалы-ауксестики с отрицательным коэффициентом Пуассона.

Литература

1. Glavin, N.R. Amorphous boron nitride: a universal, ultrathin dielectric for 2D // Advanced Functional Materials, 2016, v. 26, pp. 2640 - 2647.
2. Ryashentsev, D.S., Belenkov, E.A. New structural type of layered boron nitride BN-L4-6-8e // AIP Advances, 2021, v. 2402, pp. 020041.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Современные нанотехнологии требуют высокоточных методов анализа структуры наноматериалов, и сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) является одним из самых информативных инструментов для получения детализированных изображений. В данном исследовании рассматривается нанесение тонких плёнок углеродных нанотрубок (УНТ) с использованием СЭМ. Исследование использует микроскоп Tescan Mira и опирается на широкий круг научных работ, посвящённых синтезу функциональных наноматериалов и их применению в сенсорных и электронных системах [1-7].

Углеродный слой на кремниевом подложке может быть получен путём синтеза УНТ на его поверхности. Морфология углеродного слоя представлена на Рисунке 1а. Из полученных изображений видно, что УНТ обладают высокой кривизной и образуют спиралевидные структуры; однако их структура остаётся неизменённой, что свидетельствует о высоком качестве технологии их осаждения. Далее показаны области с различной степенью дисперсии смеси УНТ-эпоксидная смола: неравномерное распределение (б) и равномерное (в). Различия объясняются механизмами диспергирования нанотрубок, приводящими к агломератам с изменённой концентрацией. В отличие от плёнок, полученных методом классического выращивания УНТ, данные композитные структуры имеют меньшую чистоту и однородность, но были получены более быстрым и простым методом.

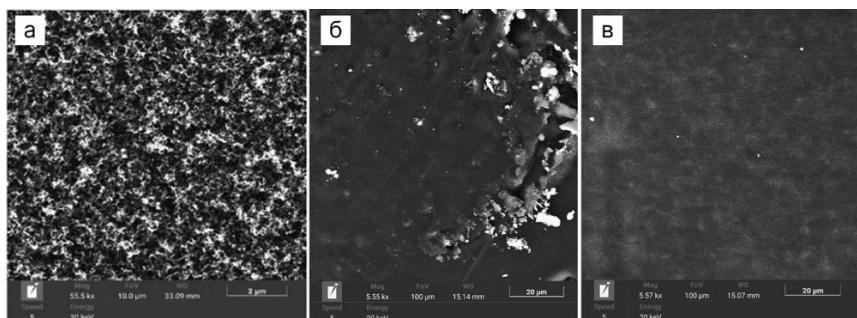


Рис. 1. СЭМ структуры УНТ

УНТ-эпоксидная смесь демонстрирует менее однородную и чистую морфологию по сравнению с прямо выращенными на подложке углеродными нанотрубками. Эти отличия наглядно подтверждают преимущества метода выращивания в плане качества и упорядоченности, однако метод капельного осаждения, позволяет существенно упростить и ускорить процесс получения нанокомпозитных плёнок.

Литература

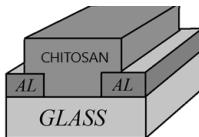
1. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое Дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
2. Synthesis and physicochemical properties of poly[2-(cyclohex-2-en-1-yl)aniline] as a new polyaniline derivative. Andrianova A.N., Sattarova A.F., Abdurakhmanov I.B., Mustafin A.G., Gribko D.E., Petrov I.S., Mullagaliev I., Salikhov R.B. New Journal of Chemistry. 2021. Т. 45. № 14. С. 6356-6366.
3. Functionalized polyanilines: influence of the surface morphology on the electrophysical and sensory properties of thin films based on them. Salikhov R.B., Biglova Yu.N., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Mustafin A.G. Letters on Materials. 2021. Т. 11. № 2 (42). С. 140-145.
4. Influence of copolymer composition on the properties of soluble poly(aniline-co-2-[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl] aniline)s. Latypova L.R., Andrianova A.N., Usmanova G.S., Salikhov R.B., Mustafin A.G. Polymer International. 2023. Т. 72. № 4. С. 440-450.
5. 1,2,3-triazolylfullerene-based n-type semiconductor materials for organic field-effect transistors. Sadretdinova Z.R., Akhmetov A.R., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. Mendeleev Communications. 2023. Т. 33. № 3. С. 320-322.
6. Hybrid molecules based on fullerene C60 and dithienylethenes. Synthesis and photochromic properties. Optically controlled organic field-effect transistors. Khuzin A.A., Tuktarov A.R., Khalilov L.M., Khuzina L.L., Dzhemilev U.M., Venidiktova O.V., Barachevsky V.A., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Salikhov R.B. Photochemistry and Photobiology. 2022. Т. 98. № 4. С. 815-822.
7. Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects. Abdrakhmanov V.Kh., Salikhov R.B., Vazhdaev K.V. В сборнике: Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) - Proceedings APEIE - 2018. 14th International Scientific-Technical Conference. In 8 volumes. 2018. С. 170-173.

Фролов В.В.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПАРОВ АММИАКА

Постоянно растущие проблемы, связанные с качеством воздуха внутри и снаружи помещений, утечкой промышленного газа требуют миниатюрных датчиков газа с превосходной чувствительностью, избирательностью, стабильностью, низким энергопотреблением, экономичностью и длительным сроком службы. Органические сенсоры, отличающиеся структурным разнообразием, скоростью производства и низкой ценой, открывают большие перспективы для изготовления различных устройств для различных приложений, включая мониторинг газов в окружающей среде [1].

В роли сенсоров предлагаются использовать многослойные тонкопленочные структуры на основе органических соединений. Такие сенсоры могут контролировать температуру и влажность воздуха, а также мониторить наличие вредных веществ в атмосфере таких как пары аммиака, угарного газа, окислы азота, водорода и метана [2]. На сегодняшний день существует несколько технологий и методов для создания датчиков паров аммиака, включая использование тонкопленочных материалов, таких как полимерные пленки, углеродные нанотрубки и наночастицы, которые обладают высокой чувствительностью к аммиаку и могут обеспечить быструю реакцию на изменение его концентрации [3-4]. Основными составляющими структуры датчика являются: подложка, тонкая пленка (чувствительный слой), электроды, контакты. Такая структура позволяет датчику реагировать на изменение концентрации химических веществ и газов в окружающей среде.



Rис. 1. Структура тонкопленочного датчика

Литература

1. Salikhov R. B., Zilberg R. A., Mullagaliev I. N., Salikhov T. R., Teres Y. B. Mendeleev Commun., 2022, № 32, 520-522 c.
2. Mustafin I. A., Akhmetov A. F., Salikhov R. B., Mullagaliev I. A., Salikhov T. R., Galiakhmetov R. N., ... & Mustafin A. G. Chimica Techno Acta, 2024, № 11(4), 202411421 c.
3. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., & Mullagaliev I. N. Вестник Башкирского университета, 2024, № 29(2), 75-79 c.
4. Salikhov R., Zilberg R., Mullagaliev I., Salikhov T., Teres Y., Bulysheva E., & Ostaltsova A. // Current Nanomedicine, 2025, № 15(1), 70-79 c.

© Фролов В.В., Салихов Р.Б., 2025

Фахрисламова Д.У.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ХИТОЗАНА С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Современная электроника активно развивается, особенно в создании органических полевых транзисторов (ОПТ) для гибкой электроники. Однако низкая проводимость проводящих полимеров в тонкопленочном состоянии является проблемой. Исследования новых материалов, таких как полиэлектролитные комплексы на основе хитозана, становятся актуальными. Хитозан, благодаря биосовместимости и биоразлагаемости, интересует ученых для создания эффективных сенсорных платформ и полевых транзисторов. Важно изучить влияние модификаций хитозана на его электрофизические свойства [1-4]. Образцы полевых транзисторов (рис.1.), изготовленные на стеклянной подложке с ITO, включают диэлектрические пленки AlOx и алюминиевые электроды. Эти конструкции позволяют проводить анализ вольтамперных характеристик (ВАХ), что является ключевым для оценки эффективности созданных транзисторов и их применения в современных электронных устройствах.



Rис. 1. Структура экспериментального полевого транзистора

Измерения ВАХ полевых транзисторов (рис. 2) проводились в стандартных атмосферных условиях при комнатной температуре, что подчеркивает устойчивость устройств к внешним воздействиям. Выходной ток фиксировался при положительном напряжении на затворе, указывая на электронный тип проводимости в композитных пленках, где основными носителями заряда являются электроны. Электронная проводимость характерна для материалов, легко отдающих электроны под действием электрического поля. Полиэлектролитные комплексы (ПЭК) и полиэлектролитные комплексы на основе органических гидрогелей (ПЭК-ОГ) представляют особый интерес, так как они могут улучшить

электрофизические свойства и стабильность транзисторов, обеспечивая более высокую проводимость и эффективность.

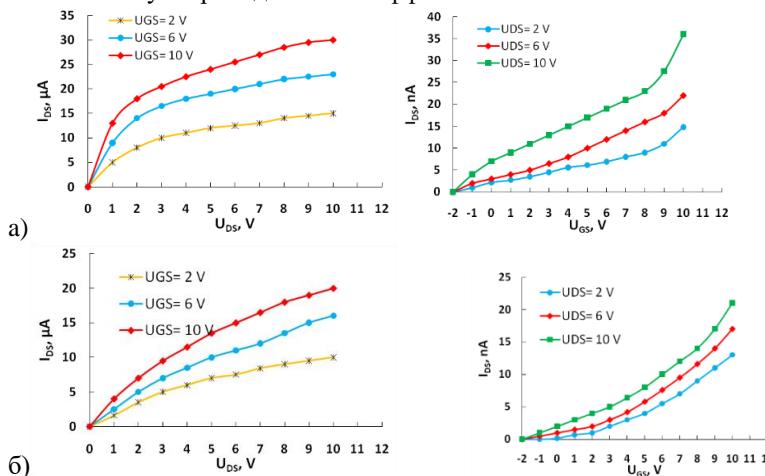


Рис. 2. Выходная (слева) и передаточная (справа) характеристики полевого транзистора с активным слоем а) ПЭК, б) ПЭК –ОГ

Результаты измерений ВАХ подтверждают, что добавление углеродных материалов в полиэлектролитный комплекс значительно улучшает электронные свойства композитных пленок.

Литература

1. 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, v. 15, pp. 70-79.
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. Gadiev, R. M., Lachinov, A. N., Kornilov, V. M., Salikhov, R. B., Rakhmeev, R. G., & Yusupov, A. R. Anomalously high conductivity along the interface of two dielectric polymers // JETP letters, 2010, v. 90, pp. 726-730.
4. Sadretdinova, Z. R., Akhmetov, A. R., Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., & Salikhov, T. R. (2023). 1, 2, 3-Triazolylfullerene-based n-type semiconductor materials for organic field-effect transistors// Mendeleev Communications, 33(3), 320-322.

Поищенко К.Е.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В последние десятилетия органическая электроника достигла значительного прогресса. Разработка новых органических полупроводниковых молекул и совершенствование технологий производства устройств позволили органическим полупроводникам значительно превзойти аморфный кремний по электрическим характеристикам. Несмотря на то, что они все еще уступают кристаллическим неорганическим полупроводникам, их потенциал для применения в современной электронной промышленности остается значительным [1-5].

Транзистор (рис. 1) был изготовлен на стеклянной подложке с готовой пленкой ИТО в качестве затворного контакта. Диэлектрик затвора был изготовлен в виде тонкой пленки оксида алюминия толщиной 390 нм путем центрифугирования из раствора при 1900 об/мин и отжига в печи в течение 130 мин при температуре 320°C. Раствор оксида алюминия был создан так, как описано в работах. Контакты сток-исток были изготовлены из алюминиевой фольги толщиной 300 нм и нанесены поверх диэлектрика.

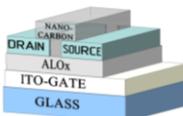


Рис. 1. Структура изготовленного полевого транзистора

Литература

1. Sadretdinova, Z. R., Akhmetov, A. R., Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., & Salikhov, T. R. (2023). Mendeleev Communications, 33(3), 320-322.
2. Akhmetov, A. R., Aminov, R. I., Sadretdinov, Z. R., Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., & Salikhov, T. R. (2023). Current Organic Chemistry, 27(14), 1277-1287.
3. Salikhov R. B., Zilberg R. A., Mullagaliev I. N., Salikhov T. R., Teres Y. B. Mendeleev Commun., 2022, № 32, 520-522 c.
4. Mustafin I. A., Akhmetov A. F., Salikhov R. B., Mullagaliev I. A., Salikhov T. R., Galiakhmetov R. N., ... & Mustafin A. G. Chimica Techno Acta, 2024, № 11(4), 202411421 c.
5. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., & Mullagaliev I. N. Вестник Башкирского университета, 2024, № 29(2), 75-79 с.

STUDY OF ROUGHNESS OF THIN FILMS BASED ON CARBON NANOSTRUCTURES

Fullerenes, graphene oxide, and carbon nanotubes represent promising carbon-based nanomaterials for fabricating advanced composites with improved durability, strength, and conductive properties [1-4]. The development and study of new composite thin-film structures based on the polyelectrolyte complex chitosan-succinamide chitosan (PEC), which include various carbon nanomaterials as fillers: single-walled carbon nanotubes (SWCNTs), graphene oxide (GO), as well as carbon-containing sorbents with different specific surface areas (Carboblack C (CB) and Carbopack (CP)). Using the Gwyddion program, the root-mean-square roughness of the film surface over an area of $20 \times 20 \mu\text{m}$ was calculated with an error of up to 10% and is presented in the diagram (Fig. 1). The roughness values obtained in this way correlate with the effective surface area values given above. Surface irregularities can create barriers to the movement of charge carriers, reducing mobility. The more ordered the film structure, the higher the mobility of charge carriers. Optimum film thickness ensures a balance between conductivity and transistor controllability. Low RMS roughness: indicates a smooth surface, which contributes to high mobility of charge carriers. High RMS roughness: may indicate the presence of defects that impair charge transfer [5].

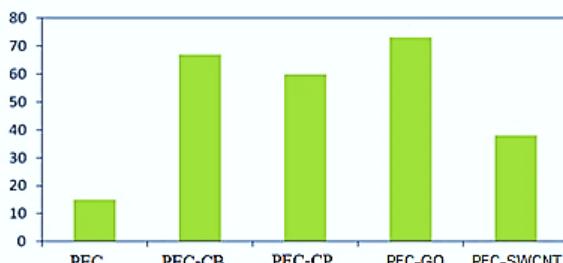


Figure 1. Roughness values of samples

The polyelectrolyte complex based on chitosan and chitosan succinamide, especially in combination with carbon nanotubes or graphene oxide, is a promising material for the creation of high-performance organic thin-film transistors [6-7].

The study showed that the surface roughness of films plays a key role in determining the performance of organic field-effect transistors. Low RMS roughness correlates with high charge carrier mobility, while high roughness may indicate the presence of defects that impair charge transport.

Literature

1. Sadretdinova, Z. R., Akhmetov, A. R., Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., & Salikhov, T. R. (2023). Mendeleev Communications, 33(3), 320-322 pp.
2. Akhmetov, A. R., Aminov, R. I., Sadretdinov, Z. R., Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., & Salikhov, T. R. (2023). Current Organic Chemistry, 27(14), 1277-1287 pp.
3. Salikhov R. B., Zilberg R. A., Mullagaliev I. N., Salikhov T. R., Teres Y. B. Mendeleev Commun., 2022, № 32, 520-522 c.
4. Mustafin I. A., Akhmetov A. F., Salikhov R. B., Mullagaliev I. A., Salikhov T. R., Galiakhmetov R. N., ... & Mustafin A. G. Chimica Techno Acta, 2024, № 11(4), 202411421 pp.
5. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., & Mullagaliev I. N. Bulletin of the Bashkir University, 2024, № 29(2), 75-79 pp.
6. Salikhov R., Zilberg R., Mullagaliev I., Salikhov T., Teres Y., Bulysheva E., & Ostaltsova A. // Current Nanomedicine, 2025, № 15(1), 70-79 c.
7. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., ...& Bugaybayev, E. S. (2024). Thin films of polyanilines and polymer nanocomposites for the development of chemical sensors. Eurasian Journal of Physics and Functional Materials, 8(2), 58-70 pp.

© Ostaltsova A.D., Salikhov R.B., 2025

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Углеродные наноструктуры, такие как фуллерены, оксид графена и углеродные нанотрубки, являются перспективными для создания композиционных материалов, улучшая их износостойкость, прочность и проводимость [1-4]. Образцы полевых транзисторов (рис.1) были созданы из композитов на основе PEC: PEC – СВ (Carboblack C), PEC - СР (Carborpack), PEC -GO (оксид графена) и PEC-SWCNT (углеродные нанотрубки) на стеклянной подложке с ITO. Диэлектрики AlO_x толщиной 300 нм образовывались центрифугированием и отжигом. На диэлектрик наносились алюминиевые электроды, сток и исток, толщиной 500 нм, с полупроводниковым слоем между ними.



Рис. 1. Структура экспериментального полевого транзистора

Созданные тонкопленочные транзисторы на основе углеродных наноструктур, таких как оксид графена и углеродные нанотрубки, представляют собой одно из самых перспективных направлений в современной электронике и нанотехнологиях. Эти материалы обладают уникальными физико-химическими свойствами, которые делают их идеальными кандидатами для создания высокопроизводительных и энергоэффективных устройств.

Литература

1. Salikhov R. B., Zilberg R. A., Mullagaliev I. N., Salikhov T. R., Teres Y. B. Mendeleev Commun., 2022, № 32, 520-522 с.
2. Mustafin I. A., Akhmetov A. F., Salikhov R. B., Mullagaliev I. A., Salikhov T. R., Galiakhmetov R. N., ... & Mustafin A. G. Chimica Techno Acta, 2024, № 11(4), 202411421 с.
3. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., & Mullagaliev I. N. Вестник Башкирского университета, 2024, № 29(2), 75-79 с.
4. Salikhov R., Zilberg R., Mullagaliev I., Salikhov T., Teres Y., Bulysheva E., & Ostaltsova A.//Current Nanomedicine, 2025, № 15(1), 70-79 с.

Остальцова А.Д.,
асс. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ АТОМНО-СИЛОВЫМ МИКРОСКОПОМ ОБРАЗЦОВ СУКЦИНИАМИДА ХИТОЗАНА С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Современные достижения в нанотехнологиях позволяют исследовать материалы наnanoуровне с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Эти методы используются для анализа морфологии и подвижности носителей заряда в тонких пленках на основе полиэлектролитного комплекса (ПЭК) хитозана и сукциниамида с углеродными наполнителями. Образцы полевых транзисторов созданы из ПЭК-СВ и ПЭК-СР на стеклянной подложке с ITO и диэлектрическими пленками AlOx, что делает их подходящими для электроники и биомедицины (рис. 1).

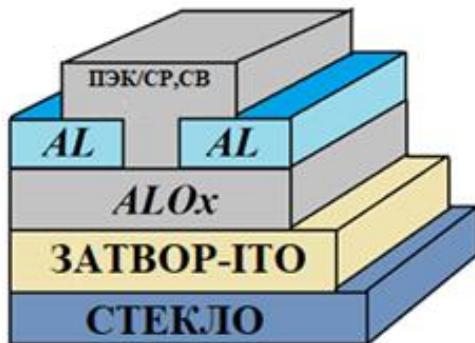


Рис. 1. Структура экспериментального полевого транзистора

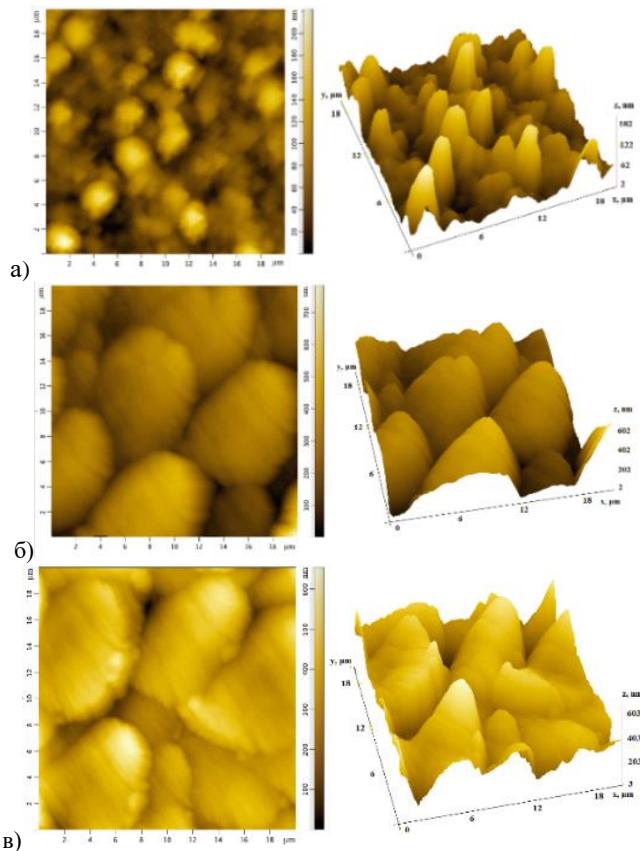


Рис. 2. ACM-изображения 20×20 мкм: а) ПЭК, б) ПЭК-СР, в) ПЭК-СВ

Для изучения морфологии поверхности тонких композитных пленок и пленок ПЭК использовались атомно-силовой микроскоп Nanoeducator II NT-MDT и сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) TESCAN MIRA LMS с программным обеспечением TESCAN Essence. Проведенное исследование морфологии пленок дало возможность получить изображения с помощью ACM (рис. 2), на которых видна зернистая структура органических пленок, влияющая на подвижность носителей заряда.

Литература

1. 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, v. 15, pp. 70-79.

2. Latypova, L. R., Andrianova, 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. Gadiev, R. M., Lachinov, A. N., Kornilov, V. M., Salikhov, R. B., Rakhmeev, R. G., & Yusupov, A. R. Anomalously high conductivity along the interface of two dielectric polymers // JETP letters, 2010, v. 90, pp. 726-730.

4. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andrianova, A. N., Salikhov, S. M., Sattarova, A. F., Mullagaliev, I. N., Abdurakhmanov, I. B. Synthesis and Physicochemical Properties of Poly (2-ethyl-3-methylindole) // Macromolecules, 2020, v. 53, №. 18, pp. 8050-8059.

5. Salikhov, R. B., Lachinov, A. N., & Bunakov, A. A. Charge transfer in thin polymer films of polyarylenephthalides // Physics of the Solid State, 2007, v. 49, pp. 185-188.

6. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Bulysheva, E. O., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Teres, Y. B. Nanocomposite thin-film structures based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide with SWCNT // Письма о материалах, 2023, v. 13, pp. 132-137.

© Остальцова А.Д., Салихов Р.Б., 2025

Лазарев Н.А.,

маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

Науч. рук.: Салихов Р.Б.,

д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОРГАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ PEC-SWCNT ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Разработка тонкоплёночных органических датчиков относительной влажности воздуха представляет собой актуальную и перспективную область исследований в современной науке и технике. Органические датчики влажности обладают рядом преимуществ перед традиционными датчиками, такими как низкая стоимость производства, гибкость и возможность использования на различных поверхностях. Целью данного исследования является разработка и оптимизация тонкоплёночных органических датчиков для точного и надежного измерения относительной влажности воздуха с использованием облачного сервиса [1-6].

На основе тонких пленок PEC-SWCNT (полиэлектролитный комплекс с углеродными нанотрубками) были получены многослойные структуры резистивных сенсоров. В резистивных датчиках в качестве подложки использовалось стеклянную подложку. На стеклянную подложку сверху были нанесены алюминиевые электроды методом термического распыления в вакуумной камере на установке УВП-250 толщиной около 400- 500 нм, зазор создавался с помощью теневой маски. Для одних образцов в область зазора между электродами в 50 мкм наносилась пленка полимера PEC с SWCNT.

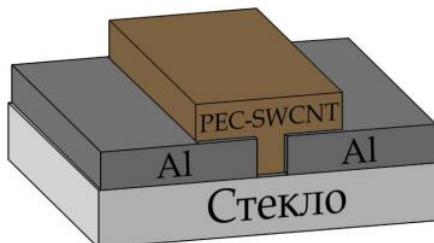


Рис. 1. Структура тонкопленочного резистивного датчика

Оптимизация структуры и состава тонкоплёночных органических датчиков с целью улучшения их характеристик является ключевым направлением исследований в данной области. Разработка новых материалов и технологий синтеза позволяет повысить чувствительность и стабильность датчиков, что делает их более привлекательными для

промышленного и бытового применения. Эволюция органических датчиков влажности открывает перспективы для создания инновационных решений в области сенсорных технологий

Литература

1. Akhmetov A. R., Aminov R. I., Sadretdinov Z. R., Salikhov R. B., Mullagaliev I. N., & Salikhov T. R. Covalent Binding of Fullerene C60 to Strained Polycyclic Hydrocarbons: Promising Organic Field-effect Transistors Based on them // Current Organic Chemistry., 2023, v. 27(14), pp. 1277-1287.
2. Latypova L. R. et al. 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. – Т. 72. – №. 4. – С. 440-450.
3. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., & Mullagaliev I. N. Nanocomposite polymer thin films for sensors // Вестник Башкирского университета, 2024, № 29(2), 75-79 с.
4. Salikhov R. B. et al. Nanocomposite thin-film structures based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide with SWCNT //Letters On Materials. – 2023. – Т. 13. – №. 2. – С. 132-137.
5. Akhmetov A. R., Aminov R. I., Sadretdinov Z. R., Salikhov R. B., Mullagaliev I. N., & Salikhov T. R. Covalent Binding of Fullerene C60 to Strained Polycyclic Hydrocarbons: Promising Organic Field-effect Transistors Based on them // Current Organic Chemistry, 2023, № 27(14), 1277-1287 с.
6. Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., Badretdinov, B. R., Ostaltsova, A. D., Sadykov, T. T., & Mustafin, A. G. Effect of the morphology of films of polyaniline derivatives poly-2-[(2E)-1 methyl-2 butene-1 yl] aniline and poly-2-(cyclohex-2 en-1 yl) aniline on sensory sensitivity to humidity and ammonia vapors //Letters on Materials. – 2022. – Т. 12. – №. 4. – С. 309-315.
7. Khuzin, A. A., Tuktarov, A. R., Venidiktova, O. V., Barachevsky, V. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., ... & Dzhemilev, U. M. Hybrid molecules based on fullerene C60 and dithienylethenes. synthesis and photochromic properties. optically controlled organic field-effect transistors //Photochemistry and Photobiology. – 2022. – Т. 98. – №. 4. – С. 815-822.

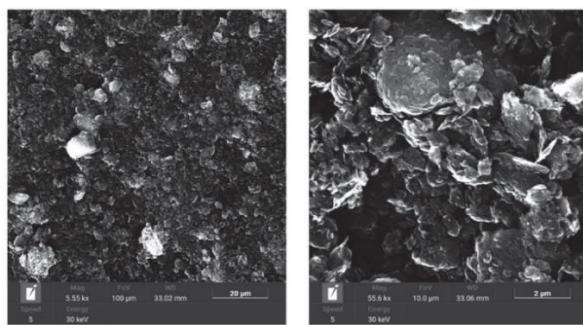
© Лазарев Н.А., Салихов Р.Б., 2025

Кунысбаев И.А.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ

За последнее десятилетие органические полупроводники вызывают большой интерес в фундаментальных исследованиях и практических приложениях. Композиты на основе органических материалов получили распространение благодаря своим уникальным свойствам и частичной биоразлагаемости: в том числе они подходят в качестве чувствительных материалов — сенсоров для обнаружения различных газов [1]. Одним из таких газов является окись углерода или по-другому угарный газ. Окись углерода встречается везде, где существуют условия для неполного сгорания веществ, содержащих углерод [2]. Основным источником в нефтегазовой отрасли являются факельные установки сжигания попутных газов, в процессе работы газотурбинных установок, а также выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания строительной, буровой техники, автотранспорта и др. Из-за высокой токсичности угарного газа, необходимо создание высокочувствительных материалов для датчиков CO [3].

С помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) TESCAN MIRA LMS и программного обеспечения TESCAN Essence исследована морфология поверхности тонких пленок [4-8], полученных из раствора полимера с добавками УНТ и оксида графена методом полива на подложки (рис. 1).



a)

б)

Рис. 1. СЭМ изображения микроструктур образцов пленок

Литература

1. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Bulysheva, E. O., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., & Teres, Y. B. (2023). Nanocomposite thin-film structures based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide with SWCNT. Letters On Materials, 13(2), 132-137.
2. Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Mullagaliev, I. N., Salikhov, R. B., Abdurakhmanov, I. B., & Mustafin, A. G. (2020). Synthesis and physicochemical properties of poly [2-(2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl) aniline] obtained with various dopants. Polymer International, 69(9), 804-812.
3. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Sattarova, A. F., Mullagaliev, I. N., ... & Abdurakhmanov, I. B. (2020). Synthesis and Physicochemical Properties of Poly (2-ethyl-3-methylindole). Macromolecules, 53(18), 8050-8059.
4. 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, v. 15, pp. 70-79.
5. Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Usanova, 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.
6. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Sattarova, A. F., Mullagaliev, I. N., Abdurakhmanov, I. B. Synthesis and Physicochemical Properties of Poly (2-ethyl-3-methylindole) // Macromolecules, 2020, v. 53, №. 18, pp. 8050-8059.
7. Salikhov, R. B., Lachinov, A. N., & Bunakov, A. A. Charge transfer in thin polymer films of polyarylenephthalides // Physics of the Solid State, 2007, v. 49, pp. 185-188.
8. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Bulysheva, E. O., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Teres, Y. B. Nanocomposite thin-film structures based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide with SWCNT // Письма о материалах, 2023, v. 13, pp. 132-137.

© Кунысбаев И.А., Салихов Р.Б., 2025

Губайдуллин М.И.,
 маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
 д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОРГАНИЧЕСКИЕ ФОТОДЕТЕКТОРЫ НА БАЗЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ, РАБОТАЮЩИЕ В СПЕКТРЕ БЛИЖНЕГО УЛЬТРОФИОЛЕТА

Открытие проводящих полимеров и фундаментальные исследования в области органических полимеров способствовали развитию органической электроники. В последнее время активно изучаются полииндолы и производные фуллеренов (а именно пирролидинофуллерен), которые находят применение в органической электронике благодаря своим электрофизическим и фотолюминесцентным свойствам, а также простоте синтеза и доступности. Создание и разработка новых фотодетекторов для различных диапазонов длин волн является актуальной проблемой [1,2].

Фототранзисторы на основе тонких пленок полииндола (рис 1. (а)) и пирролидинофуллерена (рис 1. (б)) изготавливаются следующим образом. Стеклянная подложка с проводящим слоем ИТО (оксид индия-олова) очищалась в растворе этанола и высушивалась в печи при температуре 50°C в течение 10 минут. Поверх ИТО методом центрифугирования наносилась пленка полииндола и пирролидинофуллерена с толщиной пленок 400 нм и 500 нм соответственно. Два алюминиевых электрода (исток и сток) толщиной 500 нм были нанесены поверх полииндола и пирролидинофуллерена методом термического напыления в вакууме. Зазор между контактами составляет 50 мкм, а их длина — 2 мм [3-7].

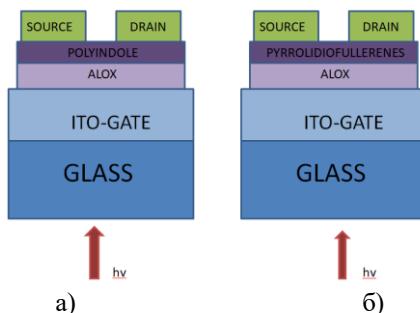


Рис. 1. Структура образца фототранзистора на основе полииндола (а)
и пирролидинофуллерена (б)

Фототранзисторы на основе полииндола представляют собой перспективное направление в области органической электроники и оптоэлектроники. Высокая чувствительность к свету и низкая стоимость производства - основные преимущества таких устройств.

Результаты исследований представляют практический интерес для разработки фотодатчиков на основе полииндола и пирролидинофуллерена. Преимуществом данных приборов является то, что технология их изготовления совместима с современной технологией печатной органической электроники. Выявлен быстрый отклик на облучение, что подтверждается кинетикой токового фотоответа в транзисторах на основе пленок полииндола и пирролидинофуллерена. Изготовлены тонкопленочные фототранзисторы на основе полииндола и пирролидинофуллерена и проведена оценка подвижности носителей заряда.

Литература

1. Salikhov R. B., Gaskarova A. A., Salikhov T. R., Ostaltsova A. D., & Yumalin T. T. Polyaniline Derivatives for Chemical Sensors of Ammonia Vapor // Chemistry Proceedings, 2023, № 14(1), 15 c.
2. Mustafin I. A., Akhmetov A. F., Salikhov R. B., Mullagaliev I. A., Salikhov T. R., Galikhmetov R. N., ... & Mustafin A. G. Nanofibrous carbon (multi-wall carbon nanotubes): synthesis and electrochemical studies by using field-effect transistor setup // Chimica Techno Acta, 2024, № 11(4), 202411421 c.
3. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., & Mullagaliev I. N. Nanocomposite polymer thin films for sensors // Вестник Башкирского университета, 2024, № 29(2), 75-79 c.
4. Salikhov R.B., Biglova Yu.N., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Mustafin A.G. Functionalized polyanilines: influence of the surface morphology on the electrophysical and sensory properties of thin films based on them // Letters on Materials, 2021, T. 11, № 2 (42), 140-145 c.
5. 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) // Polymer International, 2023, T. 72, № 4, 440-450 c.
6. Andriianova A.N., Sattarova A.F., Abdurakhmanov I.B., Mustafin A.G., Gribko D.E., Petrov I.S., Mullagaliev I., Salikhov R.B. Synthesis and physicochemical properties of poly [2-(cyclohex-2-en-1-yl) aniline] as a new polyaniline derivative // New Journal of Chemistry, 2021, T. 45, № 14, 6356-6366 c.
7. 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, № 15(1), 70-79 c.

© Губайдуллин М.И., Салихов Р.Б., 2025

Цейзер О.Е.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАНИЛИНА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА

В современном мире, как альтернатива кремниевой электронике, активно развивается полимерная электроника, преимуществами которой являются: дешевизна, легкость и гибкость полученных материалов, относительно легкое получение полимеров с определенными свойствами и легкость производства. В последнее время актуализировались работы по синтезу новых полимерных веществ для разработки электронных датчиков [1].

Использование полианилина (ПАНИ) в датчиках предполагает использование физических изменений, которые происходят в объектах с высокой молекулярной массой, подвергающихся воздействию различных химических веществ, на уровне молекулярной и макроскопической структуры полимеров. Полианилинов отличается своей влагостойкостью, термостойкостью и химической стойкостью к агрессивным веществам.

На основе полученных в исследовании производных полианилина были изготовлены образцы резистивных датчиков (рис.1). В качестве подложки использовался ситалл на котором методом термодинамического напыления в вакуумной камере были нанесены алюминиевые контакты, толщина зазора между которыми составила 50мкм. Пленки ПАНИ и сополимеры на его основе наносили на область зазора центрифугированием из раствора N-метилпирролидона. Время вращения составляло 2 минуты, скорость через 1 минуту увеличивали с 400 до 1000 оборотов в минуту. Для удаления остатков растворителя образцы подвергали термическому отжигу при нагревании до 50°C в течение 20-25 минут.

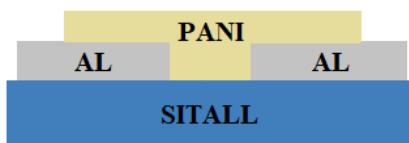


Рис. 1. Структура тонкопленочного резистивного датчика

Использование ПАНИ в качестве обнаруживающего элемента датчика требует создание рыхлых и хорошо проницаемых слоев для анализируемого вещества с высокой удельной поверхностью. Развитая поверхность сополимеров полианилина позволяет повысить чувствительность прибора, а небольшая толщина и высокая проницаемость слоя обеспечивают достаточно быстрое установления равновесия и высокую скорость измерения [2-5].

Литература

1. Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., Badretdinov, B. R., Ostaltsova, A. D., Sadykov, T. T., & Mustafin, A. G. Effect of the morphology of films of polyaniline derivatives poly-2-[(2E)-1-methyl-2-butene-1-yl] aniline and poly-2-(cyclohex-2-en-1-yl) aniline on sensory sensitivity to humidity and ammonia vapors //Letters on materials. – 2022. – Т. 12. – №. 4. – С. 309-315.
2. Salikhov, R. B., Biglova, Y. N., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. Functionalized polyanilines: influence of the surface morphology on the electrophysical and sensory properties of thin films based on them //Letters on Materials. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – С. 140-145.
3. Andrianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels* – 2022. – Т. 6. – №. 14. – С. 3435-3445.
4. Salikhov R.B., Bunakov A.A., Lachinov A.N. Charge transfer in thin polymer films of polyarylenephthalides. Physics of the Solid State. 2007. Т. 49. № 1. С. 185-188.
5. Lachinov A.N., Salikhov R.B., Bunakov A.A., Tameev A.R. Charge carriers generation in thin polymer films by weak external influences. Nonlinear Optics Quantum Optics. 2005. Т. 32. № 1-3. С.13-20.

© Цейзер О.Е., Салихов Р.Б., 2025

Сагидуллина А.Р.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОРГАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Контроль влажности является неотъемлемой частью производственных процессов в фармацевтике, пищевой промышленности, медицине и электронике. Новые датчики влажности устроены так: их чувствительный элемент временно взаимодействует с водяным паром, а затем восстанавливается. Это делает их чем-то вроде газового сенсора для воды. Современные исследования показывают, что применение наноматериалов – включая наночастицы, нанопроволоки, углеродные нанотрубки и полимерные нанокомпозиты – в конструкции чувствительных элементов позволяет создавать датчики влажности нового поколения с превосходными характеристиками. Для этихnanoструктурных материалов поверхностный эффект становится доминирующим из-за их большого отношения поверхности к объему, что полезно для создания датчиков влажности и датчиков газа [1-6].

В рамках исследования были изучены тонкопленочные структуры, включающие фуллерены C60, полианилин (ПАНИ) и полиимидные соединения.



Рис. 1. Структурная схема резистивного датчика

Сравнительный анализ показал, что фуллереновые (C60) резистивные сенсоры обеспечивают более выраженную динамику изменения тока в ответ на колебания влажности, чем полианилиновые. При этом разработанные полиимидные абсорбционные датчики характеризуются:

- идеальной линейностью ёмкостного отклика;
- практически отсутствующим гистерезисом ($\leq 2\%$);
- высокой крутизной сенсорных характеристик;
- быстрым временем отклика.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает перспективность применения новых производных полианилина (ПАНИ) в качестве чувствительного элемента для сенсоров влажности.

Литература

1. Akhmetov A. R., Aminov R. I., Sadretdinov Z. R., Salikhov R. B., Mullagaliev I. N., & Salikhov T. R. Covalent Binding of Fullerene C60 to Strained Polycyclic Hydrocarbons: Promising Organic Field-effect Transistors Based on them // Current Organic Chemistry., 2023, v. 27(14), pp. 1277-1287.
2. Latypova L. R. et al. 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. – Т. 72. – №. 4. – С. 440-450.Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., & Mullagaliev I. N. Nanocomposite polymer thin films for sensors // Вестник Башкирского университета, 2024, № 29(2), 75-79 с.
3. Salikhov R. B. et al. Nanocomposite thin-film structures based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide with SWCNT //Letters On Materials. – 2023. – Т. 13. – №. 2. – С. 132-137.
4. Akhmetov A. R., Aminov R. I., Sadretdinov Z. R., Salikhov R. B., Mullagaliev I. N., & Salikhov T. R. Covalent Binding of Fullerene C60 to Strained Polycyclic Hydrocarbons: Promising Organic Field-effect Transistors Based on them // Current Organic Chemistry, 2023, № 27(14), 1277-1287 с.
5. Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., Badretdinov, B. R., Ostaltsova, A. D., Sadykov, T. T., & Mustafin, A. G. Effect of the morphology of films of polyaniline derivatives poly-2-[(2E)-1 methyl-2 butene-1 yl] aniline and poly-2-(cyclohex-2 en-1 yl) aniline on sensory sensitivity to humidity and ammonia vapors //Letters on Materials. – 2022. – Т. 12. – №. 4. – С. 309-315.
6. Khuzin, A. A., Tuktarov, A. R., Venidiktova, O. V., Barachevsky, V. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., ... & Dzhemilev, U. M. Hybrid molecules based on fullerene C60 and dithienylethenes. synthesis and photochromic properties. optically controlled organic field-effect transistors //Photochemistry and Photobiology. – 2022. – Т. 98. – №. 4. – С. 815-822.

© Сагидуллина А.Р., Салихов Р.Б., 2025

Гильманов Д.Р.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОРГАНИЧЕСКИЕ ФОТОТРАНЗИСТОРЫ НА ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ОСНОВЕ

Разрабатываются новые фототранзисторы для памяти на основе многослойных полимерных тонкоплёночных материалов. Перспективное направление органической электроники обещает создание ультратонких, лёгких, гибких и прозрачных устройств (дисплеев, интегральных схем, датчиков), расширяющих области применения за пределы возможностей кремниевой электроники. Ключевым элементом является органический транзистор (OFET) с транспортным слоем до 10 нм, где управление носителями заряда осуществляется изменением плотности заряда в электрическом поле [1-3].

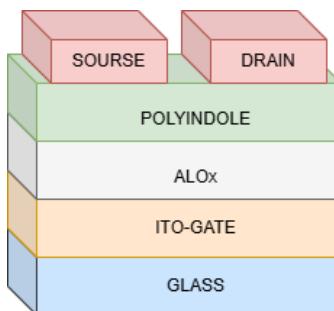


Рис. 1. Структура фототранзистора

Поли(2-этил-3-метилиндол) (MPIn) синтезировали внутримолекулярной циклизацией поли(2-(хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина) при 140–150 °C в полифосфорной кислоте (PPA) (6–7 ч), с выходом 81%. Этот метод представляет собой новый синтез полииндола из растворимого производного полianiлина (ПАНИ) путём полимераналогичной конверсии. В полимерной цепи MPIn участвует атом азота, существенно влияющий на физико-химические свойства. Схема фототранзистора на основе полииндольных плёнок показана на рис. 1.

В качестве подложки использовали стекло с проводящим слоем оксида индия-олова (ITO) в качестве затвора, предварительно отожжённое в муфельной печи. Диэлектрик – плёнки ALOX (400 нм). Полииндольную

плёнку наносили центрифугированием, удаляя растворитель отжигом в муфельной печи. Затем методом термического напыления в вакууме наносили алюминиевые электроды (исток и сток).

Фотопроводимость исследовали, измеряя ВАХ при УФ-излучении (350 нм). Темновой ток полииндольных плёнок составлял ~1 нА. При УФ-облучении фототок превышал темновое значение на три порядка. Энергия УФ-квантов (3,4 эВ), сравнимая с шириной запрещённой зоны, вызывает образование электронно-дырочных пар, увеличивая проводимость тонких плёнок MPIn. Измерены семейства выходных и передаточных ВАХ фототранзистора. В темноте токи в фототранзисторах составляли ~1 нА. Подвижность носителей μ в активном слое OFET оценивали по формуле (1).

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

Расчетное значение подвижности носителей μ (MPIn) = 0,016 см² В⁻¹ с⁻¹, что сравнимо с подвижностью для этого класса соединений [4, 5].

Литература

1. 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 //Mendeleev Communications., 2023, v. 33(3), pp. 320-322.
2. Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., Badretdinov, B. R., Ostaltsova, A. D., Sadykov, T. T., & Mustafin, A. G. Effect of the morphology of films of polyaniline derivatives poly-2-[(2E)-1-methyl-2-butene-1-yl] aniline and poly-2-(cyclohex-2-en-1-yl) aniline on sensory sensitivity to humidity and ammonia vapors // Letters On Materials., 2022, v. 12(4), pp. 309-315.
3. 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, v. 15(1), pp. 70-79.
4. Akhmetov A. R., Aminov R. I., Sadretdinov Z. R., Salikhov R. B., Mullagaliev I. N., & Salikhov T. R. Covalent Binding of Fullerene C60 to Strained Polycyclic Hydrocarbons: Promising Organic Field-effect Transistors Based on them // Current Organic Chemistry., 2023, v. 27(14), pp. 1277-1287.
5. 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 // Mendeleev Commun., 2022, v. 32, pp. 520-522.

ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

Органическая электроника, использующая как органические полупроводники (Органический полевой транзистор (OFET), органические тонкопленочные транзисторы (OTFT)), так и углеродные наноструктуры (фуллерены, оксид графена, углеродные нанотрубки), открывает широкие возможности для создания энергоэффективных, высокочувствительных датчиков и других электронных устройств с улучшенными характеристиками, такими как износостойкость, прочность и проводимость [1,4].

Простота синтеза органических полимеров и современные методы осаждения (струйная печать, вакуумная депозиция, центрифугирование) позволяют формировать многоуровневые тонкопленочные структуры и нанокомпозиты (например, на основе полианилина (ПАНИ)), обладающие высокой селективностью и потенциалом для интеграции биорецепторов, что особенно важно для IoT, медицинских устройств и мониторинга окружающей среды [1-6].

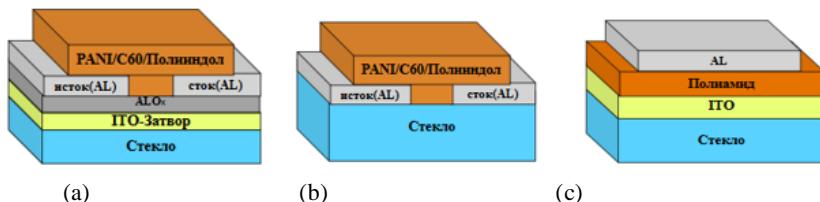


Рис. 1. Структуры Типов органических датчиков: транзисторные (а), резистивные (б) и емкостные (с)

Несмотря на текущие проблемы, связанные с масштабированием производства, контролем качества и интеграцией, использование органических материалов и углеродных наноструктур становится ключевым фактором для разработки эффективных, экономичных и функционально разнообразных электронных устройств и датчиков в современном технологическом ландшафте.

Литература

1. Yumalin, T. T., Salikhov, R. B., & Salikhov, T. R. (2023). Integrating Wireless Sensor Networks with Organic Polymers for Sustainable. // In Hydraulic and Civil Engineering Technology VIII (pp. 1118-1123). IOS Press.
2. Tuktarov, A. R., Salikhov, R. B., Khuzin, A. A., Popod'ko, N. R., Safargalim, I. N., Mullagaliev, I. N., & Dzhemilev, U. M. (2019). Photocontrolled organic field effect transistors based on the fullerene C 60 and spiropyran hybrid molecule // RSC advances, 9(13), 7505-7508.
3. Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., Badretdinov, B. R., Ostaltsova, A. D., Sadykov, T. T., & Mustafin, A. G. (2022). Effect of the morphology of films of polyaniline derivatives poly-2-[(2E)-1-methyl-2-butene-1-yl] aniline and poly-2-(cyclohex-2-en-1-yl) aniline on sensory sensitivity to humidity and ammonia vapors // *Letters on materials*, 12(4), 309-315.
4. Salikhov, R. B., Lachinov, A. N., Rakhmeev, R. G., Gadiev, R. M., Yusupov, A. R., & Salazkin, S. N. (2009). Chemical sensors based on nanopolymer films. Measurement Techniques, 52, 427-431.
5. Salikhov, R. B., Biglova, Y. N., Salikhov, T. R., & Yumaguzin, Y. M. (2015). New polymers for organic solar cells. //Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 9(6), 792-794.
6. Salikhov, R. B., Biglova, Y. N., Yumaguzin, Y. M., Salikhov, T. R., Miftakhov, M. S., & Mustafin, A. G. (2013). Solar-energy photoconverters based on thin films of organic materials. //Technical Physics Letters, 39, 854-857.

© Баджассилона Г.Б., Салихов Р.Б., 2025

ФУЛЛЕРЕН В ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ: РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ФОТОТРАНЗИСТОРОВ

Достижения в органической электронике открывают путь к созданию инновационных устройств (дисплеев, микросхем, датчиков). Особенно перспективны органические полевые фототранзисторы с ультратонкими (менее 10 нм) транспортными слоями, где регулирование потока зарядов осуществляется за счёт изменения плотности заряда в электрическом поле [1-4].

Среди доступных материалов фуллерен C60 и его производная (метиловый эфир масляной кислоты - PCBM) зарекомендовали себя как ведущие n-типовые полупроводниковые материалы. Благодаря способности формировать изотропные твердые тела, пленки на основе фуллерена можно создавать без строгого контроля над молекулярной сборкой, который требуется для других органических полупроводников [5-6].

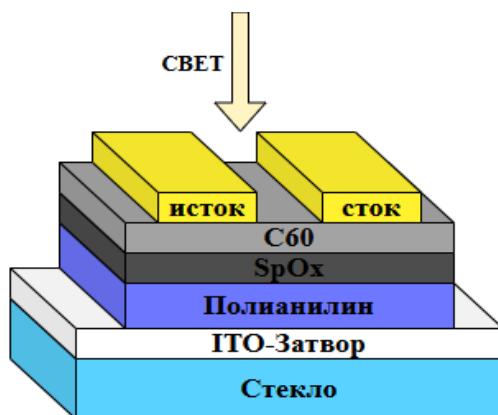


Рис. 1. Структура фотоуправляемого ОПТ/OFET, в котором полупроводник (фуллерен C60) и светоуправляемое соединение (спиропиран SpOx) образуют отдельные слои

Гибридные активные слои ОПТ/OFET (на основе C60 и спиропирана) демонстрируют высокую подвижность зарядов, превосходную фоточувствительность и стабильность, подтвержденную быстрым многократным переключением (ON/OFF).

Литература

1. Tuktarov, A. R., Salikhov, R. B., Khuzin, A. A., Popod'ko, N. R., Safargalin, I. N., Mullagaliev, I. N., & Dzhemilev, U. M. (2019). Photocontrolled organic field effect transistors based on the fullerene C 60 and spiropyran hybrid molecule // *RSC advances*, 9(13), 7505-7508.
2. Tuktarov, A. R., Salikhov, R. B., Khuzin, A. A., Safargalin, I. N., Mullagaliev, I. N., Venidiktova, O. V., ... & Dzhemilev, U. M. (2019). Optically controlled field effect transistors based on photochromic spiropyran and fullerene C60 films // *Mendeleev Communications*, 29(2), 160-162.
3. Salikhov, R. B., Biglova, Y. N., Salikhov, T. R., & Yumaguzin, Y. M. (2015). New polymers for organic solar cells. // *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 9(6), 792-794.
4. Salikhov, R. B., Biglova, Y. N., Yumaguzin, Y. M., Salikhov, T. R., Miftakhov, M. S., & Mustafin, A. G. (2013). Solar-energy photoconverters based on thin films of organic materials. // *Technical Physics Letters*, 39, 854-857.
5. Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., Badretdinov, B. R., Ostaltsova, A. D., Sadykov, T. T., & Mustafin, A. G. (2022). Effect of the morphology of films of polyaniline derivatives poly-2-[(2E)-1-methyl-2-butene-1-yl] aniline and poly-2-(cyclohex-2-en-1-yl) aniline on sensory sensitivity to humidity and ammonia vapors // *Letters on materials*, 12(4), 309-315.
6. Sadretdinova, Z. R., Akhmetov, A. R., Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., & Salikhov, T. R. (2023). 1, 2, 3-Triazolylfullerene-based n-type semiconductor materials for organic field-effect transistors// *Mendeleev Communications*, 33(3), 320-322.

© Баджассилона Г.Б., Салихов Р.Б., 2025

Фахрисламова Д.У.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абдрахманов В.Х.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ТЕРМОРЕГИСТРАТОР С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ НА БАЗЕ LORAWAN

Оптимизация контроля передачи данных на предприятии представляет собой важную задачу, поэтому применение IoT-устройств для этой цели становится актуальным в настоящее время [1-5]. Существуют уже известные решения данной проблемы с датчиками SENSOR THF-1 от компании «ThermoFleet», а также система контроля передачи данных с дистанционным считыванием информации RU 2 408 855 [6-7].

В разрабатываемом проекте используются малопотребляющий микроконтроллер STM32L072KZ и модуль связи RAK811. Микроконтроллер оснащен часами реального времени, которые позволяют ему пробуждаться из глубокого сна в заданное время, что значительно экономит энергию. Для передачи данных применяется сеть с низким потреблением энергии LoRaWAN. Для проверки идеи проекта был собран макет на отладочной плате Nucleo STM32L476RG и приемопередатчике LoRaWAN RAK811. Устройство работает в глубоком спящем режиме и потребляет ток около 10 мА; при получении сигнала от датчика или от часов реального времени (RTC) оно пробуждается и отправляет данные в облачный сервис Rightech.io [8].

Разработали проект малопотребляющего устройства для дистанционного контроля передачи данных, которое может быть использовано в различных промышленных приложениях. Устройство питается от батареи формата 18650 емкостью 3000 мАч и может применяться в отраслях, где развернута сеть LoRaWAN. Цикл работы устройства можно разделить на несколько основных этапов. В большинстве случаев устройство находится в состоянии глубокого сна с минимальным энергопотреблением. В этом режиме отключены практически все функциональные блоки, кроме часов реального времени, которые отслеживают время и инициируют выход из спящего режима. По истечении заданного времени, контролируемого часами реального времени, устройство "пробуждается". Обработка данных осуществляется микроконтроллером, считанные данные сохраняются в энергонезависимой памяти и передаются в облачный сервис каждые 10 минут.

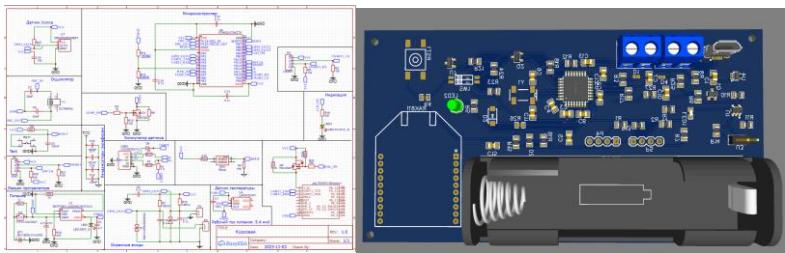


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант схемы и печатной платы

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrrakhmanov 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., Abdrrakhmanov V. K., Yumalim 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. Abdrrakhmanov 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. Abdrrakhmanov 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. Юмалин, Т. Т., Салихов, Р. Б., Абдрахманов, В. Х., Салихов, Т. Р., Важдаев, К. В., & Мунтянова, Т. Д. (2023). Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Нефтегазовое дело, 21(3), 232-242.
6. <https://testelektro.ru/production/beskontaktnyij-kontrol-temperaturyiznoj/?ysclid=m56pc6s6ru98410418>.
7. <https://chirondiagnosticsva.com/services/mskus/RU2408855C1>.
8. Rightech. URL: <https://rightech.io/ru>.

© Фахрисламова Д.У., Абдрахманов В.Х.,
Салихов Р.Б., 2025

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN

Оптимизация контроля за состоянием и местоположением сотрудников является актуальной задачей для повышения эффективности управления и обеспечения безопасности на предприятиях различных отраслей. Традиционные системы, такие как GPS и Wi-Fi, зачастую страдают от ограниченного покрытия и высокого энергопотребления, что делает применение технологии LoRaWAN перспективным направлением в разработке IoT-решений [1-5].

В рамках данного проекта разработана система мониторинга персонала, основанная на малопотребляющем микроконтроллере STM32L072KZ и модуле LoRaWAN RAK811. Использование этих компонентов обеспечивает значительное снижение энергозатрат за счёт применения глубокого спящего режима, что позволяет устройству работать от аккумулятора формата 18650 (3000 mA·ч) на протяжении более 100 дней при циклическом режиме работы. Система предусматривает передачу данных о местоположении и состоянии персонала, а также возможность отправки тревожных сигналов в экстренных ситуациях.

Для проверки концепции был создан прототип, включающий разработку схемы, изготовление печатной платы и программное обеспечение для обработки получаемых данных. Результаты испытаний прототипа подтвердили работоспособность системы, её энергоэффективность и экономическую обоснованность, что позволяет рекомендовать данное решение для дальнейшей доработки и массового внедрения в агрокомплексах, промышленных и других объектах, где требуется надежный контроль за персоналом [6-8].

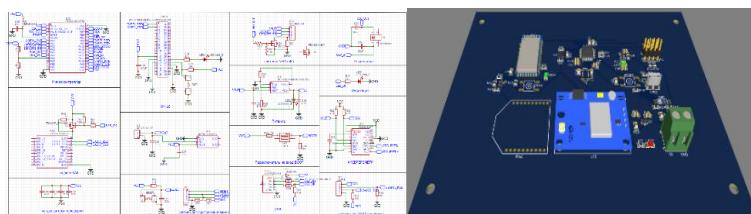


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант схемы и печатной платы

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. – T. 2096, № 1. – C. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalim 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. – C. 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. – C. 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. – T. 2096, № 1. – C. 012098.
5. Юмалин, Т. Т., Салихов, Р. Б., Абдрахманов, В. Х., Салихов, Т. Р., Важдаев, К. В., & Мунтянова, Т. Д. (2023). Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Нефтегазовое дело, 21(3), 232-242.
6. Bera NB-14 - NB-IoT счётчик импульсов с контролем сопротивления. URL: <https://iotvega.com/product/nb14>.
7. Bera Smart Badge. URL: <https://iotvega.com/product/badge>.
8. Rightech. URL: <https://rightech.io/ru>.

© Турсунзода С.Р., Абдрахманов В.Х., 2025

Муковнин В.В.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абдрахманов В.Х.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Использование технологий интернета вещей становится более актуальным в различных сферах жизни человека. Современные технологии IoT позволяют эффективно отслеживать основные условия хранения овощей, что способствует оптимизации дальнейшего производства [1].

Существуют аналогичные устройства от других производителей, например, система удаленного контроля температуры свеклы в кагатах на датчике и базовой станции LoRaWAN®. Используется базовая станция с развернутой сетью на Вега-БС 1.2 или Вега-БС 2.2 с датчиком температуры ТД-11. Данная система является малопотребляющей, что позволяет использовать её от беспроводного источника питания. Также можно выделить простоту установки, доступность, масштабируемость проекта за счёт большого количества устройств LoRa. Устройство на базовой станции используется для развертывания сетей датчиков и считывании с них информации через Вега БС-1.2. Базовая станция Вега БС-1.2 предназначена для развёртывания сети LoRaWAN® на частотах диапазона 863-870 МГц. Базовая станция — это центральный элемент построения сети на основе технологии LoRaWAN® и работает по принципу прозрачного шлюза между оконечными устройствами и сервером.

Учитывая цену аналогов, разработка собственной системы на основе других устройств становится актуальной, поскольку финансовые ресурсы используются эффективнее, улучшается точность измерения параметров за счет применения качественных термодатчиков, высокая масштабируемость и наиболее низкая цена среди конкурентов.

Вложение в систему контроля на базе IoT может значительно облегчить задачу измерения температуры, влажности и атмосферного давления. Также имеется возможность регулярного обновления датчиков, программного обеспечения и удобной замены сгоревших или неисправных датчиков быстрой заменой на новый. Применяемые компоненты в разрабатываемой системе позволяют получить достаточно высокую

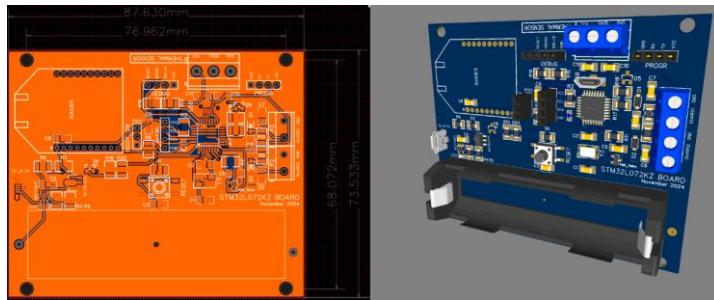
точность измерений главных параметров, включая соблюдение определенного интервала измерения. В следствие низкой стоимости, на определенную площадь можно установить несколько таких систем, от одной и более для контроля [2-4].

Использование своих разработок на основе готовых микроконтроллеров, но на собственной платформе, с подключением типовых датчиков позволяет оптимально расходовать средства и повышать эффективность производства сельского хозяйства.

Для реализации дистанционного контроля температуры овощей необходимо подобрать определенные микросхемы, датчики, разработать техническое задание, исходя из которого будет создаваться устройство [5].

Для построения были выбраны: микроконтроллер STM32L072KZ, датчик влажности и температуры SHT31, терморезистор для датчика температуры, модуль RAK811, а также дискретные элементы для обвязки.

Применяем STM Cube Mx для конфигурирования микроконтроллера и поиска самого подходящего для наших целей. Выбран микроконтроллер STM32 серии L0. Используемые компоненты подобраны с учетом потребления и запаса по мощности. Резисторы и конденсаторы в корпусе SMD 1210. Разводка платы производится по всем правилам с минимальными расстояниями дорожек, заливкой земляными полигонами, качественными термостабильными конденсаторами по питанию, фильтрами помех и правильным расположением всех компонентов на плате [6].



Rис. 1. Готовая печатная плата в двух слоях с шелкографией

Учитывая размеры платы был выбран корпус РЭА G311 с размерами 115мм / 90мм / 55мм. Данный корпус идеально подходит по габаритным размерам и расстояниям между посадочными отверстиями платы.

Устройство является малопотребляющим, был произведен расчет потребления от аккумулятора на 3000 мАч, которого хватает на 103 дня циклической работы [7].

Итого, стоимость всего проекта, включая разработку платы, стоимость производства, компонентов, корпуса, покупки аккумулятора составляет 28.5 долларов или 3000 рублей после округления.

В результате было выявлено, что использование технологии LoraWAN и микроконтроллера STM32 позволяет создать надежную и эффективную систему контроля свеклы в кагатах на расстоянии. Такая система позволит увеличить урожайность и качество продукции за счет более точного и своевременного контроля условий выращивания культуры [8].

Литература

1. Салихов Р.Б., Гаскарова А.А., Важдаев К.В., Аллабердин А.Б. Разработка автоматизированной системы экологического мониторинга с применением технологий ИОТ. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 2. С. 60-72.
2. Thermal sensor TD-11. URL: <https://iotvega.com/product/td11?ysclid=m4i8ednpm2668604470>.
3. Салихов Р.Б., Гаскарова А.А., Важдаев К.В., Аллабердин А.Б. Разработка автоматизированной системы экологического мониторинга с применением технологий ИОТ. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 2. С. 60-72.
4. Salikhov R. B., Abdrahmanov 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., Abdrahmanov 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.
6. Abdrahmanov 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.
7. Abdrahmanov 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.
8. Юмалин, Т. Т., Салихов, Р. Б., Абдрахманов, В. Х., Салихов, Т. Р., Важдаев, К. В., & Мунтянова, Т. Д. (2023). Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Нефтегазовое дело, 21(3), 232-242.

© Муковнин В.В., Абдрахманов В.Х.,
Салихов Р.Б., 2025

Матвеев А.Р., студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;

Абдрахманов В.Х.,

к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

Науч. рук.: Салихов Р.Б.,

д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОНИТОРИНГ УСЛОВИЙ ТРУДА В ПОМЕЩЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN

В условиях современных рабочих процессов вопросы охраны труда и здоровья сотрудников становятся очень важными. Эффективные методы обеспечения безопасности и комфорта работников имеют решающее значение для успешной работы компаний. Одним из ключевых аспектов является мониторинг условий труда в помещениях, который помогает выявлять и устранять возможные опасности, а также создавать более удобную атмосферу для работы [1-5].

По изучению данной темы, мной были найдены аналоги от: ООО «Вега-Абсолют» которые используются в мониторинге условий труда. В данной системе используются датчики температуры, датчик CO₂, датчик освещённости, датчик влажности. А также оборудование передает информацию при помощи технологии LoRaWAN [6]. Так же есть аналог от компании «Измеркон», в котором вы можете в реальном времени контролировать температурные зоны, уровень влажности, концентрацию CO₂ с целью оценки качества окружающей среды и качества вентиляции внутри зданий [7].

Я разработал проект контроля условий труда с применением датчиков температурных параметров, концентрации CO₂, освещённости помещения, уровня шума, а также слежением за влажностью. Был выбран микроконтроллер STM32L072, малопотребляющей серии для батарейного питания, при помощи программы STMCube. Предполагается использование устройства в крупных предприятиях, где будет развернута сеть LoRaWAN с помощью базовой станции. Преимущество моего устройства в том, что устройство может работать как на батарейном питании и не требовать разведения проводки, так и от стационарного питания. При работе от батарейного питания, устройство просыпается и отправляет данные, так же может срабатывать при превышении показателей, установленных в датчиках. Устройство будет реагировать на неблагоприятные условия климата в этом помещении и передавать информацию в облако оповещая клиента [8]. Также есть возможность его использования для подключения вентиляции и ламп в системах контроля для автоматического включения, что усиливает его функциональность.

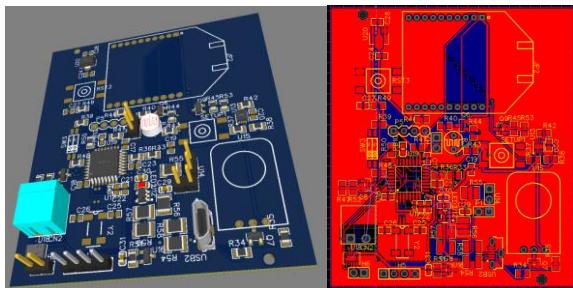


Рис. 1. Черновой вариант разработанной печатной платы устройства

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. - T. 2096. - №. 1. - C. 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. - C. 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. - C. 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. - T. 2096. - №. 1. - C. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Bega Smart-UM0101. Режим доступа: <https://iotvega.com/product/um0101>.
7. Мониторинг микроклимата. Режим доступа: <https://izmerkon.ru/catalog/analytics/monitoring-mikroklimata/>.
8. Салихов Р.Б., Гаскарова А.А., Важдаев К.В., Аллабердин А.Б. Разработка автоматизированной системы экологического мониторинга с применением технологий ИОТ. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 2. С. 60-72.

© Матвеев А.Р., Абдрахманов В.Х.,
Салихов Р.Б., 2025

МАЛОПОТРЕБЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LoRaWAN

Устройство дистанционного видеонаблюдения, заряжающееся от солнечного света, является нечто новым в современном мире. Безопасность является важной задачей, поэтому повсеместно используют видеокамеры [1-5].

Изучая данную тему, я нашел такие аналоги как: V380 PRO и iCSee-qe7, которые используют в дистанционной системе наблюдения [6]. В разрабатывающемся проекте используются малопотребляющая камера, работающая от аккумулятора. Используются часы реального времени, которые позволяют включаться камере на некоторое время и засыпать на продолжительное время, что значительно экономит энергию. А также оборудование передает информацию при помощи GSM. Так же есть аналог от iotvega.com, использующий технологию LoraWAN.

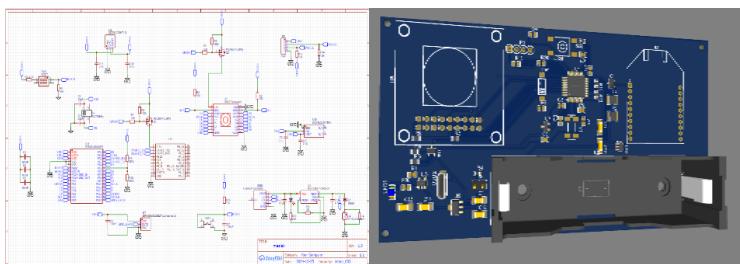


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант схемы и печатной платы

Я создал проект малопотребляющего устройства дистанционного видеонаблюдения, которое может быть использовано совместно с системами электропитания от солнечных панелей. Был выбран микроконтроллер STM32L052, работающий от батареи формата 18650 на 3500mA. Устройство может быть использовано в каких-либо крупных предприятиях, где развернута сеть LoraWAN. Устройство переходит в спящий режим и периодически просыпается благодаря часам реального времени для считывания данных [5-6]. Предполагается, что микроконтроллер просыпается каждые 5-10 минут и отправляет свои

данные (рис. 1). Кроме того, есть возможность пробуждения при срабатывании охранных входов или датчика холла. Так же была рассмотрена экономическая часть проекта, которая показывает, что разработанное устройство дешевле аналогов.

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microco1.ntroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – C. 229-233.
2. Salikhov R. B., Abdrrakhmanov 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. – C. 012109.
3. Abdrrakhmanov 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. – C. 234-238.
4. Abdrrakhmanov 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. – T. 2096. – №. 1. – C. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>.

© Маслак С.А., Абдрахманов В.Х., 2025

Куликовский И.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 IOT

Мониторинг холодильных установок необходим в современном мире. Является важной задачей, поскольку гарантирует их эффективную работу и предотвратит потенциальные проблемы, которые могут привести к потерям. Современные технологии позволяют осуществлять постоянный контроль за параметрами, такими как температура и влажность, что особенно критично для сохранения продуктов и не только [1-5].

Изучая данную тему, были рассмотрены аналоги от: ООО «АктивЭнерго» которые используются в холодильных установках. В данной системе используются датчики температуры, реле управления насоса. А также оборудование передает информацию при помощи GSM или локальную сеть Ethernet. Так же есть аналог от iotvega.com, использующий технологию LoraWAN. Решение по автоматизации холодильного оборудования полностью реализовано на основе базовых станций и оконечных устройств Vega-Абсолют. В системе используется контроль температурных режимов, повышение быстроты реагирования при нештатных ситуациях.

Предпосылками возникновения данного проекта являются большие финансовые потери при порче товара, необходимость точного контроля температурных режимов в камерах холодильных установок, потребность в мониторинге работоспособности холодильного оборудования, отсутствие информирования ответственного персонала о неплотно закрытых дверях в холодильную камеру.

Я создал проект для наблюдения за холодильными установками с применением датчиков для контроля температурных параметров, управления реле компрессора, а также слежением за не плотно закрытой дверью холодильной установки. Был выбран микроконтроллер STM32L072, при помощи программы STMCube, работающий от батареи формата 18650 на 3500mA. Устройство устанавливается на холодильной установке, которая может не иметь постоянного контроля. Устройство переходит в спящий режим и периодически просыпается благодаря часам реального времени для считывания данных [5-6]. Также имеется функция пробуждения при резких изменениях отслеживаемых параметров, что усиливает его функциональность. При условии, что микроконтроллер

просыпается каждые 5 минут и в течение 5 секунд отправляет свои данные. Было проверено, что 5 секунд достаточно для передачи данных. Из этого следует что устройство проработает 151 день, что подтверждено расчетами в курсовой работе. Так же была рассмотрена экономическая часть проекта, которая показывает, что разработанное устройство дешевле аналогов на 53%.

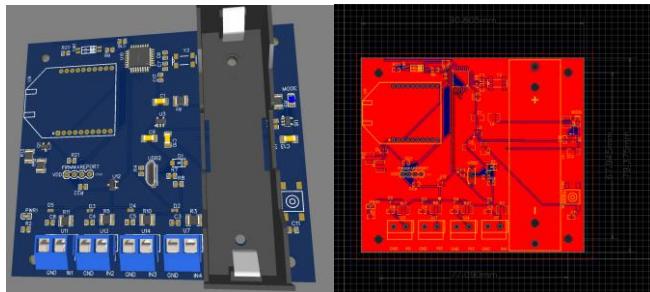


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант схемы и печатной платы

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. - T. 2096. - №. 1. - C. 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. - C. 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. - C. 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. - T. 2096. - №. 1. - C. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>.

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТОРГОВОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОТ

Автоматизация торгового комплекса необходима в современном мире. Автоматизация является важной задачей, поскольку гарантирует эффективную работу и предотвратит потенциальные проблемы, которые могут привести к потерям. Современные технологии позволяют осуществлять постоянный контроль за параметрами, такими как температура и влажность, что особенно критично для торгового комплекса и не только [1-5].

При изучение данной темы, мною были рассмотрены аналоги от: ООО "Облачная Платформа Комета" которые используются в торговых комплексах. В данной системе используются датчики протечки, водосчетчик и энергосчетчик. А также оборудование передает информацию при помощи GSM или локальную сеть Ethernet [7]. Так же есть аналог от IOT VEGA использующий технологию LoRaWAN. Решение по автоматизации торгового комплекса полностью реализовано на основе базовых станций и окончательных устройств Вега-Абсолют. В системе используется контроль температурных режимов, повышение быстроты реагирования при нештатных ситуациях. Предпосылками возникновения данного проекта стали большие финансовые расходы на обслуживание ТРЦ, отсутствие единой автоматизированной системы по сбору и учёту энергоресурсов (вода и электричество), бесконтрольное и нерациональное использование энергоресурсов, влияние человеческого фактора при передаче данных, дополнительные затраты на ручной труд, отсутствие контроля оплаты ресурсов, отсутствие механизма воздействия на должников.

Задачами проекта стали: автоматизация сбора и учёта энергоресурсов; сокращение издержек на «ручной труд»; обеспечение арендаторов достоверной информацией по расходам ресурсов в режиме онлайн; снижение расходов на эксплуатацию.

После рассмотрения аналогов, было принято решение по разработке устройства (рис. 1) со входом Modbus (RS-485) для водо- и энергосчетчиков которые передают свои данные через сеть LoRaWAN и с охранными входами для датчиков протечки и других охранных датчиков, например сигнализации. Устройство будет питаться от стационарного блока питания 9-36 В. Разрабатываемое устройство будет работать в реальном времени и позволит контролировать все энергоресурсы не только с персонального компьютера или ноутбука, но и с телефона, из любой

точки мира (что может быть немаловажным для заказчика). Предполагается, что будет реализована автоматическая отчётность, которая избавит от «ручного» труда, а интеграция с 1С упростит составление счетов, будут настроены уведомления о нештатных ситуациях, которые поступят ответственным лицам по электронной почте или в виде Push-уведомлений.

Так же была рассчитана экономическая часть проекта, которая показывает, что разработанное устройство дешевле аналогов на 20-24%.

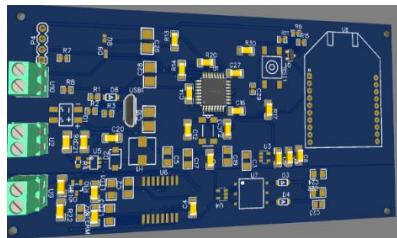


Рис. 1. Черновой вариант разработанного устройства

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. - T. 2096. - №. 1. - C. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalim 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. - C. 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. - C. 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. - T. 2096. - №. 1. - C. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>.
7. ООО "Облачная Платформа Комета" Режим доступа: <https://cometa.ru/>.

Исканьяров Н.Г.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Абдрахманов В.Х.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОНИТОРИНГ ЖКХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОТ

В мониторинге жилищно-коммунального хозяйства в последние годы активно используется интернет вещей (IoT), что помогает эффективно мониторить и предотвращать возможные проблемы, которые могут привести к потерям. Благодаря современным технологиям есть возможность осуществлять контроль параметров, как потребление воды, электроэнергии и тепла. Внедрение систем мониторинга ЖКХ позволяют вовремя выявлять неисправности и оптимизировать расходы, а это экономия ресурсов и повышение качества предоставляемых услуг [1-6].

При изучении данной темы, мной были рассмотрены аналоги от компании ООО «Производственное Объединение ОВЕН», которые используют для измерения аналоговых сигналов, преобразования измеренных величин в значения физических величин и последующей передачи их в сеть Ethernet. Так же есть аналог от Вега абсолют, использующий технологию LoraWAN. Решение по автоматизации сбора данных с тепловычислителей на основе оборудования Вега-Абсолют успешно внедрил NEKTA совместно с ООО «СИБАЙ-СЕРВИС» для управляющей компании города Сибай. Для реализации используется базовые станции Вега БС-2.2 и к каждому тепловычислителю ВКТ-7 был подключен конвертор Вега СИ-13-232 для удаленного сбора данных [7].

Я разработал устройство (рис. 1.) для считывания показаний с тепловычислителей (теплосчетчиков) по протоколу RS-232 и выдачи данных через сеть LoraWAN с определённой периодичностью, также есть охранные входы с возможностью их использования для контроля несанкционированного проникновения в помещение- обычно это подвал многоквартирного дома. Для работы устройства на территории ЖКХ необходимо развернуть сеть LoraWAN с использование базовых устройства Вега БС-2.2.

Устройство будет выходить на связь раз в 1,6,12,24 часа или же выходит на связь при сработки охранных входов, и также есть возможность перепрошивки через UART и конфигурирование через USB [8].

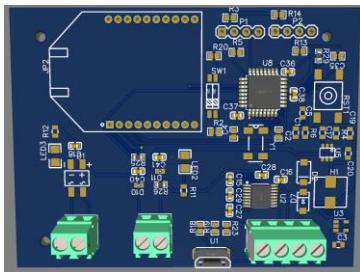


Рис. 1. Черновой вариант разведенной печатной платы

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. - T. 2096. - No. 1. - C. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalim 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. - C. 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. - C. 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. - T. 2096. - №. 1. - C. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Салихов Р.Б., Гаскарова А.А., Важдаев К.В., Аллабердин А.Б. Разработка автоматизированной системы экологического мониторинга с применением технологий ИОТ. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 2. С. 60-72.
7. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/> OwenMB210-101. Режим доступа: https://owen.ru/product/moduli_analogovogo_vvoda_s_universal_nimi_vhodami_ethernet_mv210.
8. IoT vega. Режим доступа: https://iotvega.com/turnkey_solutions/all/zkhk.

Ибрагимов Д.Р.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СЧЁТЧИК ИМПУЛЬСОВ НА LORAWAN ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВОДО- И ЭНЕРГОСЧЁТЧИКОВ

В настоящее время всё большим спросом пользуются устройства на основе Интернет Вещей (IoT) в сфере коммунального хозяйства [1-6].

Актуальность этого устройства заключается в том, помогают коммунальным службам отслеживать потребление в реальном времени и снизить затраты на коммунальные услуги и обслуживание систем водо- и энергоснабжения. В качестве аналога счетчика импульсов будет выступать Vega СИ-12 - счётчик импульсов с двумя входами [7]. Я разработал собственный проект счётчик импульсов на LoRaWAN для контроля водо- и энергосчётчиков, теплосчётчиков, расходомеров. Он выделяется на фоне других тем, что подключается к развернутой сети LoRaWAN, отличающийся надёжной связью устройства с сервером и большим радиусом действия. Подключение происходит с помощью модуля RAK811. Принцип работы устройства: микроконтроллер, который питан от батареи, подключенный проводами к клеммнику на счетчике, который не требует постоянного осмотра, и находится в спящем режиме. Устройство работает от батареи и периодически включает спящий режим и просыпается по часам реального времени, чтобы считывать данные с счётчика и сохранять полученные данные в памяти. После данные отправляются на сервер по сети LoRaWAN.

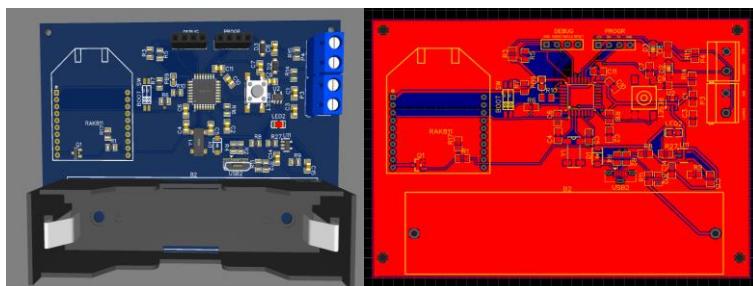


Рис. 1. Чёрновой вариант платы счётчика импульсов

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. - T. 2096. - No. 1. - C. 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. - C. 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. - C. 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. - T. 2096. - №. 1. - C. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Салихов Р.Б., Гаскарова А.А., Важдаев К.В., Аллабердин А.Б. Разработка автоматизированной системы экологического мониторинга с применением технологий ИОТ. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 2. С. 60-72.
7. Вега Абсолют. Режим доступа: <https://iotvega.com/product/si12>.

© Ибрагимов Д.Р., Абдрахманов В.Х.,
Салихов Р.Б., 2025

Зайнетдинов Т.И.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абдрахманов В.Х.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ПЕРЕГРЕВЕ С ДАТЧИКОМ ТЕМПЕРАТУРЫ НА БАЗЕ LORAWAN

Оптимизация контроля перегрева на предприятии является важной задачей, поэтому использование для этой цели IoT устройств актуально на сегодняшний день [1-5]. Есть известные решения проблемы, например, такие системы как «Зной» с датчиками ДТП300 и ТВД450 от фирмы «ТестЭлектро» и система контроля перегрева с дистанционным считыванием информации от фирмы "Chiron Diagnostics Ltd." [6-7].

В разрабатываемом проекте используются малопотребляющий микроконтроллер STM32L072KZ и модуль связи RAK811. В микроконтроллере имеются часы реального времени, которые позволяют пробуждаться из глубокого сна в заданное время, что значительно экономит энергию. Для передачи данных используется сеть малопотребляющая LoRaWAN. Для проверки идеи проекта, я собрал макет на отладочной плате Nucleo STM32L476RG и приемопередатчика LoRaWAN RAK811. Устройство работает в глубоком спящем режиме и потребляет ток около 10мкА, при поступлении сигнала от датчика температуры либо от часов реального времени (RTC), устройство пробуждается и отправляет данные в облачный сервис Rightech.io [8].

Я создал проект малопотребляющего устройства для дистанционного контроля перегрева промышленного оборудования, такие как двигатели или генераторы. Устройство питается от батареи формата 18650 на 3000mAh. Устройство может быть использовано в промышленности, где развернута сеть LoRaWAN. Цикл функционирования можно разложить на несколько ключевых этапов. В подавляющем большинстве времени устройство пребывает в состоянии глубокого сна, характеризующемся минимальным энергопотреблением. В этом режиме отключены практически все функциональные блоки, за исключением, часов реального времени, которые следят за течением времени и инициируют выход из спящего режима. После истечения заданного промежутка времени, управляемый часами реального времени, устройство "пробуждается". Обработка данных осуществляется микроконтроллером. Считанные

данные сохраняются в энергонезависимой памяти устройства и передаются в облачный сервис через определенный промежуток времени.

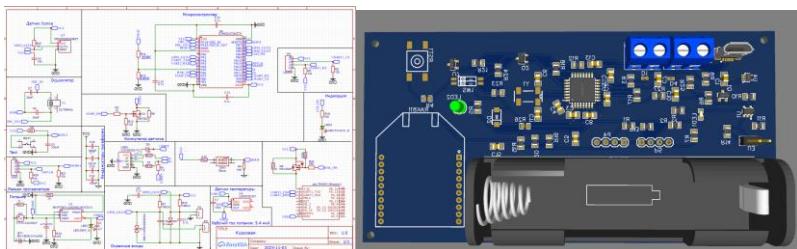


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант схемы и печатной платы

Литература

1. Salikhov R. B., Abdurakhmanov 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., Abdurakhmanov V. K., Yumalim 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. Abdurakhmanov 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. Abdurakhmanov 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. Юмалин, Т. Т., Салихов, Р. Б., Абдрахманов, В. Х., Салихов, Т. Р., Важдаев, К. В., & Мунтянова, Т. Д. (2023). Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Нефтегазовое дело, 21(3), 232-242.
6. ТестЭлектро URL: <https://testelektro.ru/production/beskontaktnyj-kontrol-temperaturyi-znoj/?ysclid=m56pc6sru98410418>.
7. Chiron Diagnostics Ltd URL: <https://chirondiagnosticsva.com/services/mskus>.
8. Rightech. URL: <https://rightech.io/ru>.

© Зайнетдинов Т.И., Абдрахманов В.Х.,
Салихов Р.Б., 2025

Амакасов А.А.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;

Абдрахманов В.Х.,
к.т.н. доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

УЧЕТ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LoRaWAN

Оптимизация контроля водных ресурсов является важной задачей, поэтому использование для этой цели IoT устройств актуально на сегодняшний день [1-5]. Есть известные решения проблемы, например, такие модули, как счетчики импульсов для учета водо- и энергоресурсов с использованием технологии NB IoT: Vega NB-14 от фирмы IoTVega и BC66-NB от фирмы Auroraevernet [6-7].

В разрабатываемом проекте моей используются малопотребляющий микроконтроллер STM32L072KZ и модуль связи RAK811. В микроконтроллере имеются часы реального времени, которые позволяют пробуждаться из глубокого сна в заданное время, что значительно экономит энергию. Для передачи данных используется сеть малопотребляющая сеть LoRaWAN. Для проверки идеи проекта, я собрал макет на отладочной плате Nucleo STM32L476RG и приемопередатчика LoRaWAN RAK811. Устройство работает в глубоком спящем режиме и потребляет ток около 10мА, при поступлении сигнала от датчика протечки либо от часов реального времени, устройство пробуждается и оправляет данные в облачный сервис Rightech.io [8].

Я создал проект малопотребляющего устройства для дистанционного контроля учета водных ресурсов. Устройство питается от батареи формата 18650 на 3000mAh. Устройство может быть использовано в агрокомплексах, где развернута сеть LoRaWAN. Цикл работы устройства можно описать следующим образом: импульсы от водо- и энергосчетчиков поступают на счетный вход устройства. Используется малопотребляющий счетчик LPTIM, который подсчитывает импульсы в режиме глубокого сна. Считанные данные сохраняются в энергонезависимой памяти устройства и передаются в облачный сервис каждые 5-10 минут. Также предусмотрен выход из спящего режима при поступлении сигнала на охранные входы, к которым могут быть подключены датчики протечки и другие датчики.

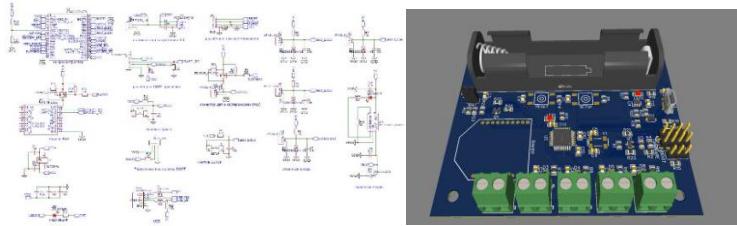


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант схемы и печатной платы

Литература

1. Salikhov R. B., Abdurakhmanov 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., Abdurakhmanov 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. Abdurakhmanov 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. Abdurakhmanov 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. Юмалин, Т. Т., Салихов, Р. Б., Абдрахманов, В. Х., Салихов, Т. Р., Важдаев, К. В., & Мунтянова, Т. Д. (2023). Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Нефтегазовое дело, 21(3), 232-242.
6. Вега NB-14 - NB-IoT счётчик импульсов с контролем сопротивления. URL: <https://iotvega.com/product/nb14>.
7. Автоматизированный учет водных ресурсов. URL: https://auroraevernet.ru/news/smart_water_metering/.
8. Rightech. URL: <https://rightech.io/ru>.

© Амакасов А.А., Абдрахманов В.Х.,
Салихов Р.Б., 2025

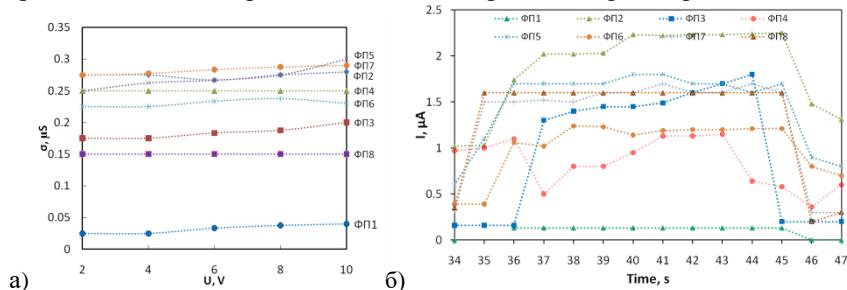
ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИАНИЛИНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ

В последнее время внимание исследователей посвящено изучению флуоресценции фотопроводящих свойств органических полупроводников [1-2]. Производные полианилина обладают фоточувствительностью [1]. Особый интерес уделяется тонкопленочным структурам на основе полианилина и его растворимых производных. [2].

В работе использованы соединения полианилина, которые ранее были синтезированы, их отличие в виде повышенной растворимости [3].

Фоторезисторы изготавливались на стеклянной подложке со слоем оксида индия олова. Поверх методом центрифугирования создавались тонкие пленки полианилина. Конечной пленкой был контакт из алюминия. Исследованы оптоэлектронные свойства нового полимера – поли-2-(1-метилбут-2-ен-1-ил) анилина с использованием разных донирующих и окисляющих агентов, а также исследование флуоресценции и фотопроводимости тонких пленок на основе полученных материалов.

На рис. 1 представлены характеристики восьми веществ зависимости проводимости от напряжения и кинетика фототока при напряжении 10 В.



Rис. 1. (а) проводимость образцов пленок, (б) кинетика фототока от времени облучения 10 секунд

Проводимость пленок (рис. 1) слабо зависит от приложенного напряжения. Зависимость тока от мощности излучения была линейная. Темновой ток в районе 50 нано ампера, а под облучением ток возрастает в 40 раз до 2 мкА.

Измерена чувствительность фоторезистивных структур, она достигает значений $8000 \mu\text{A}\cdot\text{W}^{-1}$. Светочувствительность достигала значения 3000.

На рис. 1б. представлены характеристики тока фоторезисторов с тонкой пленкой производной полианилина в зависимости от времени облучения. Под облучением ток возрастает в 30-40 раз с 50 нА до 2000 нА. Время нарастания под действием облучения 1 с.

Шероховатость поверхности производных полианилина имеют значения от единицы до 100 нм (рис. 2).

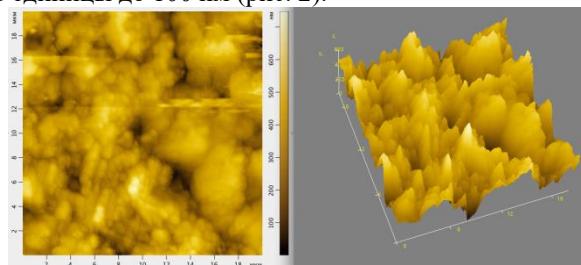


Рис. 2. Морфология поверхности одной из производной полианилина

В зависимости от окислителя шероховатость при FeCl_3 меньше в три раза, чем при $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$. Преимуществом этих устройств является то, что технология их производства совместима с современными методами печатной органической электроники. Все измерения проводились в стандартных условиях – в атмосферном воздухе, и образцы сохраняют свои электропроводящие свойства на протяжении более 2 лет.

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

Литература

1. Salikhov R.B., Mustafin A.G., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Sharafullin I.F., Andriianova A.N., Latypova L.R. Photoconductivity of thin films obtained from a new type of polyindole // Materials, 2022, v. 15, № 1, p. 228.
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.
3. Andriianova, A. N., Gribko, D. E., Mullagaliev, I. N., Salikhov, R. B., & Mustafin, A. G. Influence of Synthesis Conditions on the Physicochemical Properties of Poly-2-[(2E) -1-methyl-2-buten-1-yl] aniline // Polymer Science, Series B, (2021), v. 63, pp.135-141.

Айдагулов А.А.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СВЕЙНПОЛА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Метод Свейнполя, предложенный в 1983 году Р. Свейнполом, является одним из основных подходов к оптической характеризации тонких плёнок. Основанный на анализе спектров пропускания при нормальном падении света, он отличается простотой, высокой точностью и вычислительной эффективностью, позволяя определять толщину плёнки d и показатель преломления n [1].

Для проверки метода были изготовлены тонкие пленки (рис. 1) из полимера полиметилмакрилата (ПММА) с наличием допантов или без. В качестве допантов использовали фенолфталеином(ФФ) и 3-бензолиденфталидом(БФ), концентрация допантов 10 вес. % массы ПММА [2-4].



Рис. 1. Структура исследуемого образца: 1-слой ПММА, 2-кварцевое стекло

Снятие спектров оптического пропускания для дальнейшего анализа проводилось на спектрофотометре Shimadzu UV-1800 в диапазоне от 190 до 800 нм. Основная идея метода Свейнполя на анализе интерференционных осцилляций в спектре пропускания (рис. 2), возникающих при прохождении света через тонкую плёнку. Эти осцилляции обусловлены внутренними отражениями и интерференцией. Ключевым этапом является построение верхней и нижней огибающих спектра, через точки касания которых определяются оптические свойства плёнки [5-6].

Контроль толщины получаемой пленки осуществлялся методом атомно-силовой микроскопии в прыжковом режиме на оборудовании NT-MDT Ntegra II. Допиривание пленки ПММА влияет на толщину. Уменьшению толщины органических пленок примерно на 59% в случае допиривания фенолфталеином и на 56% в случае – 3-бензилиденфталида. Это, по-видимому, связано с уменьшением вязкости раствора за счет наличия низкомолекулярных соединений и улучшением смачиваемости поверхности подложки.

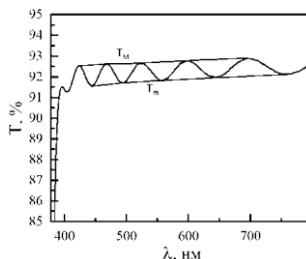


Рис. 2. Спектр пропускания вместе с конвертными кривыми

Таким образом результаты показывают, что метод Свейнпла пред назначен для оценки толщины полупроводниковых материалов неорганических материалов подходит для органических пленок. Толщина пленки, оцененная методом Свейнпла совпадают с экспериментальными результатами полученные методом атомно-силовой микроскопией.

Литература

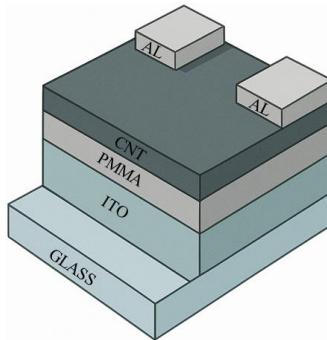
1. New polymers for organic solar cells salikhov r.b., biglova yu.n., salikhov t.r., yumaguzin yu.m. journal of nanoelectronics and optoelectronics. 2015. Т. 9. № 6. С. 792-794.
2. Solar-energy photoconverters based on thin films of organic materials salikhov r.b., biglova y.u., yumaguzin y.m., salikhov t.r., miftakhov m.s., mustafin a.g. technical physics letters. 2013. т. 39. № 10. с. 854-857.
3. Influence of copolymer composition on the properties of soluble poly (aniline-co-2-[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl] aniline) s latypova l.r., andriianova a.n., usmanova g.s., salikhov r.b., mustafin a.g. polymer international. 2023. т. 72. № 4. С. 440-450.
4. 1,2,3-triazolylfullerene-based n-type semiconductor materials for organic field-effect transistors sadretdinova z.r., akhmetov a.r., salikhov r.b., mullagaliev i.n., salikhov t.r. mendeleev communications. 2023. т. 33. № 3. С. 320-322.
5. Hybrid molecules based on fullerene c60 and dithienylethenes. synthesis and photochromic properties. optically controlled organic field-effect transistors khuzin a.a., tuktarov a.r., khalilov l.m., khuzina l.l., dzhemilev u.m., venidiktova o.v., barachevsky v.a., mullagaliev i.n., salikhov t.r., salikhov r.b. photochemistry and photobiology. 2022. т. 98. № 4. с. 815-822.
6. Synthesis and physicochemical properties of poly[2-(cyclohex-2-en-1-yl)aniline] as a new polyaniline derivative Andrianova A.N., Sattarova A.F., Abdrakhmanov I.B., Mustafin A.G., Gribko D.E., Petrov I.S., Mullagaliev I., Salikhov R.B. New Journal of Chemistry. 2021. Т. 45. № 14. С. 6356-6366.

Айдагулов А.А.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СОЗДАНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Современная электроника стремится к миниатюрности и энергоэффективности, и в условиях ограничений кремниевых технологий возрастает интерес к новым материалам. Углеродные нанотрубки (УНТ) выделяются своими высокими электрическими и механическими свойствами, что делает их перспективными для создания транзисторов. В качестве диэлектрической подложки эффективно используется полиметилметакрилат (ПММА) — прозрачный и устойчивый полимер, совместимый сnanoструктурами. Комбинация ПММА и УНТ открывает возможности для разработки инновационных электронных устройств[1].

Образцы полевых транзисторов (рис. 1) были изготовлены на основе УНТ. Диэлектрический слой ПММА наносился из раствора циклогексанона на стеклянные подложки с затвором ИТО. После ПММА подвергался отжигу в вакуумной печи при 95 градусах на протяжении 1 часа для удаления остатков растворителя. Полупроводниковый слой NANO-C наносился на ПММА из ячейки Кнудсена. Поверх наносились Алюминиевые электроды, сток и исток, толщиной 500 нм [2-4].



Rис. 1. Структура исследуемого полевого транзистора

Характеристики полевых транзисторов снимались при комнатной температуре на воздухе с использованием схемы с общим истоком. При подаче напряжения до 10 В токи достигают 1,9 мА [5-6].

В ходе работы была рассмотрена возможность создания транзисторов на основе ПММА и УНТ, обладающих уникальными электрическими и механическими свойствами. Полученные результаты подтвердили перспективность такой комбинации материалов для разработки гибких и прозрачных электронных устройств. Полиметилметакрилат выступает как эффективная диэлектрическая подложка, обеспечивая хорошую совместимость с углеродными нанотрубками, которые, в свою очередь, играют роль проводящего канала благодаря своей высокой подвижности носителей заряда. Таким образом, разработка транзисторов на основе ПММА и УНТ открывает новые горизонты для создания компактной, энергоэффективной и гибкой электроники будущего.

Литература

1. New polymers for organic solar cells Salikhov R.B., Biglova Yu.N., Salikhov T.R., Yumaguzin Yu.M. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics. 2015. Т. 9. № 6. С. 792-794.
2. Solar-energy photoconverters based on thin films of organic materials Salikhov R.B., Biglova Y.N., Yumaguzin Y.M., Salikhov T.R., Miftakhov M.S., Mustafin A.G. Technical Physics Letters. 2013. Т. 39. № 10. С. 854-857.
3. Influence of copolymer composition on the properties of soluble poly (aniline-co-2-[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl] aniline) S.Latypova L.R., Andrianova A.N., Usmanova G.S., Salikhov R.B., Mustafin A.G. Polymer International. 2023. Т. 72. № 4. С. 440-450.
4. 1,2,3-Triazolylfullerene-based n-type semiconductor materials for organic field-effect transistors Sadretdinova Z.R., Akhmetov A.R., Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R. Mendeleev Communications. 2023. Т. 33. № 3. С. 320-322.
5. Hybrid molecules based on fullerene c60 and dithienylethenes. synthesis and photochromic properties. optically controlled organic field-effect transistors Khuzin A.A., Tuktarov A.R., Khalilov L.M., Khuzina L.L., Dzhemilev U.M., Venidiktova O.V., Barachevsky V.A., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Salikhov R.B. Photochemistry and Photobiology. 2022. Т. 98. № 4. С. 815-822.
6. Synthesis and physicochemical properties of poly[2-(cyclohex-2-en-1-yl)aniline] as a new polyaniline derivative Andrianova A.N., Sattarova A.F., Abdurakhmanov I.B., Mustafin A.G., Gribko D.E., Petrov I.S., Mullagaliev I., Salikhov R.B. New Journal of Chemistry. 2021. Т. 45. № 14. С. 6356-6366.

© Айдагулов А.А., Салихов Р.Б., 2025

Миронов Р.А.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Баимова Ю.А.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Мурзаев Р.Т.,
к.ф.-м.н., зав. лаб. ИПСМ РАН, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУЛЛЕРЕНА C₆₀ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МЕДИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Исследование физических и химических свойств фуллерена, как элемента композитов, является актуальным, так как углерод-металлические композиты все больше входят в нашу жизнь [1]. В настоящее время обсуждаются идеи использования фуллеренов в создании фотоприемников и оптоэлектронных устройств, катализаторов роста, алмазных и алмазоподобных пленок, сверхпроводящих материалов. Фуллерены применяются в синтезе композитов с улучшенными свойствами [2].

Рассчитаны коэффициенты теплопроводности для трех структур: меди, меди с фуллереном C₆₀, меди без фуллерена C₆₀. Данные сопоставлены со стандартными значениями для меди из литературы [3]. Для расчёта коэффициентов теплопроводности выбраны размеры структур: L_x≈217 Å, L_y=54 Å, L_z=36 Å. Все расчеты проводятся с использованием программного пакета LAMMPS и межатомных потенциалов EAM для взаимодействия Cu-Cu, AIREBO для взаимодействия C-C, Леннарда-Джонса для взаимодействия C-Cu. Расчеты выполнены с использованием NVE-ансамбля.

Расчёт коэффициентов теплопроводности проводилось методом Ланжевена, который заключается в описании динамики систем, подверженных случайному колебаниям. Уравнение Ланжевена моделирует эволюцию переменных системы путем включения как детерминированных, так и стохастических параметров.

Результаты проведённых расчётов показали, что внедрение частиц фуллерена C₆₀ в медь приводит к понижению коэффициента теплопроводности на всем температурном интервале от 100 до 1000 К. В температурном интервале от 100 до 800 К наблюдается понижение коэффициента теплопроводности в среднем на 20%. Такое поведение связано с тем, что фуллерен образует поры в структуре меди, что в свою очередь препятствует передаче тепла.

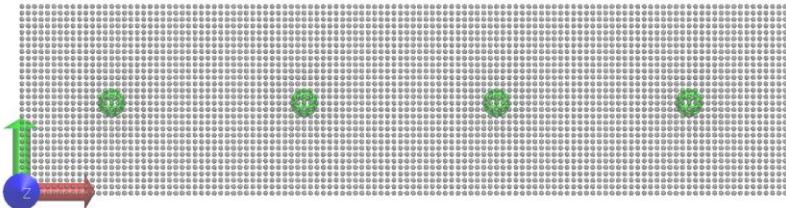


Рис. 1. Начальная структура меди с фуллеренами в проекции на плоскость xy

Выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 20-72-10112-П.

Литература

1. Латыпов, З.З. Фуллерены и углеродные нанокластеры / З.З. Латыпов, Л.Н. Гааль // Науч. приборостроение. – 2005. – Т. 15, № 2. – С. 82-87.
2. Безручко, Г.С. Влияние добавки фуллерена C₆₀ на прочностные свойства нанокристаллической меди и алюминия при ударно-волновом нагружении / Разоренов С.В. Попов М.Ю. // Журнал технической физики, 2014, том 84, вып. 3, С. 74.
3. Kobelev, N. P. Temperature dependence of elastic moduli for solid C₆₀ / N. P. Kobelev, R. K. Nikolaev, N. S. Sidorov, Ya. M. Soifer // Physics of the Solid State. – 2001. – V. 43. – P. 2344.

© Миронов Р.А., Баимова Ю.А.,
Мурзаев Р.Т., 2025

Колесников В.В.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Баимова Ю.А.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Мурзаев Р.Т.,
к.ф.-м.н., зав. лаб. ИПСМ РАН, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГРАФИНОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Двумерные материалы стали объектом активных исследований из-за их уникальных механических и физических свойств [1-2]. Один из таких материалов - графин, представляющий собой монослой атомов углерода с sp - и sp^2 -гибридизацией и особым расположением атомов в решетке. Графин представляет большой интерес для использования в различных областях, например для новых электронных устройств. В данном исследовании была проведена оценка теплопроводности графина с использованием метода молекулярной динамики.

Рассчитаны коэффициенты теплопроводности для пяти конфигураций графина ($\alpha, \beta_1, \beta_3, \gamma_1, \gamma_2$) и сопоставлены со значениями для графена. Для расчёта коэффициентов теплопроводности выбраны размеры структур: $L_x \approx 400 \text{ \AA}$, $L_y = 100 \text{ \AA}$, $L_z = 100 \text{ \AA}$. Размер ячейки моделирования по нормали к слою графина выбран так, чтобы он во много раз превышал толщину графина. Все расчёты проводятся с использованием программного пакета LAMMPS и межатомного потенциала AIREBO. Расчёты выполнены с использованием NVE-ансамбля.

Расчёт коэффициентов теплопроводности проводилось методом Ланжевена, который заключается в описании динамики систем, подверженных случайному колебаниям [3]. Уравнение Ланжевена моделирует эволюцию переменных системы, путём включения как детерминированных, так и стохастических параметров.

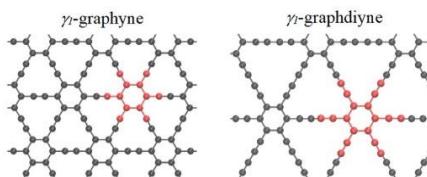


Рис. 1. Пример структуры графинов

Результаты расчётов показали, что коэффициент теплопроводности альфа-графина в 5 раз меньше коэффициента теплопроводности графена. Понижение коэффициента теплопроводности связано с тем, что плотность атомов углерода в графине меньше чем в графене. Исследование теплопроводности является важным для дальнейшего применения графинов в электронных устройствах.

Выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 20-72-10112-П.

Литература

1. M. Xue, H. Qiu, and W. Guo. Exceptionally fast water desalination at complete salt rejection by pristine graphyne monolayers. *Nanotechnology* // 2013. - V. 24. - P. 505.
2. Hirsch, The era of carbon allotropes *Nature Mater* // 2010. - V. 9. - P. 868-871.
3. Liu, C. D. Reddy, J. Jiang, J. A. Baimova, S. V. Dmitriev, A. A. Nazarov, and K. Zhou. Morphology and in-plane thermal conductivity of hybrid graphene sheets //*Applied Physics Letters*. 2012. - V. 21. - P. 211-909.

© Колесников В.В., Баймова Ю.А.,
Мурзаев Р.Т., 2025

ВЛИЯНИЕ АТОМОВ ЛИТИЯ НА ГРАВИМЕТРИЧЕСКУЮ ПЛОТНОСТЬ ВОДОРОДА В ГРАФЕНОВОЙ ЧЕШУЙКЕ

Адсорбция водорода на углеродных наноматериалах, в частности, на графеновых структурах, является предметом интенсивных исследований в связи с перспективами создания эффективных систем хранения энергии [1]. Модификация графена гетероатомами, такими как литий, может существенно влиять на его адсорбционные свойства за счет изменения электронной структуры и повышения энергии связи водорода [2].

В настоящей работе методом молекулярной динамики (МД) исследован процесс влияния атомов лития на гравиметрическую плотность водорода в графеновой чешуйке. Целью исследования является определение оптимальной концентрации лития для достижения максимальной гравиметрической плотности адсорбированного водорода.

Для проведения МД моделирования использовался программный пакет LAMMPS. Рассматривались графеновые наночешуйки, содержащие 1 и 10 атомов лития. Система моделировалась при температурах 77 и 300 К. Межатомные взаимодействия С-С и С-Н описывались с помощью потенциала AIREBO, учитывающего образование химических связей, а взаимодействия Li-Li, C-Li и H-Li – с помощью потенциала Морзе.

Результаты моделирования показали, что адсорбционные характеристики графена существенно зависят от концентрации лития и температуры. Наибольшая гравиметрическая плотность водорода при 77 К наблюдалась на структурах с минимальным содержанием лития (1 атом), что может быть связано с формированием благоприятных центров адсорбции. При повышении температуры до 300 К, напротив, более эффективной оказалась наночешуйка с максимальной концентрацией лития (10 атомов), что указывает на изменение механизма адсорбции при повышенных температурах. Полученные данные могут быть полезны для разработки новых материалов для хранения водорода на основе графена.

Литература

1. Баймова Ю.А., Мулюков Р.Р., Графен, нанотрубки и другие углеродныеnanoструктуры: монография Баймова Ю.А., Мулюков Р.Р. // М.: РАН, 2018.
2. Krylova K.A., Baimova J.A., Lobzenko I.P., Rudskoy A.I., // Crumpled graphene as a hydrogen storage media: Atomistic simulation, Physica B: Condensed Matter. 2020 583P. 412020 // <https://doi.org/10.1016/j.physb.2020.412020>.

Бассареев А.А.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Крылова К.А.,
к.ф.-м.н., с.н.с. ИПСМ РАН, г. Уфа

ПРОЦЕСС ДЕСОРБЦИИ АТОМОВ ВОДОРОДА ЧЕШУЙКИ СКОМКАННОГО ГРАФЕНА С АТОМАМИ ЛИТИЯ

В условиях глобального перехода к альтернативным источникам энергии водород привлекает внимание благодаря высокой удельной энергоемкости и экологичности. Однако его низкая плотность и сложность хранения препятствуют широкому внедрению. Углеродные наноматериалы, такие как скомканный графен, обладают высокой удельной площадью поверхности и хорошим потенциалом для обратимой сорбции водорода [1]. Однако их способность к адсорбции водорода в стандартных условиях не превышает 1-2 масс.%, что не соответствует требованиям для эффективного применения в водородной энергетике. Исследования [2] показывают, что увеличение давления и снижение температуры улучшают этот показатель. Для дальнейшего повышения водород-сорбционных свойств предлагается вводить литий, который позволяет увеличить количество активных центров связывания водорода, повышая гравиметрическую плотность и улучшая сорбционные свойства [3]. Данная работа посвящена изучению влияния концентрации лития на процессы десорбции водорода из чешуйки скомканного графена, с акцентом на оптимизацию условий хранения.

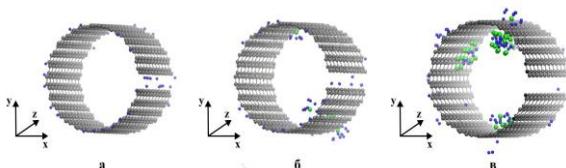


Рис. 1. Исходная структура чешуйки скомканного графена без атомов лития (а) и легированного литием: 16 (б) и 64 атома Li (в). Атомы углерода, водорода и лития показаны серым, голубым и зеленым цветом соответственно

Исследование выполнено методом молекулярной динамики с использованием программного пакета LAMMPS. Взаимодействия между атомами углерода и водорода описывались потенциалом AIREBO, а взаимодействия с участием лития (Li-Li, Li-C, Li-H) – потенциалом Морзе. Чешуйка скомканного графена, полученная из углеродной нанотрубки диаметром 2 нм и длиной 2,5 нм, содержала 286 атомов углерода. Рассматривались три концентрации лития: 0, 16 и 64 атома, внедренные в структуру (см. рис. 1). Отметим, что предварительно исследуемые

структуры были наводорожены, посредством их выдержки при 77 и 300 К до достижения максимально возможной гравиметрической плотности. Моделирование процесса разводораживания структур проводились в NPT-ансамбле с термостатом Носе-Гувера в двух температурных режимах: нагрев от 77 до 500 К и от 300 до 500 К, со скоростью нагрева 2 К/пс. Давление поддерживалось на уровне 1 атм с периодическими граничными условиями.

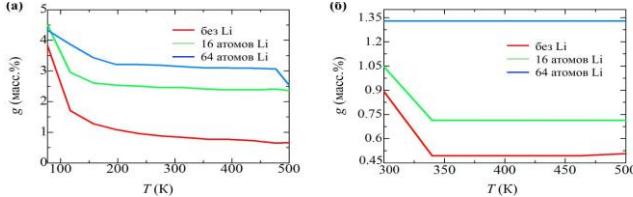


Рис. 2. Зависимость гравиметрической плотности чешуек скомканного графена с разным количеством атомов лития от температуры нагрева от 77 К до 500 К (а) и от 300 К до 500 К (б)

Начальная гравиметрическая плотность при 77 К составила 3,8% для структуры без лития, 4,5% для 16 атомов лития и 4,3% для 64 атомов лития. При нагреве до 500 К значения снизились до 0,6%, 2,3% и 2,5% соответственно (см. рис. 2а). При 300 К начальная гравиметрическая плотность достигла 0,9%, 1,05% и 1,33% (см. рис. 2б). При нагреве с 300 до 500 К для структур без лития и с 16 атомами лития наблюдалось снижение g , а у структуры с 64 атомами лития при нагреве процесс десорбции не начинался.

Установлено, что оптимальной концентрацией при низких температурах признаны 16 атомов лития, тогда как 64 атома обеспечивают устойчивость при повышенных температурах, но обратимой десорбции водорода добиться сложно. Перспективы легирования литием очевидны, особенно при низких температурах, однако необходимо уменьшать количество лития, чтобы исключить его коагуляцию, поскольку это ухудшает сорбционные свойства.

Литература

1. Cranford S.W., Buehler M.J. Packing efficiency and accessible surface area of crumpled graphene // Physical Review B. 2011. V. 84, № 20. P. 205451.
2. Jain V., Kandasubramanian B. Functionalized graphene materials for hydrogen storage. // Journal of Materials Science. 2020. V. 55, № 6. P. 1865–1903.
3. Rekha B., Seenithurai S., Pandyan R.K. High capacity hydrogen storage in Li decorated octagraphene—a first principles study // Nano Hybrids and Composites. 2017. V. 17. P. 131–139.

ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРОВ АММИАКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO NANO

На сегодняшний день существуют различные датчики для определения концентрации паров аммиака, однако они зачастую являются дорогими, громоздкими или сложными в применении. С развитием микроэлектроники появилась возможность создания компактных и недорогих измерительных устройств на базе открытых аппаратных платформ. Рассмотрены структура устройства, процесс измерения и обработка данных. Предложенное решение может применяться для экологического мониторинга и в лабораторных исследованиях [1-2].

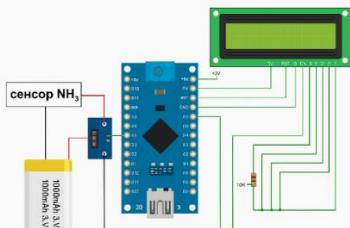


Рис. 1. Схема подключения компонентов системы измерения концентрации паров аммиака на микроконтроллере Arduino Nano

Это решение представляет собой бюджетный и доступный инструмент для мониторинга концентрации аммиака в различных условиях. Используемый пленочный сенсор на основе хитозана и йодида серебра (AgI) продемонстрировал высокую чувствительность и стабильность при измерении, а прецизионный усилитель обеспечил точность и надежность данных.

Литература

1. Салихов, Р.Б., Юмалин, Т.Т., Сафаргалин, И.Н., Салихов, Т.Р., & Важдаев, К.В. (2024). Тонкопленочный датчик метана на основе углеродного композита. Нефтегазовое дело, 22(5), 200-209.
2. Сафаргалин И.Н., Салихов Р.Б. Сенсоры метана на основе органических тонкопленочных структур //Актуальные вопросы современного материаловедения. – 2023. – С. 178-181.

Баджассилона Г.Б.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Сафаргалин И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С НАНОЧАСТИЦАМИ ЙОДИДА СЕРЕБРА

Разработка высокочувствительных сенсоров с использованием биополимерных матриц становится одним из ключевых направлений в современной электронике, в том числе для применения в гибких и биоразлагаемых устройствах. Актуальность данного исследования обусловлена поиском альтернатив недорогим и экологичным материалам, обеспечивающим эффективный перенос заряда[1-7].

В настоящей работе исследуется вольтамперная характеристика тонкой пленки хитозана, модифицированной наночастицами йодида серебра (AgI). Модификация биополимера добавлением AgI позволяет создать дополнительные проводящие каналы, что ведет к повышению общей электропроводности композита. Анализ ВАХ позволяет определить линейные зависимости между приложенным напряжением и током, выявляя переходные процессы между различными режимами переноса заряда. Исследование включает оценку влияния концентрации наночастиц на параметры ВАХ, динамику формирования проводящих путей и устойчивость сенсорного элемента при изменении внешних электрических полей.

Представленные экспериментальные данные демонстрируют, что увеличение содержания AgI приводит к выраженной нелинейности характерной зависимости, обусловленной изменением механизмов туннельного и полевого переноса заряда. Такие результаты свидетельствуют о высоком потенциале данного материала для использования в сенсорах, ориентированных на регистрацию малых токовых сигналов в условиях изменяющихся электрических нагрузок.

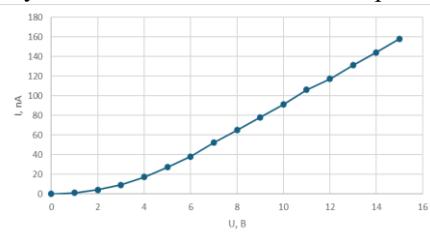


Рис. 1. Вольтамперная характеристика пленки хитозана с AgI

Таким образом, материал на основе хитозана с наночастицами йодида серебра демонстрирует многообещающий поддон, подходящий для использования в различных электронных датчиках и устройствах, включая биосенсоры и гибкие электронные элементы.

Литература

1. 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, v. 15, pp. 70-79.
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. Gadiev, R.M., Lachinov, A.N., Kornilov, V.M., Salikhov, R.B., Rakhamiev, R.G., & Yusupov, A.R. Anomalously high conductivity along the interface of two dielectric polymers // JETP letters, 2010, v. 90, pp. 726-730.
4. Mustafin, A.G., Latypova, L.R., Andriianova, A.N., Salikhov, S.M., Sattarova, A.F., Mullagaliev, I.N., Abdurakhmanov, I.B. Synthesis and Physicochemical Properties of Poly (2-ethyl-3-methylindole) // Macromolecules, 2020, v. 53, №. 18, pp. 8050-8059.
5. Salikhov, R.B., Lachinov, A.N., & Bunakov, A.A. Charge transfer in thin polymer films of polyarylenephthalides // Physics of the Solid State, 2007, v. 49, pp. 185-188.
6. Salikhov, R.B., Zilberg, R.A., Bulysheva, E.O., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Teres, Y.B. Nanocomposite thin-film structures based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide with SWCNT // Письма о материалах, 2023, v. 13, pp. 132-137.
7. Базунова М.В., Салихов Р.Б., Терегулов Т.Б., Муллагалиев И.Н., Салихов Т.Р., Сафаргалин И.Н., Остальцова А.Д. Нанокомпозитные тонкоплечные материалы на основе полисахаридов и наночастиц иодида серебра для использования в сенсорных устройствах // Журнал прикладной химии, 2024, v. 97, №. 4, pp. 347-353.

© Баджассилона Г.Б., Сафаргалин И.Н., 2025

Миннеахметов Д.И.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук. Сафаргалин И.Н.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С НАНОЧАСТИЦАМИ ЙОДИДА СЕРЕБРА

Контроль влажности критичен в широком спектре областей, от сельского хозяйства до здравоохранения. Необходимость в точных и надежных датчиках влажности обуславливает актуальность разработки новых, чувствительных и экономически эффективных решений. Существующие датчики часто ограничены в чувствительности, дороги в производстве и сложны в интеграции. Поэтому активно ведутся исследования по созданию новых типов датчиков влажности, основанных на различных материалах и принципах работы. Особое внимание уделяется использованию полимерных материалов, благодаря их гибкости, низкой стоимости и возможности модификации свойств [1-7].

Данная работа посвящена исследованию датчика влажности на основе биоразлагаемого полимера хитозина, модифицированного наночастицами йодида серебра (AgI). Введение AgI направлено на повышение электропроводности сенсорного материала и, как следствие, увеличение чувствительности датчика к изменениям влажности. Представлены результаты исследования влияния концентрации AgI на ключевые параметры датчика: чувствительность, быстродействие.

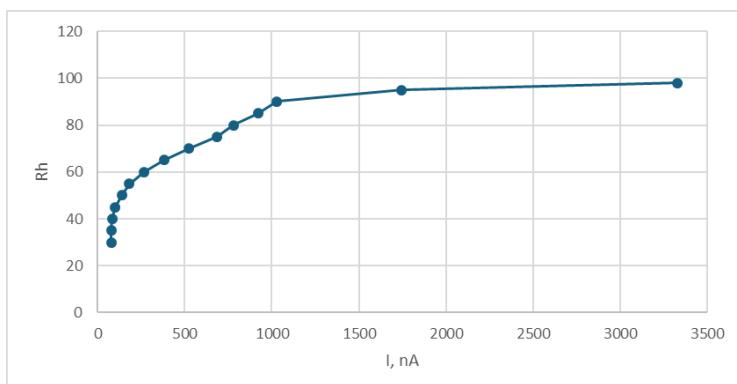


Рис. 1. Зависимость влажности от тока пленки хитозана

Датчики влажности на основе хитозана с наночастицами йодида серебра представляют собой перспективное направление в разработке сенсорных технологий. Хитозан, благодаря своим природным свойствам, биосовместимости и легкости модификации, служит эффективной основой для создания чувствительных элементов. Добавление наночастиц йодида серебра улучшает электропроводность и чувствительность датчика, что позволяет ему быстро и точно реагировать на изменения уровня влажности.

Литература

1. Базунова М.В., Салихов Р.Б., Терегулов Т.Б., Муллагалиев И.Н., Салихов Т.Р., Сафаргалин И.Н., Остальцова А.Д. Нанокомпозитные тонкоплечные материалы на основе полисахаридов и наночастиц иодида серебра для использования в сенсорных устройствах // Журнал прикладной химии, 2024, v. 97, №. 4, pp. 347-353.
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 (anilineco2[2chloro1methylbut2en1yl] aniline) s // Polymer International, 2023, v. 72, №. 4, pp. 440-450.
3. Gadiev, R. M., Lachinov, A. N., Kornilov, V. M., Salikhov, R. B., Rakhmeev, R. G., & Yusupov, A. R. Anomalously high conductivity along the interface of two dielectric polymers // JETP letters, 2010, v. 90, pp. 726-730.
4. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Sattarova, A. F., Mullagaliev, I. N., Abdurakhmanov, I. B. Synthesis and Physicochemical Properties of Poly (2-ethyl-3-methylindole) // Macromolecules, 2020, v. 53, №. 18, pp. 8050-8059.
5. Salikhov, R. B., Lachinov, A. N., & Bunakov, A. A. Charge transfer in thin polymer films of polyarylenephthalides // Physics of the Solid State, 2007, v. 49, pp. 185-188.
6. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Bulysheva, E. O., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Teres, Y. B. Nanocomposite thin-film structures based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide with SWCNT // Письма о материалах, 2023, v. 13, pp. 132-137.
7. Safargalin I. N., Badretdinov B. R., Salikhov R. B. Study of the environmental influence on the electrophysical properties of a pani glove box // Инновационные материалы и технологии: материалы, 2024, p. 221.

© Миннеахметов Д.И., Сафаргалин И.Н., 2025

Бурханова А.Д.,
маг. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Муллагалиев И.Н.,
к. ф.-м. н., асс. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЛАЗЕРОВ

Тонкоплёночные лазеры — перспективные элементы для интегральной фотоники, но их разработка сталкивается с рядом сложностей, связанных с материалами, технологией изготовления и эксплуатационными характеристиками.

Технология изготовления: получение высококачественных тонких пленок — основная проблема. Дефекты кристаллической структуры (дислокации, границы зерен), возникающие, например, при росте ZnO-пленок, приводят к нерадиационным потерям и повышают порог генерации лазера. Механические напряжения и трещины, вызванные несоответствием коэффициентов термического расширения пленки и подложки (например, Al₂O₃ на сапфире), также негативно влияют на характеристики лазера. Наконец, неоднородность толщины и шероховатость поверхности пленки ухудшают добротность резонатора. Решениями этих проблем являются усовершенствование методов роста пленок (молекулярно-лучевая эпитаксия - MBE, осаждение металлоорганических соединений из газообразной фазы - MOCVD, атомно-слоевое осаждение - ALD), оптимизация температурных режимов, использование буферных слоев (AlN для GaN) и градиентных структур, а также полировка и плазменное травление [1,2].

Тепловые эффекты и деградация: низкая теплопроводность тонких пленок приводит к перегреву активной области лазера, что вызывает термооптический сдвиг длины волны, снижает КПД и долговечность. Этот эффект особенно заметен в GaN-лазерах при высоких плотностях тока. Кроме того, некоторые материалы, используемые для создания лазеров, подвержены деградации. Например, органические лазеры разрушаются под действием УФ-излучения, а перовскиты страдают от гигроскопичности и фотоиндуцированной деградации. Для решения этих проблем применяют теплоотводящие подложки (алмаз, SiC), распределённые брэгговские отражатели (DBR) и герметизацию (инкапсуляцию в SiO₂ или Al₂O₃), а также исследуют более стабильные материалы, например, гибридные перовскиты (CsPbBr₃).

Электрическая накачка: создание эффективных контактов для электрической накачки тонкопленочных лазеров представляет собой сложную задачу. Омические потери в контактах высоки из-за малой

толщины пленок, а инжекция носителей заряда в гетероструктурах затруднена из-за потенциальных барьеров на границах слоев (например, в Si/III-V системах). Возможные решения включают использование легированных графеновых электродов, оптимизацию металлизации, создание туннельных переходов с квантовыми ямами и применение плазмонных структур.

Оптические потери и интеграция: потери на рассеяние и поглощение света на границах пленка/подложка и в самой подложке (например, в кремнии) снижают эффективность лазера. Интеграция тонкопленочных лазеров с другими фотонными компонентами также затруднена из-за технологической несовместимости материалов и процессов. Для минимизации потерь используют волноводные структуры с низкими потерями (Si_3N_4 , SiO_2), вертикальные резонаторы с DBR-зеркалами. Для интеграции применяют методы гетерогенной интеграции (например, адгезивное склеивание) и прямое выращивание на Si через буферные слои [3, 4].

Основные проблемы тонкоплёночных лазеров связаны с качеством материалов, тепловым режимом и интеграцией. Однако развитие новых методов осаждения (ALD, MBE), применение теплоотводящих подложек и гибридных структур открывают пути к созданию эффективных и стабильных 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 // Mendeleev Commun., 2022, № 32, pp. 520-522.
2. Mustafin I. A., Akhmetov A. F., Salikhov R. B., Mullagaliev I. A., Salikhov T. R., Galiazhmetov R. N., Shabunina O. V., Kopchuk D. S., Kovalev I. S., Mustafin A. G. Nanofibrous carbon (multi-wall carbon nanotubes): synthesis and electrochemical studies by using field-effect transistor setup // Chimica Techno Acta, 2024, № 11(4), pp. 202411421.
3. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., & Mullagaliev I. N. Nanocomposite polymer thin films for sensors // Вестник Башкирского университета, 2024, № 29(2), pp. 75-79.
4. 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, № 15(1), pp. 70-79.

Тувалев И.И.,
асп. 1 г. об. ИПСМ РАН, г. Уфа
Науч. рук.: Мурзаев Р.Т.,
к.ф.-м.н. ИПСМ РАН, г. Уфа

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ КОМПОЗИТА ГРАФЕНОВОГО АЭРОГЕЛЯ И НИКЕЛЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Композитные материалы на основе углеродных структур обладают уникальными механическими и термическими свойствами, что делает их перспективными для исследований благодаря своим уникальным механическим и термическим свойствам.

Целью данной работы являлось определение значений термического расширения композитов, состоящих из углеродной сотовой структуры (графенового аэрогеля) и никеля, с использованием метода молекулярной динамики. Моделирование проводилось с помощью программного пакета LAMMPS [1].

Была разработана атомистическая модель композита, в которой углеродная сотовая структура выступала матрицей, а никель – наполнителем. Модель матрицы основывалась на работе Баимовой Ю.А. и Щербинина С.А. [2].

Для изучения влияния геометрии композита на его свойства были созданы структуры с различной длиной стенки ячейки углеродной сотовой структуры (l), равной 13 Å, 27 Å и 59 Å.

Для определения взаимодействий в системе использовался ряд потенциалов, а именно EAM потенциал для моделирования взаимодействий никель - никель и Airebo для взаимодействий углерод - углерод. Для взаимодействий углерод-никель использован гибридный парный потенциал Морзе с равновесным радиусом равным 2.316 Å.

Для расчета теплового расширения композитного материала отрелаксированные структуры подвергались нагреву от 1 К до 1800 К при NPT-ансамбле и периодических граничных условиях. Для сравнения также был рассчитаны значения термического расширения для чистого кристалла никеля.

Тепловое расширение определялось по формуле:

$$TP = \frac{L_t - L_0}{L_0} \quad (1)$$

где L_t – длина композита вдоль оси, L_0 — начальная композита длина вдоль оси

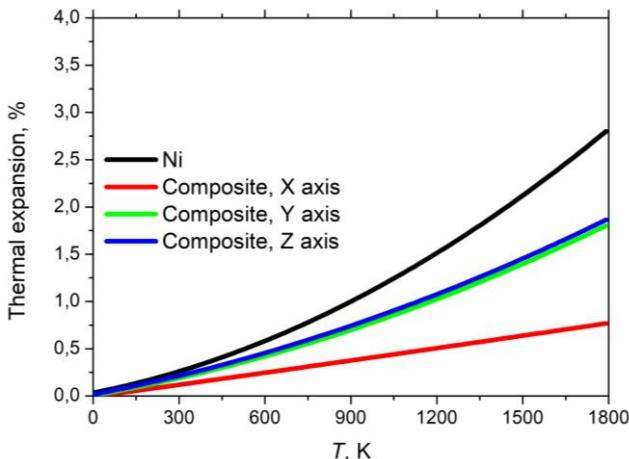


Рис. 2. График зависимости теплового расширения от температуры для чистого кристалла никеля и композитного материала с $l = 13 \text{ \AA}$. Черным цветом показаны значения теплового расширения для чистого кристалла никеля, красным – теплового расширения для композита по оси X, зеленым – теплового расширения для композита по оси Y, синим – теплового расширения для композита по оси Z

Из графика, представленного на рис. 1 видно, что значения термического расширения чистого кристалла никеля выше, чем для композита.

Из графика видно, что у композита значения теплового расширения по оси X меньше, чем по оси Y и Z, что свидетельствует об анизотропии термических свойств у композита.

Так же были рассчитаны значения термического расширения для композитов с $l = 27 \text{ \AA}$ и $l = 59 \text{ \AA}$, которые в результате оказались выше, чем значения термического расширения у композита с $l = 13 \text{ \AA}$.

Литература

1. LAMMPS - a flexible simulation tool for particle-based materials modeling at the atomic, meso, and continuum scales, A. P. Thompson, H. M. Aktulga, R. Berger, D. S. Bolintineanu, W. M. Brown, P. S. Crozier, P. J. in 't Veld, A. Kohlmeyer, S. G. Moore, T. D. Nguyen, R. Shan, M. J. Stevens, J. Tranchida, C. Trott, S. J. Plimpton, Comp Phys Comm, 271 (2022) 10817.
2. Baimova J. A., Shcherbinin S. A. Strength and Deformation Behavior of Graphene Aerogel of Different Morphologies //Materials. – 2023. – Т. 16. – №. 23. – С. 7388.

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОФИЗИКА»

УДК 53

Исянгужин Д.Я.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шайхитдинов Р.З.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

О МЕХАНИЗМЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ВОДНОГО МОСТИКА

Горизонтальный водный мостик (ГВМ) — стабильная цилиндрическая структура из диэлектрической жидкости (дистиллированная вода, глицерин), формирующаяся между двумя сосудами под действием постоянного высокого напряжения (10–25 кВ). В экспериментах использовались стеклянные чашки Петри с регулируемым зазором (2–30 мм) и медные электроды (диаметр 1–3 мм), подключенные к источнику высокого напряжения (20 кВ, 1 мА).

Чашки размещались на регулируемой платформе для изменения расстояния между сосудами. Напряжение подавалось через медные электроды, предварительно очищенные этанолом. Условия эксперимента: температура $22\pm1^{\circ}\text{C}$, влажность $50\pm5\%$, атмосферное давление. Для исключения влияния примесей вода заменялась после каждого испытания. В результате исследований, выяснили критическое напряжение формирования ГВМ. При напряжениях ниже 10 кВ мостик не образуется. В диапазоне 15–20 кВ наблюдается стабильный ГВМ длиной 20–25 мм и диаметром 1.5–2 мм. При превышении 25 кВ происходит пробой с образованием плазменных каналов. Одну из ключевых ролей играет неоднородность электрического поля. Измерения напряженности поля (зондовыми электродами) выявили градиент вдоль мостика: у катода напряженность достигает 4–5 кВ/см, у анода – 2–3 кВ/см. Такая асимметрия стабилизирует структуру за счет сил электростатического втягивания.

Также, на устойчивость водного мостика влияет геометрия электродов. Уменьшение диаметра анодного электрода с 3 мм до 1 мм увеличивало максимальную длину мостика на 15%, что связано с ростом локальной напряженности поля.

Устойчивость ГВМ определяется балансом трех сил:

1. Электростатической силы – поляризация молекул воды (дипольный момент 1.85 Д) создает объемную силу $F = \nabla(P \cdot E)$, где \mathbf{P} – поляризация, \mathbf{E} – поле.

2. Поверхностного натяжения – модифицированного полем (электрокапиллярный эффект). Формула Лапласа для цилиндра:

$$\Delta P = \frac{\gamma}{R} - \frac{\epsilon_0 \sigma r E^2}{2},$$

где второе слагаемое компенсирует капиллярное давление.

3. Гидродинамической стабилизации – ламинарное течение между сосудами подавляет капиллярные волны.

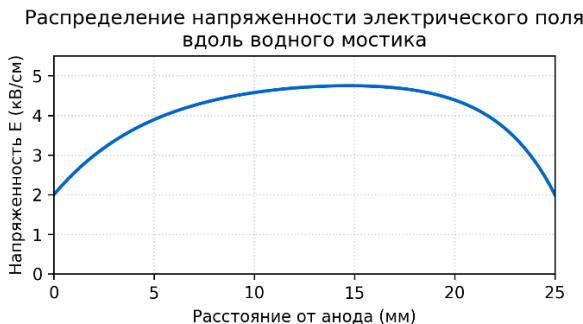


Рис. 1. Распределение напряженности электрического поля вдоль мостика

Неоднородность поля (рис. 1) создает градиент давления $\Delta P \sim E^2$, который «запирает» жидкость в области высокой напряженности (катод). Это предотвращает коллапс мостика под действием силы тяжести.

Таким образом, устойчивость ГВМ обеспечивается неоднородным электрическим полем, формирующим электростатическую силу, компенсирующую силу тяжести и капиллярную неустойчивость. Критическое напряжение (15–20 кВ) соответствует порогу поляризации, достаточной для преодоления поверхностного натяжения. Геометрия электродов влияет на распределение поля, что позволяет управлять длиной и стабильностью мостика.

Литература

1. Fuchs et al., J. Phys. D: Appl. Phys. (2007).
2. W. K. Rhim et al., Phys. Rev. E (2009).
3. Xueqin Pan et al. Physics.flu-din (2021).
4. Шайхитдинов Р.З., Шарипов Т.И. Письма в ЖТФ (2022).

© Исянгужин Д.Я., Шайхитдинов Р.З., 2025

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Современные системы помощи, такие как системы контроля полосы движения (LDW и LKA), призваны снизить риск ДТП, вызванных человеческим фактором. Однако, существующие системы имеют ряд ограничений и нуждаются в дальнейшем совершенствовании для повышения их эффективности и надежности в различных дорожных условиях.

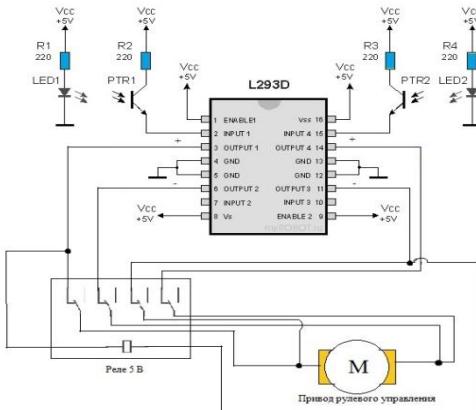


- LDW (Lane Departure Warning) - система предупреждения о выезде с полосы, ассистент, который уведомляет водителя о попытке автомобиля уйти с занимаемой полосы при помощи различных типов сигнала.
- LKA (Lane Keeping Assist) - система удержания в полосе движения, помощник, который способен удерживать авто в полосе движения. Он активирует специальный функционал, при помощи которого автомобиль остается в рамках занимаемой полосы, если водитель не отреагировал на ранее отославшие уведомления.

По своей сути LKA, ассистент по контролю за полосой движения, представляет собой программное средство, которое сигнализирует водителю о том, что его транспортное средство выехало на встречную полосу либо покинуло пределы дорожного полотна. При помощи датчиков либо камер компьютерный блок фиксирует существующую, либо самостоятельно создает условную разметку, определяет положение авто относительно данной разметки и контролирует движение машины в рамках занимаемого курса.

Цель работы: разработка системы контроля полосы движения автомобиля, обеспечивающей повышение безопасности дорожного движения.

В проектируемой схеме будет использовано несколько датчиков реализованные на фототранзисторах, которые будут подключены к входам драйвера двигателей L293D. Алгоритм движения по линии в этом проекте будет основан на отражении света испускаемого светодиодом от белой линии и приемом его фотодиодом, при этом в линии управления появится напряжение, которое подается на управляющую линию микросхемы L293D.



В свою очередь через выход управления двигателем будет подано напряжение на контакты моторчика рулевого управления и машина повернет направо или налево, соответственно с какой-то из сторон будет замечена эта линия.

Литература

1. Садыков Р.Р., Шарипов Т.И. Самобалансирующийся робот // Сборник тезисов, материалы Двадцать восьмой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-28): Материалы конференции. Информационный бюллетень. Сборник тезисов докладов. В 1 т. Новосибирск, 2024. Издательство: АСФ России, 2024. С. 295-296.
2. Ступина Е.Е., Ступин А.А., Чупин Д.Ю., Каменев Р.В. С884 Основы робототехники: учебное пособие. — Новосибирск: Агентство «Сибпринт», 2019. — 160 с. ISBN 978-5-94301-769-8.
3. Компьютерные технологии и анализ данных (CTDA'2022): материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21–22 апр. 2022 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: В. В. Скакун (отв. ред.) [и др.]. — Минск: РИВШ, 2022. — С. 207-210.

Садыков Р.Р.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарипов Т.И.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ

Мы продолжаем работу по разработке мобильного робота [1, 2]. Такой робот функционирует по принципу обратного маятника. Задача управления – стабилизировать маятник в вертикальном положении. Помимо этого, мы поставили еще одну задачу: робот должен уметь двигаться по лабиринту в правильном направлении, то есть находить выход из него, ориентируясь на датчики препятствий.

Какие компоненты необходимы для сборки нашего устройства:

1. Плата Arduino Uno.
2. Модуль драйвера мотора L298N (L298N Motor Driver Module).
3. GY-521 модуль (акселерометр и гироскоп) на базе микросхемы MPU-6050.
4. Ультразвуковой дальномер HC-SR04.

Структурная схема самобалансирующегося робота на основе платы Arduino UNO представлена на рис. 1.

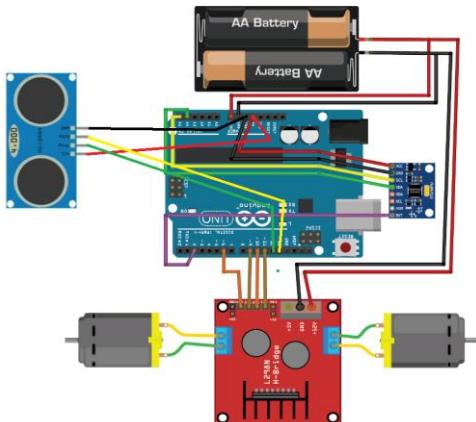


Рис. 1. Структурная схема самобалансирующегося робота

Шасси робота спроектировали в системе Компас 3D и напечатали на 3D-принтере.

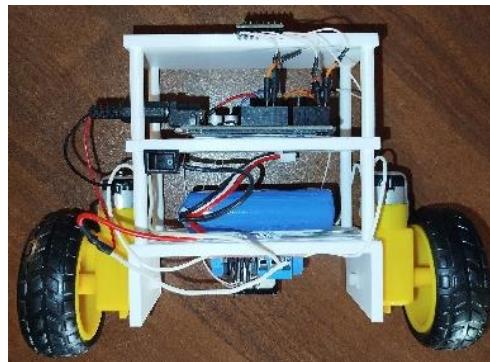


Рис. 2. Общий вид робота

Код для робота был написан в программной среде Arduino IDE. Arduino IDE — это программная среда для разработки, которая позволяет писать, редактировать и загружать код на микроконтроллеры Arduino.

Основными датчиками для робота являются:

1. GY-521 модуль (акселерометр и гироскоп) на базе микросхемы MPU-6050, которая содержит трёх-осевой акселерометр и трёх-осевой гироскоп. Акселерометр измеряет ускорение по трем осям, а гироскоп измеряет угловую скорость по трем осям. Для нашего самобалансирующегося робота угловая скорость вдоль оси x достаточна для измерения скорости падения робота.

2. Ультразвуковой дальномер HC-SR04. Для получения данных о расстоянии используется библиотека NewPing. Расстояние до препятствия будет считываться один раз каждые 100 миллисекунд. Если значение будет в диапазоне от 0 до 20 см, на моторы поступит команда вращения.

Литература

1. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 2-е изд., перераб. и доп. – СБП.: БХВ – Петербург, 2015. – 464 с.: ил. – (Электроника).
2. Садыков Р.Р., Шарипов Т.И. Самобалансирующийся робот // Сборник тезисов, материалы Двадцать восьмой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-28): Материалы конференции. Информационный бюллетень. Сборник тезисов докладов. В 1 т. Новосибирск, 2024. Издательство: АСФ России, 2024. С. 295-296.

© Садыков Р.Р., Шарипов Т.И., 2025

Бахтияров Э.М.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Рыжиков О.Л.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФЛЭШ-ПИРОЛИЗА

Технология быстрого пиролиза (флэш-пиролиза) - это передовой процесс термического разложения, который обладает многочисленными преимуществами по сравнению с традиционными методами пиролиза. Он характеризуется быстрыми скоростями нагрева, коротким временем пребывания и высокими температурами, что позволяет ускорить процесс и повысить его эффективность. Этот процесс особенно выгоден для обработки больших объемов сырья, получения высококачественного биомасла, сингаза и биошара, а также внесения вклада в утилизацию отходов и производство возобновляемой энергии. Кроме того, флэш-пиролиз способствует снижению выбросов CO₂ и достижению энергетической независимости.

Пиролизные установки отличаются большим разнообразием конструкций и классифицируются по нескольким признакам: режиму работы (периодические или непрерывные), типу реактора и конденсатора, а также особенностям технологического процесса.

Типовая пиролизная установка включает в себя реактор (в периодических установках – реторту), конденсатор и энергетический модуль (топку). В случаях, когда целью является получение только твердого продукта, конденсатор может отсутствовать, а образующиеся парогазовые продукты сжигаются в топке.

Для повышения энергоэффективности иногда реактор и энергетический модуль объединяют в одну конструкцию. Однако это усложняет контроль температуры и предъявляет повышенные требования к материалам реактора из-за значительной разницы между температурой пиролиза и температурой горения пиролизного газа.

Установки непрерывного действия более эффективны, чем периодические, поскольку обеспечивают стабильное качество продукции благодаря непрерывному процессу. Периодические установки, с циклическим нагревом и охлаждением реторты, имеют меньшую термическую эффективность из-за необходимости каждый раз нагревать и охлаждать массивную реторту. Кроме того, циклические температурные нагрузки снижают срок службы материала реактора.

По уровню автоматизации пиролизные установки варьируются от полностью автоматизированных комплексов до механизированных и немеханизированных установок, требующих ручного труда (последние практически не используются).

Установка для переработки отходов является специализированным техническим комплексом, который перерабатывает отходы в несколько технологических стадий. Основные из них: подготовка сырья, сушка, пиролиз, конденсация.

В зависимости от вида сырья и его гранулометрического состава первоначально осуществляется его предварительное измельчение, сортировка или очистка.

Далее в зависимости от влажности сырья обеспечивается его сушка до влажности не выше 15 %. Сушка влажных и гидрофильтральных материалов необходима для увеличения эффективности пиролизной установки. Дело в том, что влажное сырье проблематично нагреть до температур выше температуры кипения воды, поскольку процесс фазового перехода (испарения) связан с очень существенными затратами тепла, порой на порядок отличающимися от удельных затрат на энергию на термическое разложение. В результате чего пиролизный реактор превращается в большую "кастрюлю" в которой происходит выкипание воды, но не пиролиз. Испарять воду из сырья более эффективно в специальных сушильных аппаратах. Кроме того, испаренная вода в пиролизном реакторе также ухудшает качество продуктов пиролиза. Поэтому чем более сухое будет сырье, тем более эффективно будет протекать процесс пиролиза.

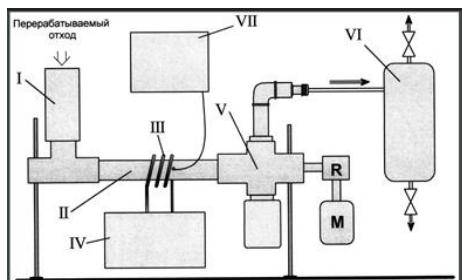


Рис. 1. Схема установки

Как показано на рис. 1, установка для флэш-пиролиза углеродсодержащего сырья с использованием индукционного нагрева включает загрузочный узел I, пиролизный узел II, включающий пиролизный реактор с расположенным внутри него соосно шnekовым механизмом, индуктор III, присоединенный к генератору токов высокой

частоты IV, узел разделения продуктов пиролиза V, узел охлаждения и конденсации парогазовой фазы VI, блок контроля параметров процесса VII.

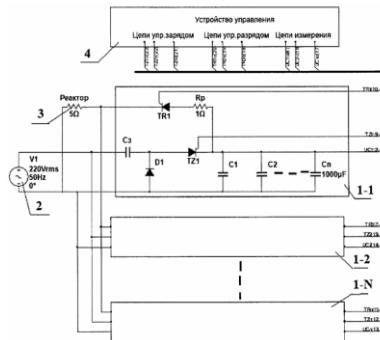


Рис. 2. Схема прототипа установки для реализации процесса флэш-пиролиза

На рис. 2 представлено устройство для реализации процесса флэш-пиролиза. Устройство содержит конденсаторные блоки 1-1, 1-2...1-N, число которых определяется величиной энергии разряда для конкретного процесса флэш-пиролиза, цепи заряда всех конденсаторных блоков подключены к источнику 2 сетевого переменного напряжения 220 В 50 Гц, а выходы разряда подключены параллельно к реактору 3, в котором и происходит процесс флэш-пиролиза. Цепи управления зарядом, разрядом, а также цепи измерения напряжения конденсаторов каждого блока подключены к устройству 4 управления.

Литература

- Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия Байкальского государственного университета. – 2018. – № 4. – С. 535-544.
- Способ и устройство для осуществления флаш-пиролиза углеродсодержащего сырья с использованием индукционного нагрева, Варфоломеев С.Д., Коверзанова Е.В., Ломакин С.М., Луканина Ю.К., Усачев С.В., Хватов А.В., Шилкина Н.Г. Патент на полезную модель RU2544635C1, 20.03.2015.
- Устройство для реализации процесса флаш-пиролиза, Рыжиков О.Л., Доломатов М.Ю., Субханкулов В.Р., Вершинин С.С., Сайтов И.Х. Патент на полезную модель RU 230331 U1, 28.11.2024.

© Бахтияров Э.М., Рыжиков О.Л., 2025

Мусин А.И.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарипов Т.И.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ С УНИВЕРСАЛЬНЫМ МОДУЛЬНЫМ УЧЕБНЫМ СТЕНДОМ НА ОСНОВЕ ОДНОПЛАТНОГО КОМПЬЮТЕРА RASPBERRY PI

С развитием полупроводниковой промышленности одноплатные компьютеры становятся все более доступными и универсальными устройствами [1-2].

Raspberry Pi — это одноплатный компьютер, построенный на ARM-архитектуре и обладающий небольшой ценой и миниатюрными габаритами. У него есть процессор, ОЗУ, видеоускоритель, устройство обладает множеством полноценных разъёмов, включая USB, Ethernet и microHDMI. Raspberry Pi как универсальная платформа, позволяет задействовать данное устройство во многих сферах, в том числе в области образования. Обширные возможности одноплатного компьютера [3-4] предоставляют легкость в создании и проведении различных экспериментов, тем самым образовательный процесс становится более доступным, интересным.

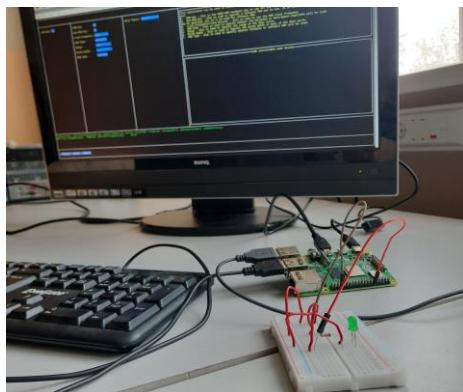
Лабораторные работы с применением Raspberry Pi позволяют не только исследовать физические процессы и явления, но и развивают навыки программирования и работы с электроникой.

Цель работы: разработать модульный учебный стенд на основе Raspberry Pi 4B с использованием необходимых периферийных устройств для исследования физических процессов и работы полупроводниковых приборов, обучения программированию и работы с GPIO.



Рис. 1. Образец корпуса, распечатанного на 3D-принтере

Все необходимые электронные компоненты будут располагаться на макетных платах, находящихся внутри распечатанных на 3D-принтере корпусах (рис. 1), которые будет достаточно подключить к GPIO и запустить соответствующую программу для выполнения работы.



Rис. 2. Пример проведения учебной деятельности

Среди планируемых работ будет реализованы осциллограф, опыты с полупроводниковыми приборами, задания с элементами программирования (рис. 2). Предлагаемая модульность учебного стенда будет обеспечивать гибкость и удобство в проведении экспериментов.

Литература

1. Халфакри Гарет. Raspberry Pi 4. Официальное руководство для начинающих. Изд. ДМК-Пресс, 2021 г.
2. Полупроводниковая электроника: курс лекций: учеб. пособие / А.С. Ажеганов, И.Л. Вольхин; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. – 270 с.: ил. ISBN 978-5-7944-2577-2.
3. Мусин А.И., Шарипов Т.И. Использование универсальной платы Raspberry Pi 4 в качестве автоматизированной системы ухода за домашними питомцами // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы X Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 25 – 26 апреля 2024 г.) – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. – С. 148-149.
4. <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/getting-started.html>.

© Мусин А.И., Шарипов Т.И., 2025

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЯВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО МОСТИКА

Водяной мостик (ВМ) возникает между двумя сосудами или чашки Петри, наполненными диэлектрической жидкостью, с приложенными к ним электродами (2шт.), подаче постоянного высокого напряжения (10-15 кВ). Зависимости скорости увлекаемых ионами молекул жидкости в зависимости от расстояния иона, движущегося под действием электрического поля для различных скоростей u_0 представлено на рис. 1. Проведенные с учетом плотности тока и напряженности электрического поля расчеты показывают, что среднее расстояние между ионами в ВМ $l_i = n^{-1/3} \sim 3 \cdot 10^{-7}$ м.

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

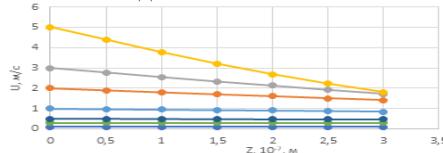


Рис. 1. Зависимость скорости молекул воды от расстояния от дрейфующего иона

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что наблюдаемое реверсирование потока жидкости через ВМ обусловлено периодическим образованием объемного заряда в катодной емкости с последующим его переносом через ВМ в анодную емкость и его экранировкой пространственным перераспределением зарядов.

Конфликт интересов: авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература

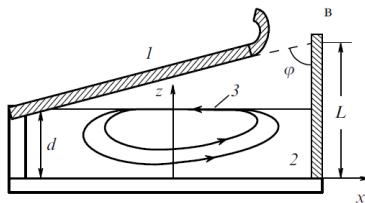
1. Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З. Обзор процессов возникающих в водяном мостике. XV Международной школы-конференции «Фундаментальная математика и её приложения в естествознании»: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2024» посвящённой 300-летию Российской академии наук. – Уфа, 6-9 октября 2024 г.

ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Электрогидродинамические (ЭГД) течения – это течения в жидкостях (или газах), вызванные действием электрической силы. Для возникновения ЭГД-течений, помимо присутствия электрического поля, требуется наличие механизма образования не скомпенсированного электрического заряда.

Известно [1, 2], что между двумя стеклянными сосудами с дистиллированной водой под действием приложенного постоянного высоковольтного напряжения между электродами, погруженными в жидкость, возникает водный мостик (ВМ). Несмотря на большое количество проведенных исследований механизм устойчивости ВМ до сих пор остается невыясненным. Хотя предложено несколько гипотез (образование сильных водородных связей, тензор давления Максвелла), ни одна из них не соответствует экспериментальным закономерностям.

Целью данной работы является исследование влияния электрического ветра на возникновение движения диэлектрической жидкости – трансформаторного масла (ТМ). Дело в том, что в работе [3] проведенные эксперименты показали движение поверхностных слое ТМ, механизм которого остается невыясненным.



Rис. 1. Схема расположения электродов

Исследования проводились на экспериментальной модели. В стеклянную кювету, заполненную трансформаторным маслом, помещались медные электроды, одна из которых вертикальная (2), другая – под углом примерно 20° (1). На электроды подавалось постоянное напряжение до 10 кВ от стабилизированного источника напряжения.

В слабопроводящих жидкостях и в полях высоких напряжений практически не удавалось наблюдать типичных катафоретических движений светорассеивающих частиц, вызванных двойным электрическим

слоем. Это движение обычно наблюдается в водных взвесях и эмульсиях, когда одинаковые частицы под действием электрического поля плывут в поле зрения сквозь неподвижную жидкость почти параллельными курсами с одинаковой скоростью, резко меняя направление движения в момент переключения направления тока.

Подобные течения, которые возникают внутри и снаружи пузырей или капель несмешивающихся слабопроводящих жидкостей, легко наблюдаются в плоском слое при наклонном внешнем поле. Элементарный расчёт скорости течения в серединной части вихря в приближении "вмороженного" заряда q_s и $d \ll L, \varphi \ll 1$ даёт следующее выражение для скорости течения [1]:

$$V_x = -V_m s(3s - 2), s = \frac{z}{d}, V_m = |q_s E_x| \frac{d}{4n}$$

$$q_s = \frac{E_z}{\epsilon \epsilon_0}, E_z = \frac{Ud}{4L^2}, E_x = \frac{-U}{\varphi L} \quad (1)$$

где n -динамическая вязкость. Соотношение показывает, что скорость течения максимальна на поверхности жидкости, и она будет направлена, причём вне зависимости от полярности электрода, в сторону наклонённого электрода.

Проведенные нами эксперименты показывают наличие движения жидкости даже в случае, когда электроды приподняты над жидкостью, т.е. не контактируют. Это позволяет утверждать, что поверхностное течение обусловлено влиянием электрического ветра. Проведенный анализ показывает, что напряженность электрического поля наибольшая на границе ТМ-воздух у вертикального электрода. По этой причине в этой области возникает электрический ветер, который независимо от полярности напряжения между электродами, увлекает приповерхностные слои жидкости в сторону наклоненного электрода.

Таким образом, ЭГД-течение в свете изложенных представлений следует представить как предельный случай устройств, передающих импульс среде, в которых его источником служат отдельные ионы.

Литература

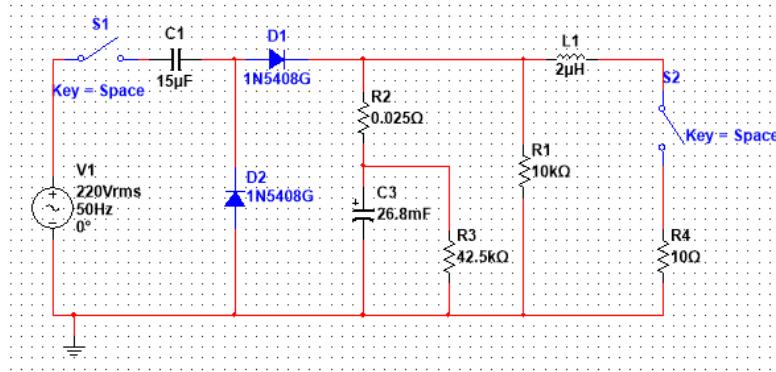
1. Fuchs E.C., Woisetschläger J., Gatterer K., Maier E., Pecnik R., Holler G., Eisenkölbl H. The floating water bridge // J. Phys. D: Appl. Phys. 2007. Vol. 40. Pp. 611–614. DOI:10.1088/0022-3727/40/19/052.
2. Шайхитдинов Р.З., Шарипов Т.И. Динамика массопереноса жидкости в водном мостике // Письма в ЖТФ. 2022. № 11. С. 37–430. DOI: 10.21883/PJTF.2022.11.52612.19161.
3. Бережнов В.В., Семенов В.А. О поверхностном течении слабопроводящей жидкости в электрическом поле // Письма в ЖТФ. 1996 г. Том 22, выпуск 5. С 92-94.

Гильманов И.В.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Рыжиков О.Л.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА ПЛАТЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕЕЙ УСТАНОВКИ ФЛЕШ-ПИРОЛИЗА ДЛЯ СИНТЕЗА ГРАФЕНА

Графен, обладающий уникальными механическими (прочность до 130 ГПа) и электрофизическими свойствами (теплопроводность ~ 5000 Вт/(м·К)), является перспективным материалом для создания композитов. Его внедрение в металлические сплавы и полимеры повышает прочность на 30–50%, а в электронике обеспечивает гибкость и высокую проводимость. Однако промышленное применение ограничено сложностью синтеза, требующего точного управления параметрами импульсного нагрева [1].

Целью работы станет разработка платы управления конденсаторной батареей установки флэш-пиролиза (рис. 1), обеспечивающей снижение энергопотерь и повышение точности контроля процесса [2].



Rис. 1. Эквивалентная схема блока батареи конденсаторов

В ходе исследования будут выполнены следующие задачи:

1. Анализ существующих решений на основе патентной документации.
2. Проектирование электрической схемы заряда/разряда конденсаторов в Multisim с оптимизацией реактивных элементов.

3. Разработка топологии печатной платы в Altium Designer с минимизацией паразитной индуктивности.

4. Моделирование переходных процессов и генерация Gerber-файлов для производства [3].

В проектируемой схеме вместо резистивных элементов будут использованы дроссели, что снизит потери мощности на 90%. Применение тиристоров серии Т122 и активной балансировки токов позволит уменьшить дисбаланс между конденсаторными блоками до $\pm 0,8\%$. Трассировка двухслойной платы с разделением силовых и сигнальных цепей обеспечит стабильность работы при токах до 1500 А.

Ожидаемые результаты включают повышение КПД заряда конденсаторов с 65% до 88% и снижение энергопотерь на 15–20%. Разработанная плата будет соответствовать требованиям ГОСТ 2.123-2013 и IPC-2221, что подтвердится тепловым анализом ($T_{\max} \leq 95^{\circ}\text{C}$) и проверкой целостности сигналов (уровень помех $\leq 25 \text{ мВ}$).

Практическая значимость работы заключается в повышении воспроизводимости синтеза графена, что критично для его внедрения в промышленность. Реализация проекта позволит сократить себестоимость композитов на 12–18% за счет снижения брака.

Литература

1. Tour J. M. et al. Flash Graphene from Plastic Waste // ACS Nano. 2020.
2. Патент RU 230331 У1. Устройство для реализации процесса флэш-пиролиза. 2024.
3. ГОСТ 2.123-2013. Правила выполнения печатных плат.

© Гильманов И.В., Рыжиков О.Л., 2025

Полухин Р.В.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарипов Т.И.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ МУЗЫКИ И ЕЕ ВОЛНОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Музыка состоит из нот, тонов, частот и обертонов [1-2]. Звук представляет собой механические колебания, распространяющиеся в виде продольных волн в воздухе. При помощи музыкальных инструментов создаются звуковые волны с определёнными характеристиками [3-4], включая частоту, амплитуду и гармоники — обертоны, кратные основной частоте (тонике).

Экспериментально были исследованы особенности формирования звука на примере электрогитары. Мы подключили электрогитару к компьютеру и в программе REAPER зафиксировали ноту Ля (А), извлечённую на 5-м ладу 6-й струны гитары, а с помощью параметрического эквалайзера Pro Q3 выполнен спектральный анализ её гармонического состава. Основная частота составила 440 Гц, а спектр показал чёткие пики на 880 Гц, 1320 Гц и далее, что соответствует физической модели обертонов:



Рис. 1. Скриншот записи ноты Ля в REAPER (а) и спектр гармоник ноты Ля в Pro Q3 (б)

На рис. 1а представлена запись звучания ноты Ля с электрогитары, сделанная с помощью программы REAPER. А на рис. 1б показано разложение этой ноты на обертон.

Различное распределение обертонов формирует уникальный тембр каждого инструмента, что особенно заметно при сравнении гитары, флейты и вокала. При этом гармоничность звука связана с тем, насколько точно дополнительные частоты укладываются в равномерно

темперированный строй. Именно равномерно темперированный строй объясняет универсальность использования 7 нот в музыкальной системе. Данная формула описывает зависимость частоты ноты с калибровочной частотой [2]:

$$f_i = f_0 \times 2^{\frac{i}{12}} \quad (1)$$

Дополнительно было проведено исследование формирования узлов и пучностей на струне при касании её в определённых точках (например, 12-й лад), что усиливает высшие гармоники и обогащает звучание. На рис. 2. представлена пучность струны на 12 ладу:



Рис. 2. Узлы колебаний струны и формирование обертонов

Музыка основана на волновой природе звука. Гармония частот и обертоны формируют её выразительность.

Литература

1. Hartmann, W. Signals, Sound, and Sensation. – Springer, 1998.
2. Кузнецов Л. Экспериментальная акустика. – М.: Физматлит, 2007.
3. Бутилов А.А. Звук и музыка: о закономерностях восприятия музыкальной информации // Вестник МГУКИ. 2012. № 2. С. 45–50.
4. Полухин Р.В., Шарипов Т.И. Разработка и создание электронно-акустического устройства, которое преобразует звуковой сигнал Fuzz с дополнительным эффектом Delay // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы X Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 25 – 26 апреля 2024 г.). – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. С. 144.

© Полухин Р.В., Шарипов Т.И., 2025

Ткачук Е.А., студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарипов Т.И., к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА **PX ULTRA-HYBRID 2.0**

Целью данного доклада является демонстрация возможностей нового программно-аппаратного комплекса PX Ultra - HybriD 2.0 на примере сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) NTEGRA. В ходе работы были изучены два образца: калибровочная решетка и титановая пластина. В докладе будет продемонстрировано как различные режимы работы микроскопа позволяют получать изображения высокого разрешения и анализировать свойства материалов наnanoуровне.

СЗМ — один из мощных современных методов исследования формы и локальных свойств поверхности твердого тела. Разрешение получаемых изображений в 1000 и более раз выше, чем у лучших оптических микроскопов, работающих в ультрафиолетовом диапазоне. NTEGRA — это современная платформа для сканирующей зондовой микроскопии, разработанная компанией NT-MDT. Она сочетает в себе высокую точность, гибкость и широкий спектр режимов работы, что делает ее универсальным инструментом для исследований в области нанотехнологий, материаловедения и биологии. [1]

Образец 1: Калибровочная решетка TGZ2. Был выбран для выработки навыков работы на микроскопе.

Образец 2: Титановая пластина. Исследование этого материала позволило продемонстрировать возможности микроскопа в анализе металлических поверхностей.

Перед началом измерений была выполнена калибровка микроскопа, включающая настройку зонда, юстировку оптической системы и проверку работы сканера. Для каждого образца были использованы различные режимы работы программно-аппаратного комплекса:

Контактный режим (Contact Mode): в этом режиме зонд находится в постоянном контакте с поверхностью образца. Позволяет получать высококачественные топографические изображения. Использовался для исследования калибровочной решетки, где важно было получить точные данные о высоте и форме поверхности. [2]

Полуконтактный режим (Tapping Mode): зонд колеблется с высокой частотой, касаясь поверхности только в нижней точке амплитуды. Это снижает риск повреждения образца. Использовался для анализа титанового образца, чтобы избежать царапин на поверхности. [2]

Режим латеральной силы (Lateral Force Microscopy, LFM). Позволяет изучать трение и механические свойства поверхности. Был использован для анализа кристаллической решетки, чтобы оценить различия в трении на разных участках поверхности. [2]

Режим электростатической силовой микроскопии (Electrostatic Force Microscopy, EFM). Позволяет изучать распределение зарядов на поверхности. Был использован для анализа титанового образца, чтобы оценить его электростатические свойства. [3]

Для калибровочной решетки были получены ACM-изображения рельефа поверхности (рис. 1).

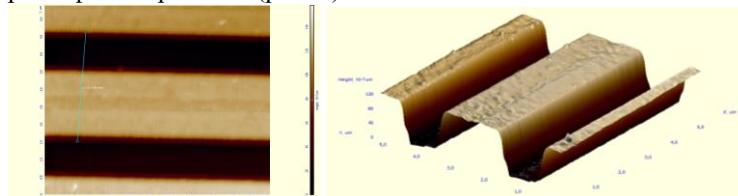


Рис. 1. ACM-изображение поверхности калибровочной решетки TGZ2

Для титановой пластины удалось визуализировать микроструктуру поверхности, включая зерна и границы между ними (рис. 2).

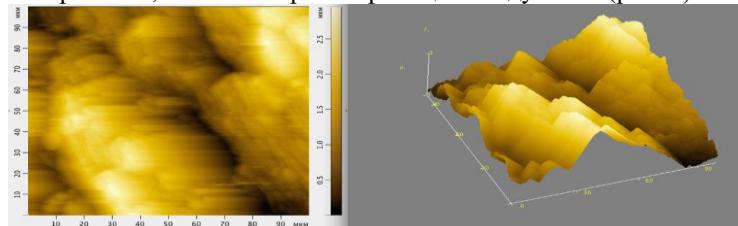


Рис. 2. ACM-изображение поверхности титана

Литература

1. Goodman, R.P., Schaap LAT., Tardin C F et. al. // Science 2005. № 5754. Р. 1661-1665.
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.
3. Alivisatos P., Johnsson K. Peng X, et al. // Nature. 1996. № 382. Р. 609-611.

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЧЕРЕЗ ИНФРАКРАСНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Распознавание объектов через инфракрасное изображение – это процесс идентификации и классификации объектов на основе их теплового излучения. Эта технология находит широкое применение в различных областях, включая безопасность, медицину и экологию. [1]

Принципы работы

Инфракрасные камеры фиксируют тепловое излучение, которое излучают все объекты с температурой выше абсолютного нуля. На основе этих данных создаются тепловые изображения, где различные температуры отображаются разными цветами.



*Рис. 1. Съемка SWIR-камерой (слева) и обычной камерой (справа).
Источник фото: Фомин Ф.В. Современное состояние и перспективы развития зарубежных ИК-систем. Аналитический обзор. – М.: ЗАО «МНИТИ», 2018*

Классификация инфракрасного излучения:

- НК диапазон (0,75 - 1,5 мкм): работает в основном с видимым светом и ближайшей ИК.

- ТК диапазон (1,5 - 5 мкм): используется для обнаружения объектов с низкой температурой.

- ДГ диапазон (8 - 14 мкм): подходит для большинства приложений, таких как ночное видение и мониторинг.

Методы распознавания объектов

Современные методы распознавания объектов на инфракрасных изображениях можно условно разделить на традиционные и основанные на машинном обучении. Традиционные методы включают в себя использование классических алгоритмов обработки изображений, таких как фильтрация, сегментация и определение контуров. Эти методы требуют тщательной настройки и могут быть ограничены в своей способности обрабатывать сложные и шумные данные.

В последние годы значительно увеличился интерес к методам, основанным на машинном обучении и искусственном интеллекте. Алгоритмы глубокого обучения, такие как сверточные нейронные сети (CNN), показали высокую эффективность в распознавании объектов на инфракрасных изображениях. Они способны обрабатывать большие объемы данных и автоматически извлекать признаки, необходимые для классификации объектов, что значительно повышает точность распознавания.

Литература

1. Научные статьи по компьютерному зрению.
2. Курсы по машинному обучению и обработке изображений.
3. SWIR-камеры: достоинства и применение.

© Гимранов И.Р., Рыжиков О.Л., 2025

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

УДК 550.8.056

Алимова М.Р.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитова Г.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ В ГЛИНИСТЫХ ПЕСЧАНИКАХ МЕЛОВОГО ПЕРИОДА

В последнее время детальная интерпретация данных СГК обусловлена тем, что геологические разрезы, в которых выделяют продуктивные коллекторы, отмечаются сложным строением. Это часто низкопористые, низкопроницаемые, сильно глинистые песчаники, трещиноватые карбонатные породы. Учитывая высокую продуктивность коллекторов с высоким содержанием глины, необходимо правильно вводить соответствующие поправки в величину пористости и подбирать правильную модель водонасыщенности [4]. В связи с этим, тема работы является актуальной.

Определение степени водонасыщенности глинистых слоев представляет собой сложную задачу из-за содержания глинистых частиц. В них может быть заключено от 2% до 40% связанной воды, отнесенной к объему глины. Размер этих частиц крайне мал – не превышает 2 микрон, что значительно меньше размеров песчаных зерен (в 10-100 раз). Высокая электропроводность глинистой фракции приводит к снижению сопротивления породы и, как следствие, к завышенной оценке водонасыщенности. Влияние глинистости на этот параметр сильно зависит от ее формы: она может быть слоистой, структурной или рассеянной. Цель данной работы заключается в обосновании уравнения для расчета водонасыщенности в меловых песчано-глинистых отложениях. Решались следующие задачи: определение типа присутствия глины в коллекторах, оценка минерального состава глин, обоснование уравнения для расчета Кв [1,2,3].

При выполнении данной работы проанализированы скважинные данные с СГК и получены следующие результаты:

1. построена палетка для определения типа глин. В изучаемом интервале присутствует в основном слоистая глина;
2. введена поправка в пористость НК и пористость ГГК за глины;
3. выполнен расчет КТИ (K^*Th) в сланцевых отложениях;
4. выполнен расчет коэффициента вод насыщенности;

Таким образом, обоснована величина поправки пористости и формула расчета Кв.

Литература

1. W. Fertl, G. Chilingarian, T. Yen. Use of Natural Gamma Ray Spectral Logging in Evaluation of Clay Minerals // Published 1 October 1982. Geology Energy Sources / DOI: 10.1080/00908318208946036 Corpus ID: 140538876.
2. Дудаев С.А. Геолого-геофизическое обеспечение технологий выделения, оценки и освоения нетрадиционных глинистых коллекторов Предкавказья // Докт. дис., 2012. Уфа.
3. Г.Р. Вахитова, Р.А. Галимов, А.И. Гумерова, Г.Ф. Шайбекова Прогноз трещиноватости карбонатных отложений по результатам интерпретации спектрометрического гамма-каротажа // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. № 6 (366). 2022 – стр.11-17. DOI: 10.33285/2413-5011-2022-6(366) -11-16.
4. Г.Р Вахитова, М.Р. Алимова Исследование возможностей спектрометрического гамма-каротажа для оценки коллекторов [Электронный ресурс] // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных Т33 процессов в конденсированных средах: материалы X Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 25 – 26 апреля 2024 г.) Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: РИЦ УУНит, 2024. – стр. 164-165 – URL: <https://uust.ru/digitalpublications/2024/225.pdf>.

© Алимова М.Р., Вахитова Г.Р., 2025

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОКОНДЕНСАТА С ОБРАЗОВАНИЕМ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ ПРОБКИ

При добыче газа на газоконденсатных месторождениях возникает проблема, связанная с образованием конденсата в призабойной зоне пласта [1, 2] и др. Это явление, известное как ретроградная конденсация, происходит из-за снижения давления и температуры в процессе эксплуатации. В результате увеличивается содержание конденсата в породе, возрастают фильтрационные сопротивления, что приводит к ухудшению проницаемости призабойной зоны и снижению дебита скважины. На поздних стадиях возможно полное прекращение притока газа из-за формирования конденсатной пробки.

Исследуется изменение дебита газа и конденсата при различном давлении начала конденсации. В расчетах используется математическая модель, приведенная в работе [3].

На рис. 1 представлены зависимости дебита конденсата от времени при давлениях начала конденсации газа 80, 85 и 100 атмосфер. Из графиков следует, что при увеличении давления начала конденсации дебит конденсата возрастает, а дебит газа уменьшается (рис. 2), так как жидккая фаза начинает формироваться раньше, ухудшая фильтрацию газа через породу.

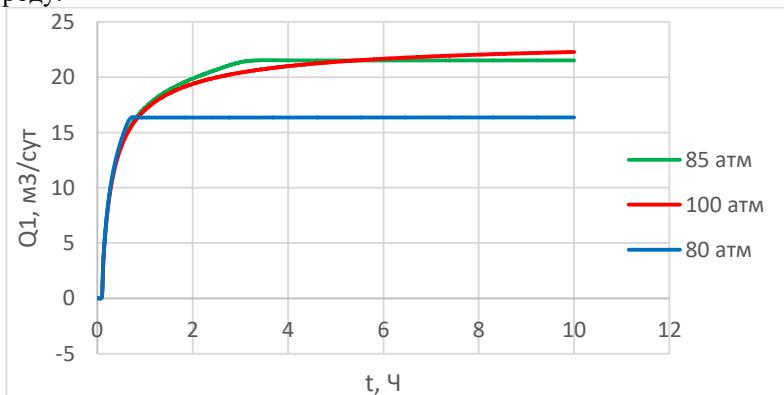


Рис. 1. Зависимость дебита конденсата на выходе из пласта от времени при различных давлениях начала конденсации

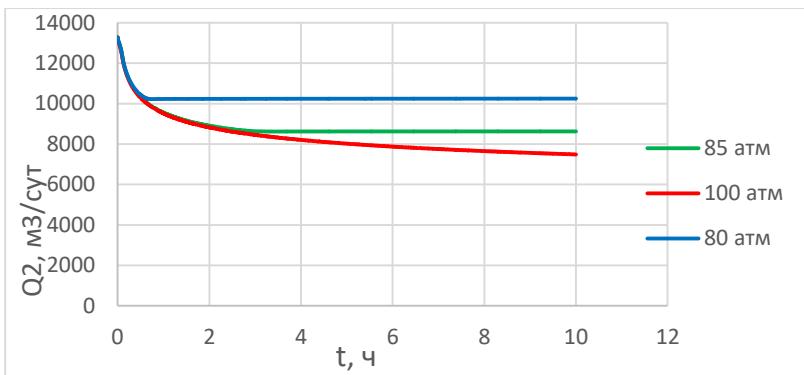


Рис. 2. Зависимость дебита газа на выходе из пласта от времени при различных давлениях начала конденсации

Далее изучается влияние проницаемости пласта на дебит. На рис. 3 приведена зависимость дебита конденсата от времени при давлении конденсации 85 атм и проницаемостях 50 мД (кривая 1) и 100 мД (кривая 2).

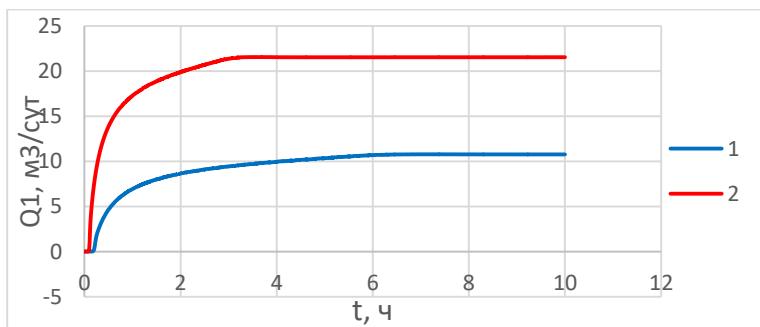


Рис. 3. Зависимость дебита конденсата на выходе из пласта от времени при различных проницаемостях

Влияние величины концентрации конденсата в газовой фазе ($1.1 * 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^3\text{/атм}$ – кривая 1 и $1.5 * 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^3\text{/атм}$ – кривая 2) иллюстрируется данными приведенными на рис.4. Из графика видно, что дебит конденсата увеличивается при более высоком значении растворимости конденсата в газе. Это связано с тем, что чем больше растворимость конденсата в газе, тем больше концентрация конденсата в газовой фазе. Соответственно при фазовом превращении дебит конденсата увеличивается, а дебит газа уменьшается.

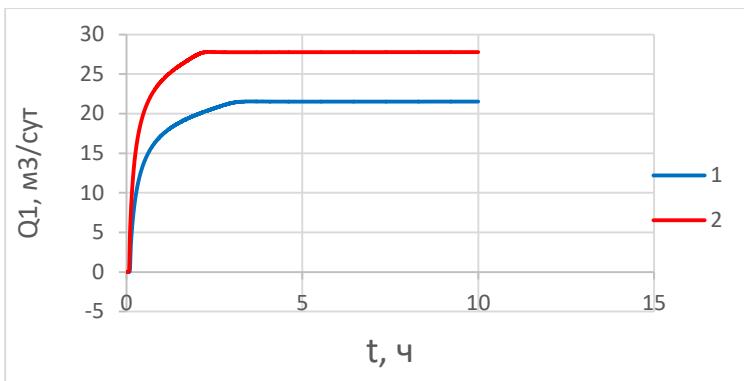


Рис. 4. Зависимость дебита конденсата от времени при разных значениях коэффициента растворимости ($1.1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^3\text{-атм}$ – кривая 1 и $1.5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^3\text{-атм}$ – кривая 2)

Таким образом, проведенные расчеты показывают, что образование конденсата приводит к снижению дебита газа из пласта, при этом, это влияние тем больше, чем больше проницаемость пласта, коэффициент растворимости (т.е. большее концентрация выпадающей из газовой фазы конденсата) и давление начала конденсации.

Литература

1. Зайченко В.М., Майков И.Л., Торчинский В.М., Шпильрайн Э.Э. Моделирование процессов фильтрации углеводородов в газоконденсатном пласте// ТВТ, 2009, том 47, выпуск 5, 701–706.
2. Гасумов Р.А., Сафошкин К.Н. 2017. Изучение процесса выпадения конденсата при эксплуатации скважин в условиях аномально высоких пластовых температур (на примере Юбилейного газоконденсатного месторождения) // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. № 3 (123). С. 47–51. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2017-3-47-51>.
3. Шарафутдинов Р.Ф., Канафин И.В., Буджогра С. Исследование температурного поля в газоконденсатных пластах с учетом термодинамических эффектов// Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2023. Т. 9. № 4 (36). С. 18-30.

© Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф., 2025

Исламов Р.А.,
студ. 4 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 ВОДОНЕФТЬЯНЫХ 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 [1, 2]. Термометрия решает важнейшие задачи: выявление работающих пластов, определение нефтегазовых притоков и оценка технического состояния скважины [3]. 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 [4-7]. Однако, в реальных условиях, наблюдается фильтрация смеси воды и нефти, нефти и газа, а также эмульсии.

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 проводиться 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. Асылгареев А.А., Шарафутдинов Р.Ф., Валиуллин Р.А., Космылин Д.В. // Экспериментальное исследование термогидродинамических процессов при фильтрации водонефтяной эмульсии. Статья для вестника ТюмГУ 2022 //.
2. Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта / Э.Б. Чекалюк. – М.: Недра, 1965. 240 с.

3. Валиуллин Р.А. Баротермический эффект при трехфазной фильтрации с фазовыми переходами / Р.А. Валиуллин, А.Ш. Рамазанов, Р.Ф. Шарафутдинов // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 1994. № 6. С. 113-117.
4. Валиуллин Р.А., Кулагин О.Л., Шарафутдинов Р.Ф. Экспериментальное изучение термодинамических эффектов в газожидкостных системах //Физико-химическая гидродинамика: Межвузовский сборник. – Уфа, Башк. Гос. унив. – 1995. С.10-15.
5. Валиуллин Р.А. Исследование температурного поля в скважине с индукционным нагревом колонны при наличии каналов заколонного перетока жидкости / Р.А. Валиуллин, Р.Ф. Шарафутдинов, В.Я. Федотов, Д.В. Космылин, И.В. Канафин // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2017. Том 3. № 3. С. 17-28. DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-17-28.
6. Лапук Б.Б. Термодинамические процессы при движении газированной нефти в пористых средах / Б.Б. Лапук // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1940. № 2. С. 28-34.
7. Требин Г.Ф. Оценка температурной депрессии в призабойной зоне эксплуатационных скважин / Г.Ф. Требин, Ю.Ф. Капырин, О.Г. Лиманский. – М.: Всесоюз. Нефтегазовый научно-исследоват. ин-т, 1978. Вып. 64. С. 16-22.

© Исламов Р.А., Шарафутдинов Р.Ф., 2025 г

Казарян А.А.,
асп. З г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитова Г.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОКУРСКОЙ СВИТЫ

В настоящее время восполнение запасов углеводородов (УВ) приводит к смещению фокуса геологоразведочных работ в сторону сложнопостроенных геологических залежей с высокой степенью неоднородности литологического состава. Одним из таких осадочных комплексов полифациального характера является покурская свита, расположенная в пределах Пуровского района Ямalo-Ненецкого автономного округа [1].

Изучение терригенных коллекторов нижнемеловых отложений покурской свиты представляет собой актуальную задачу в контексте поиска и разработки нефтегазовых месторождений. Известно, что коллекторские свойства горных пород определяются их структурно-вещественными особенностями, формируемыми под воздействием определенных фациальных обстановок, условий осадконакопления и постседиментационных процессов. Формирование осадков терригенных отложений нижнего мела в пределах Пуровского района происходило в условиях континентальной или прибрежной флювиальной равнины, периодически затапливаемой морем [2].

Высокая степень неоднородности фильтрационно-емкостных свойств терригенных отложений обусловлена их литолого-минералогическим составом. Определение типа и количественного соотношения отдельных минералов является важным аспектом в изучении подобного типа коллекторов.

В работе выполнен анализ лабораторных исследований 31-го образца керна (по 2 скважинам) с результатами анализа минерального состава пород. В табл. 1 приведены основные пордообразующие минералы и их содержание в образцах.

Из табл. 1 видно, что в составе пород покурской свиты в основном преобладают минералы кварца. По результатам анализа выявлено наличие полевых шпатов, карбонатных минералов, таких как кальцит, доломит, сидерит. Наблюдается незначительное в процентном соотношении содержание пирита и гидрослюды.

Таблица 1 – Минералогический состав отложений по результатам лабораторных исследований образцов керна

№ п/п	Основные породообразующие минералы	Содержание минералов, %
1	Глинистые минералы	11
2	Кварц	41
3	Калиевые полевые шпаты (КПШ)	11
4	Натриевые полевые шпаты	15
5	Кальцит	11
6	Доломит	2
7	Сидерит	5
8	Пирит	1
9	Гидрослюдя	3

Изучение минерального состава пород позволяет получить достоверные уравнения корреляционных связей между петрофизическими параметрами продуктивных коллекторов ($K_{\text{пр}}=f(K_{\text{n}})$, $K_{\text{вн}}=f(K_{\text{n}})$, $K_{\text{вн}}=f(K_{\text{пр}})$ и д.р.). В частности, содержание гидрослюды увеличивает количество связанной воды, что приводит к снижению удельного электрического сопротивления (УЭС) коллекторов. Содержание незначительного количества пирита приводит к увеличению плотности и УЭС. Присутствие в составе песчаников КПШ приводит к повышению радиоактивности пород по гамма каротажу (ГК). Это может затруднить выделение коллекторов по ГК.

Таким образом, оценка влияния минерального состава на петрофизические свойства терригенных пород способствует пониманию процессов формирования коллекторов, и повышению точности прогноза их характеристик. Данные выводы подчеркивают важность комплексного подхода к изучению литолого-минералогического состава, что значительно повышает эффективность разработки нефтегазовых месторождений.

Литература

1. Касаткин В.В., Светлов К.В., Миропольцев К.Ф., Шилов Ю.И. Корреляция пластов континентального генезиса на примере покурской свиты Берегового месторождения // Актуальные проблемы нефти и газа. 2021 Вып. 4(35). С. 13–20.
2. Вахитова Г.Р., Казарян А.А., Сахаутдинова Э.Р. Анализ возможности фациального моделирования неоднородных отложений Покурской свиты на основе данных керна и ГИС // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов / Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources, 2025, № 1 (38) DOI 10.24412/2949-4052-2025-1-40-50.

© Казарян А.А., Вахитова Г.Р., 2025

Алсынбаев А.М.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитова Г.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ УСТЬ-КАМЧАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

Необходимость сейсмической разведки на Усть-Камчатском месторождении обусловлена изучением геологического строения и выявлением продуктивных залежей в недрах земли. Одним из методов сейсморазведки является метод вертикального сейсмического профилирования (ВСП) [1].

Метод ВСП основан на возбуждении сейсмических волн на поверхности земли и их регистрации в скважине.

Вертикальное сейсмическое профилирование позволяет изучать геологическое строение и физические свойства околоскважинного пространства на основе анализа волн различных типов – продольных, поперечных, обменных, с использованием спектральных характеристик этих волн, скоростей их распространения, затухания, пространственной поляризации, характера анизотропии горных пород [2, 3].

Цель данной работы заключается в следующем:

- изучении скоростной характеристики разреза;
- стратиграфической привязке отражений;
- уточнении поведения и глубин отражающих границ.

В процессе выполнения исследований были проанализированы волновые поля и получены следующие результаты:

1. Оценены интервальные, средние и пластовые скорости по продольным и поперечным волнам.
2. Оценена отражательная характеристика среды и акустический импеданс во вскрытой части разреза.
3. Представлены волновые поля отраженных продольных и поперечных волн с глубинной и литолого-стратиграфической привязкой.
4. Выполнена увязка данных ВСП с ГИС и данными наземной сейсморазведки 2D.
5. Оценена форма сигнала профиля 2D.
6. Получены мигрированные глубинные и временные разрезы ВСП-2D по продольным и поперечным волнам.

Полученные в работе результаты имеют практическое значение для уточнения геологического строения околоскважинного пространства и выявления продуктивных залежей.

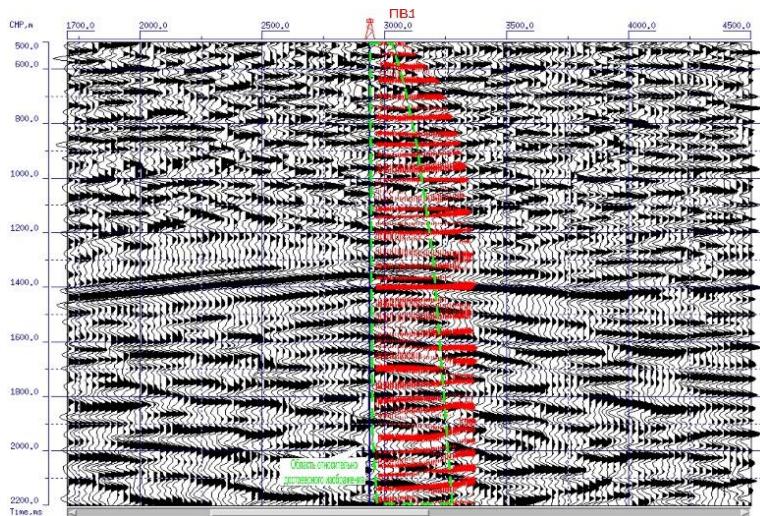


Рис. 1. Сопоставление профиля и разреза ВСП по дальнему ПВ (ПВ1)

Литература

1. «Проведение скважинных сейсморазведочных работ методом ВСП-НВСП в параметрической скважине № 1 Усть-Камчатская».
2. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. – М., Недра, 1982. 344 с.
3. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование – опыт и результаты применения. – М., Наука, 1994. 320 с.

© Алсынбаев А.М., Вахитова Г.Р., 2025

Хусаинова Р.Р..
маг. 1 г. об. ФТИ УУНИТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитова Г.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНИТ, г. Уфа

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКТОРОВ ЮРСКОГО ПЕРИОДА НА ПРИМЕРЕ ПАЙТЫХСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХМАО

Пайтыхское месторождение расположено в Шамском нефтегазоносном районе Приуральской нефтегазоносной области. Поисково-разведочные работы установили промышленную продуктивность в отложениях среднеюрского возраста тюменской свиты (пласты Ю₂-Ю₇). Геологическое строение этих отложений характеризуется литолого-фациальной изменчивостью, разрез представлен терригенными образованиями как континентального, так и морского генезиса. Залежи нефти характеризуются невыдержанностью эффективных толщин и фильтрационно-ёмкостных свойств, наличием зон выклинивания, глинизации и множества тектонических нарушений и относятся к типу сложных по геологическому строению [1].

Цель данной работы заключается в изучении особенностей распределения эффективных толщин, их коллекторских свойств и характера насыщенности на основе количественной интерпретации скважинных данных (ГИС).

В результате анализа зарегистрированных в скважинах физических свойств горных пород - удельного электрического сопротивления (ρ_h), потенциалов собственной поляризации (α_{nc}); естественной радиоактивности (ΔJ_{ek}), интервального времени (Δt) продольной волны, объёмной плотности (σ) – определены величина пористости, проницаемости, объемная доля флюидонасыщенности и характер распределения нефтенасыщенных коллекторов пластов Ю₂-Ю₇. Выявлены интервалы глубин, рекомендуемые к заканчиванию и перфорации скважин. Анализ исходных данных и результатов интерпретации показал, что оценка характера насыщенности коллекторов Ю₂-Ю₇ затруднена из-за их малой мощности и искажения сопротивления за счет высокого влагосодержания глин и алевролитов в продуктивной части [2].

В дальнейшем, планируется обоснование количественных критериев для учета влияния глинизации и малой мощности на расчет коэффициента нефтенасыщенности в коллекторах.

Литература

1. Шабрин Н.В. Геологическое обоснование углеводородного потенциала коры выветривания и юрских отложений (месторождения Шамского региона). // Дис. на соиск. уч. степ. к.г.-м.н. 2024 г.
2. Вахитова Г.Р., Валиуллин Р.А., Кофонова С.Р. Оценка характера насыщенности продуктивных терригенных коллекторов Западно-Сибирского месторождения, характеризующихся низкими значениями сопротивления // Нефтегазовое дело, № 6, декабрь 2023 г.

© Хусаинова Р.Р., Вахитова Г.Р., 2025

Аликов К.Р.,
 студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Рамазанов А.Ш.,
 д.т.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ И НЕФТИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

В связи с проектированием и анализом разработки нефтяных и газовых месторождений приходится исследовать совместное течение в пористой среде нескольких жидкостей, чаще всего воды, нефти и газа, представляющих собой обособленные фазы, не смешивающиеся между собой [1]. Особое значение в этом контексте имеет математическое моделирование процессов фильтрации.

Движение флюидов в пористых средах определяется теми же фундаментальными законами, по которым происходит, например, их движение в атмосфере, трубопроводах и реках. Эти законы базируются на сохранении массы, момента и энергии, они детально обсуждаются во многих книгах, в том числе у Бёрда и др. (1960), Шлихтинга (1968), Монина и Яглома (1971). С практической точки зрения совершенно безнадежно в настоящее время пытаться приложить эти основные законы непосредственно к задачам о течении флюидов в пористых средах. Вместо этого используется полуэмпирический подход, в котором взамен уравнения момента применяется закон Дарси [2].

Эти процессы описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений, решение которых обычно сводится к задачам смешанных начально-краевых условий, для чего эффективно применяется численное моделирование.

В данной работе мной рассматривается модель одномерной двухфазной фильтрации воды и нефти в цилиндрической системе координат. Используя уравнение неразрывности для воды и нефти, уравнение Дарси и учитывая зависимости плотности от давления, а также фазовой проницаемости от насыщения нами была построено распределение давления и насыщения в пласте при радиальной фильтрации. Ниже приведена расчётная система уравнения:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}(m\rho_w S_w) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\rho_w * \vartheta_w(r)) = 0; \vartheta_w(r) = -k \frac{k_w}{\mu_w} \frac{\partial p}{\partial r}, \\ \frac{\partial}{\partial t}(m\rho_o S_o) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\rho_o * \vartheta_o(r)) = 0; \vartheta_o(r) = -k \frac{k_o}{\mu_o} \frac{\partial p}{\partial r}, \\ \rho_i = \rho_i^0 * [1 + \beta * (p - p_0)], i = \{w, o\}. \\ S_w + S_o = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Где: t – время, с; m – пористость, у.е.; $S_{w,o}$ – насыщенность воды и нефти, у.е.; ρ_w – плотность воды и нефти, кг/м³; r – радиус скважины, м; $v_{w,o}$ – скорости фильтрации воды и нефти, м/с; k – абсолютная проницаемость, м²; $k_{w,o}$ – относительные фазовые проницаемости воды и нефти, у.е.; $\mu_{w,o}$ – вязкость воды и нефти, Па^{*}с; p – давление, Па; r – радиальная координата, м; $\rho_{w,o}$ – плотность воды и нефти, кг/м³, $\rho_{w,o}^0$ – плотность воды и нефти при контролльном давлении p_0 , кг/м³; β – сжимаемость фаз, Па⁻¹; p_0 – контролльное (атмосферное) давление, Па.

Дискретизация этой нелинейной системы дифференциальных уравнений проведена методом контрольных объёмов.

Расчетная схема реализована на языке программирования Python.

Литература

1. Басниев К.С., Kochina И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика: учебник для вузов. – М.: Недра, 1993. – 416 с.
2. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. – Москва–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 416 с.

© Аликов К.Р., Рамазанов А.Ш., 2025

Уразов И.И.,

маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

Науч. рук.: Шарафутдинов Р.Ф.,

д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭМУЛЬСИИ В МИКРОКАНАЛАХ

В настоящее время, коэффициент Джоуля-Томсона уже хорошо изучен для разных видов чистых жидкостей и газов, однако в случае эмульсий подробные исследования еще не проводились. Это актуально, учитывая, что образование эмульсии часто происходит в призабойной зоне пласта вследствие притока нефти и воды. Поэтому, важным является проведение экспериментальных исследований для определения коэффициента Джоуля-Томсона в таких системах и изучение термогидродинамических процессов, возникающих при фильтрации эмульсии.

На начальном этапе, эксперименты проводились для чистых жидкостей- масла и воды. В ходе экспериментов для чистых жидкостей было установлено, что при дросселировании жидкости, с течением времени, устанавливается стационарное поле давления и поле температуры, т.е. можно перейти к оценке коэффициента Джоуля-Томсона для этой жидкости.

Дальнейшие исследования изменения температуры при дросселировании проведены для эмульсии вода – декан (75% воды и 25% масла). Теоретическое значение коэффициента Джоуля-Томсона вычислялось с учетом процентного соотношения (75% воды, 25% масла) и принимая коэффициенты Джоуля-Томсона для воды $\varepsilon = 0,02 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{атм}$ и масла $\varepsilon = 0,038 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{атм}$ получим:

$$\bar{\varepsilon}_{\text{теор}} = 0,75 \cdot \varepsilon_{\text{в}} + 0,21 \cdot \varepsilon_{\text{м}} = 0,023 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{атм}$$

Литература

1. Асылгареев А.А., Шарафутдинов Р.Ф., Валиуллин Р.А., Космылин ДВ. // Экспериментальное исследование термогидродинамических процессов при фильтрации водонефтяной эмульсии. Статья для вестника ТюмГУ 2022 //.
2. А. К. Кикоин, И. К. Кикоин Молекулярная физика. – Москва, изд-во Наука, 2-е изд., перераб., 1976 г. – 480 с.
3. Валиуллин Р.А. Баротермический эффект при трехфазной фильтрации с фазовыми переходами / Р.А. Валиуллин, А.Ш. Рамазанов,

Р.Ф. Шарафутдинов // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 1994. № 6. С. 113-117.

4. Ахметов А., Телин А., Корнилов А. Дисперсионные и реологические характеристики обратных водонефтяных эмульсий на основе нефтей приобского и мамонтовского месторождений: Науч. статья, Научно-технический вестник ЮКОС. – 2004. – №. 9. – С. 43-50.

5. Валиуллин Р.А. Исследование температурного поля в скважине с индукционным нагревом колонны при наличии каналов заколонного перетока жидкости / Р.А. Валиуллин, Р.Ф. Шарафутдинов, В.Я. Федотов, Д.В. Космылин, И.В. Канафин // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2017. Том 3. № 3. С. 17-28. DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-17-28.

6. Болгарский А. В., Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача: Учебн. для вузов – Москва, изд-во Высшая Школа, изд. 2-е, перераб. и доп., 1975. 495 с.

7. Воробьев Н.А., Валиев А.А., Ахметов А.Т., Урманчеев С.Ф. Распределение физических параметров высококонцентрированной эмульсии при установившемся течении в канале переменного сечения // Труды института механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН, Уфа, 2016 г., Том 11. – № 2. – С. 278–283.

8. Баренблatt Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. – М.: Недра, 1984. – 211 с.

9. Султанова М.В., Гафуров А.И., Шарафутдинов Р.Ф. Термогидродинамические эффекты в многофазных средах // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 1. – С. 164-167.

© Уразов И.И., Шарафутдинов Р.Ф., 2025

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Информация об устойчивости ствола скважины при бурении на нефть является важной, поскольку определяет успешность бурения и позволяет избежать осложнений. Устойчивость ствола скважины рассчитывается при геомеханическом моделировании для получения информации о состоянии главных напряжений в горных породах. Основой геомеханического моделирования являются данные геофизических исследований скважин, в частности, распределение объемной плотности и интервального времени продольной акустической волны. Имея эти данные, можно определить упругие свойства горных пород, оценить горное давление и, следовательно, устойчивость стенок скважины и образования трещин и разломов. Факт разрушения стенок скважины, т.е. образования вывалов и трещин растяжения, можно использовать для расчетов главных напряжений и определения их ориентации. В процессе разработки месторождения состояние напряжений изменяется, что оказывает влияние на продуктивность скважин.

Целью работы является выявление критериев трещиноватости в породах на основе геомеханического моделирования и анализа геофизических исследований скважин ХХ48.

В данной работе решаются следующие задачи:

1. восстановление пропущенных данных интервального времени и плотности пород;
2. геомеханическое моделирование;
3. обоснование критериев трещиноватости горных пород.

В результате выполнения данной работы проанализировано качество диаграмм ГГК и АК сопоставлением с данными керна. Отмечено, что качество ГГК плохое по причине разрушенной стенки скважины при бурении. Диаметр скважины в интервале карбонатных отложений практически всегда увеличен, в интервале терригенных пластов отмечаются интервалы с кавернами, где ГГК значительно искажен. Плотность пород, измеренная на образцах керна, плохо согласуется с измерениями в скважине методом ГГК. Качество АК удовлетворительное.

В интервалах отсутствия каротажных данных восстановлены пропущенные объемная плотность и интервальное время, выполнено

геомеханическое моделирование, определены главные максимальное и минимальное напряжения и сделаны расчеты упругих параметров (рис. 1).

Выполнен совместный анализ распределения вертикального напряжения, порового давления и диаграмм ГИС стандартного комплекса для выявления признаков наличия трещин в породах по ГИС (рис. 2).

Выводы:

В интервалах образования каверн и неровностей стенок скважины при бурении, наличия трещин в породах величина вертикального напряжения горных пород снижается. Это согласуется с диаграммами геофизических методов: кавернометрии, гамма-гамма плотностного, акустического и гамма-каротажа.

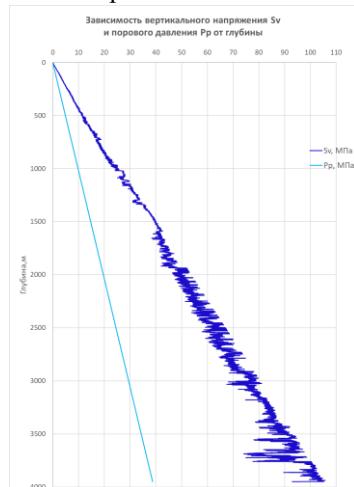


Рис. 1.

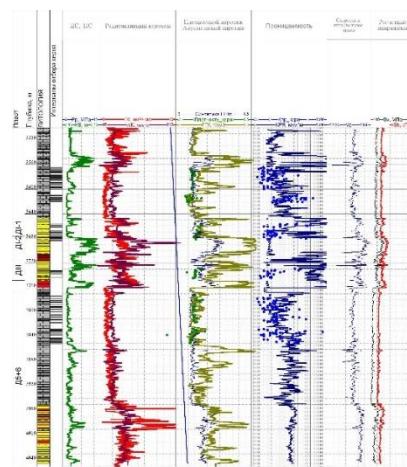


Рис. 2.

Литература

1. Зобак М.Д. Геомеханика нефтяных залежей // Институт компьютерных исследований. 2018. – 480 с.
2. Г.Р. Вахитова, А.И. Гумерова, Г.Ф. Шайбекова, Д.Н. Иванов, К.В. Костецкий. Петрофизическая модель коллекторов с низкими фильтрационно-емкостными свойствами с учетом новых исследований керна и геофизических данных // НТВ «Каротажник», № 3 (317). 2022 – С. 46-58.
3. Сахаутдинов И.Р., Вахитова Г.Р. Анализ результатов прогнозирования акустических свойств горных пород. // Каротажник. – 2017. – № 7(277). – 8 с.

© Сынгизова Н.Ю., Вахитова Г.Р., 2025

Каримова Д.Ф., студ. 1 к. ФТИ УУНИТ, г. Уфа;
Шайхинуров Ш.Н., студ. 1 к. ФТИ УУНИТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитова Г.Р., к.т.н., доц. ФТИ УУНИТ, г. Уфа

ОЦЕНКА ТЕКУЩЕЙ НАСЫЩЕННОСТИ ПЛАСТОВ НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОМ ИННК

Важной задачей на поздней стадии разработки месторождения является оценка текущей насыщенности коллекторов. Продуктивные перфорированные пласти вырабатываются и обводняются, поэтому необходима доразведка верхних залежей. Для эффективной добычи нефти из истощенных пластов необходимо знать, какие виды МУН следует применять. С этой целью используется импульсный нейтрон-нейтронный каротаж (ИННК), в результате которого регистрируется плотность тепловых нейтронов.

Пространственно-временное распределение плотности тепловых нейтронов от импульсного источника быстрых нейтронов определяется нейтронными параметрами исследуемой среды, т.е. количеством элементов горных пород, замедляющих эти быстрые нейтроны или поглощающих их.

Цель нашей работы заключается в детальной оценке текущей нефтенасыщенности коллекторов с использованием метода ИННК.

Зарегистрированная в скважине плотность тепловых нейтронов показывает характер текущей насыщенности: если их плотность растет, это значит, что в коллекторах много водорода, который хорошо замедляет быстрые нейтроны, превращая их в тепловые. В противном случае, это говорит о высоком содержании в коллекторах хлора, который хорошо поглощает тепловые нейтроны. На этом принципе основана интерпретация данных ИННК.

Для оценки текущей насыщенности в системе ПРАЙМ есть специальный модуль [1]. На вход подаются диаграммы времени жизни тепловых нейтронов (декремента затухания их плотности), пористости, глинистости, температуры пласта, литологическая колонка, колонка «коллектор-не коллектор». Кроме этого, нужны критические значения пористости и глинистости, минерализация или плотность пластовой воды; плотность нефти в пластовых условиях; величина газового фактора нефти; значение пластового давления и температуры пласта, диаграмма кавернометрии, значение номинального диаметра скважины, сечение захвата тепловых нейтронов в матрице породы и в глине.

Определяемое по ИННК макроскопическое сечение захвата тепловых нейтронов $\Sigma_a = \lambda/v$ (v - скорость тепловых нейтронов, при нормальных условиях равна $2.2 \cdot 10^5$ см/с, λ - декремент затухания плотности тепловых нейтронов [1/дс]), связано с петрофизическими свойствами нефтенасыщенных коллекторов уравнением (1):

$$\Sigma_a = (1 - K_p \cdot K_{gl}) \cdot \Sigma_{sk} + K_{gl} \cdot \Sigma_{gl} + K_p [(1 - K_n \cdot \text{тек}) \cdot \Sigma_b + K_n \cdot \Sigma_h], \quad (1)$$

где Σ_{sk} , Σ_{gl} , Σ_b , Σ_h - сечение захвата тепловых нейтронов в скелете породы, глинах, воде, нефти соответственно, K_p – общая пористость, K_{gl} – объёмная глинистость, $K_n \cdot \text{тек}$ – текущий коэффициент нефтенасыщенности. Из уравнения (1) коэффициент нефтенасыщенности определяется так [2]:

$$K_n \cdot \text{тек} = [(\Sigma_{tb} + (\Sigma_b - \Sigma_{tb}) \cdot K_p \cdot \Sigma_a)] / [(\Sigma_b - \Sigma_h) \cdot K_p], \quad (2)$$

где $\Sigma_{tb} = \Sigma_{sk} \cdot (1 - K_p \cdot K_{gl}) + \Sigma_{gl} \cdot K_{gl}$ – сечение захвата тепловых нейтронов скелетом породы и глинистым цементом.

Для расчета $K_n \cdot \text{тек}$ нужно знать сечение захвата нейтронов в породах, в компонентах породы и в насыщающих поры флюидах, общую пористость и глинистость. Макроскопическое сечение захвата тепловых нейтронов в породе Σ_a рассчитывается так:

$$\Sigma_a = 0.0455 * (\lambda + (D_0 + D_1 * K_p * 100 + D_2 * (K_p * 100)^2)),$$

где D_0 , D_1 , D_2 – коэффициенты уравнения для расчёта поправки декремента затухания плотности тепловых нейтронов на влияние диффузии [3].

В работе выполнена интерпретация в коллекторах бобриковско-радаевского горизонта и турнейского яруса двух скважин. Полученные результаты могут быть использованы для принятия решений по эффективной разработке вырабатываемых пластов и планированию мероприятий.

Литература

1. Программа определения коэффициента текущей нефте- и газонасыщенности коллекторов (KNGT) // Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013661265 // Автор: Урманов Э.Г., правообладатель: ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем».
2. Урманов Э.Г., Прилипухов В.И. Методика определения текущей нефтегазонасыщенности коллекторов в обсаженных скважинах // НТЖ «Изобретения и рацпредложения в нефтегазовой промышленности», М., ВНИИОЭНГ, № 4, 2004 г.
3. Урманов Э.Г., Блюменцев А.М., Мельчук Б.Ю. Николаев Н.А., Ремеев И.С., Мухутдинов В.К. Метрологическое обеспечение измерений макросечения захвата тепловых нейтронов при импульсном нейтронном каротаже // Сб. статей «Аппаратурно-методические комплексы для геофизического изучения нефтегазовых и рудных месторождений», ВНИИГИС - ЯГО, М. 2012 г.

© Каримова Д.Ф., Шайхинуров Ш.Н.,
Вахитова Г.Р., 2025

Галимов Р.А.,
студ. 5 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Канафин И.В.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ИЗОТРОПНОГО ПЛАСТА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ

Методика геофизических исследований технологией термометрии на сегодняшний день внедрена в нефтесервисную область на промышленном уровне, и решает задачи контроля за разработкой газонефтяных месторождений. Измерение температуры как функции, описывающей всестороннее состояние изучаемой среды, взаимного движения системы частиц, позволяет оценивать в широком спектре происходящие физические процессы в система «пласт – скважина».

На основании анализа классификации комплекса алгоритмов, позволяющих решать различные задачи по зарегистрированным данным термометрии, разные ведущие отечественные и зарубежные научно-исследовательские команды выделяют, что численное моделирование характеризуется наивысшей информативностью и наибольшими возможностями для исследования динамики работы скважин с разной геометрией вскрываемых пластов, флюидами с различными PVT свойствами, а также при смене режима работы скважин [1-2].

Анализ динамической трансформации температурного поля в добывающей скважине, эксплуатирующей одновременно несколько соседних продуктивных пластов, при фильтрации нефти с присутствием долей пластовой воды и газа является основной целью данной работы.

Математическую базу модели составляет уравнение притока тепла, отражающее влияние всех термогидродинамических эффектов, уравнения неразрывности для нефти, газа и пластовой воды, а также для совместной фильтрации фаз; и уравнения относительной фазовой проницаемости в присутствии трех видов флюида. Уравнения решаются методом контрольных объемов, для линеаризации полученной системы нелинейных уравнений вычисляется матрица Якоби. С целью автоматизации расчетов, создания основ пользовательского интерфейса, дальнейшей коммерциализации программного обеспечения, был создан специальный «термосимулятор». Характерной чертой функционала предлагаемого продукта является возможность добавления дополнительных пластовых структур – по сути, изучение скважины, вскрывающей многопластовую залежь.

Для самих вычислений и последующей интерпретации полученных данных необходимо задать входные параметры. Так, помимо типовых теплофизических характеристик флюидов, параметры исследуемого пласта составили: плотность породы $2500 \text{ кг}/\text{м}^3$, удельная теплоемкость $500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{°К})$, коэффициент теплопроводности $3.5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°К})$, пористость пласта 0.2. Проницаемости слоев пласта заданы следующим образом: верхний пласт 100 мД , средний – 200 мД , и нижний 500 мД .

В ходе данного исследования был сделан ряд выводов: во-первых, выполнен анализ влияния параметра доли газа и воды в трехфазной смеси на трансформацию теплового поля в скважине в результате фильтрации в пористой среде, а в дальнейшем и при течении по стволу скважины, на базе созданной численной модели. Во-вторых, по решению обратной задачи скважинной термометрии при известных содержаниях компонент смеси, был сделан вывод о возможности оценки фильтрационно-емкостных свойств коллектора, в частности, абсолютной проницаемости. В-третьих, численные данные исследования возможно применить по отношению к интерпретации результатов промысловово-геофизических исследований обсаженных скважин с присутствием многофазных потоков, решений типовых задач комплекса методов закрытого ствола, дополнения методологии технологии температурного каротажа для скважин с многофазными потоками.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-01066, <https://rscf.ru/project/23-77-01066/> «Создание физических основ технологии рациональной разработки месторождений многокомпонентных углеводородов в неоднородных многослойных коллекторах на основе термометрических исследований», соглашение № 23-77-01066 от 8 августа 2023 г.

Литература

1. 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.
2. Gao Y., Cui Y., Xu B., Sun B., Zhao X., H. Li, L. Chen. Two phase flow heat transfer analysis at different flow patterns in the wellbore // Applied Thermal Engineering. Vol. 117, 2017. Pp. 544-552. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.02.058>.

© Галимов Р.А., Канафин И.В., 2025

Мурзабаев И.Ю.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Закиров М.Ф.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ НЕПРОЕКТНОГО УХОДА ЗАКАЧИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Непроектный уход закачиваемой жидкости является одной из важнейших проблем в нагнетательных скважинах, а методы нахождения таких интервалов востребованы и интересны для нефтегазовых компаний. Для определения таких интервалов применяются такие методы как: расходометрия, радиогеохимический эффект и термометрия. Наиболее эффективным методом является термометрия. Термометрия решает важнейшие задачи: выявление работающих пластов, определение перетоков и оценка технического состояния скважины.

В связи с этим, необходимо понимать физические основы данного метода, знать конструкцию нагнетательной скважины, а также виды заколонных перетоков (ЗКЦ).

Цель данной работы заключается в изучении методов расходометрии, термометрии и радиогеохимического эффекта. Моделирование скважин с непроектным уходом закачиваемой жидкости и определение их интервалов по характерным аномалиям термометра.

Литература

1. Валиуллин Р.А. Термогидродинамические исследования пластов и скважин нефтяных месторождений: учебное пособие / Р.А. Валиуллин [и др.]. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. – 214 с.
2. Валиуллин Р.А. Термогидродинамические исследования пластов и скважин нефтяных месторождений: учебно-методическое пособие Р.А. Валиуллин и др. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. – 250 с.
3. Назаров В.Ф. Термометрия нагнетательных скважин. Дис. на соискание уч. степени д.т.н., Уфа, 2003.
4. Сквородников И.Г. Геофизические исследования скважин. Екатеринбург, 2003 г. – 294 с.
5. Валиуллин Р.А. Исследование действующих скважин: учебное пособие / Р.А. Валиуллин, Р.К. Яруллин. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. – 156 с.
6. Зимовец А.М. Контроль за состоянием призабойной зоны пласта на основе анализа аномалий радиоактивности в скважине. Дис. на соискание уч. степени д.т.н., Уфа, 2008.
7. Р.А. Валиуллин, Р.Ф. Шарафутдинов, В.Я. Федотов, Д.В. Космылин, И.В. Канафин // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2017. Том 3. № 3. С. 17–28.

Абызбаева А.З.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитова Г.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ШЛИФАМ

Изучение характеристик горных пород имеет ключевое значение для понимания их происхождения, условий формирования и свойств. Одним из наиболее информативных методов исследования является микроскопический анализ шлифов, который позволяет детально изучить минеральный состав, пористость, вторичные изменения и другие характеристики пород [1].

Цель данной работы — экспериментальное исследование структурно-текстурных неоднородностей горных пород на основе микроскопического анализа шлифов.

Шлиф представляет собой тонкий срез горной породы (толщиной 0,02–0,03 мм), закреплённый на стекле и отполированный для изучения под микроскопом в проходящем свете [2].

Исследования проводятся с использованием Saike Digital серии SK2009 –современного оптического прибора, основным принципом работы которого является оптико-электронное сканирование поверхности.

Перед началом работы совершается настройка освещения и выбор объектива (в нашем случае с 4-х кратным увеличением), после чего производится цифровая фиксация данных и их последующий анализ.

На основе полученных снимков:

1. Анализируются форма, размер и взаимное расположение минеральных зёрен (гранулобластовая, порфиробластовая, гранобластовая структуры) [3].

2. Оценивается пространственная ориентация минералов (массивная, сланцеватая, полосчатая текстуры) [3].

3. Идентифицируются основные и акцессорные минералы, их процентное соотношение.

4. Фиксируются тип (первичная, вторичная), форма и размер пор.

5. Выявляются признаки выветривания, окварцевания, карбонатизации и других процессов.

В ходе исследования были изучены шлифы 6 образцов различных горных пород. В результате было установлено:

1. Преобладание кварца и полевых шпатов с участками вторичного каолинита.

2. Наличие трещиноватости, заполненной кальцитом.
3. Неоднородная пористость с преобладанием межзерновых пор.
4. Локальные зоны окварцевания, свидетельствующие о гидротермальном воздействии.
5. На 3 из 6 образцах отмечается наличие органических останков микроорганизмов.

Таким образом, информация, полученная в результате исследования шлифов, в дальнейшем может быть полезна для интерпретации геофизических исследований скважин, оценке пористости и выявления микротрещин. Полученные данные позволяют судить об условиях формирования пород, их вторичных изменениях и фильтрационно-ёмкостных свойствах, что важно для петрологических и нефтегазопоисковых исследований.

Литература

1. Недоливко Н.М., Ежова А.В. Петрографические исследования терригенных и карбонатных пород-коллекторов: учебное пособие / Н.М. Недоливко, А.В. Ежова; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 172 с.
2. Справочник по литологии: под ред. Н.Б. Вассоевича, В.Л. Либровича, Н.В. Логвиненко, В.И. Марченко. – М.: Недра, 1983. – 509 с.
3. Мизенс Г.А. Изучение осадочных пород в прозрачных шлифах: учебно-методическое пособие по дисциплине «Литология» для студентов специальности 130304 - «Геология нефти и газа» (ГН). – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 86 с.

© Абызбаева А.З., Вахитова Г.Р., 2025

СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

УДК 532.5

Галеева Д.Р.,
ст. преп. УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Киреев В.Н.,
к.ф.-м.н., доц. УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ КАПЛИ В ТЕРМОВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ФАЗОВОГО ПОЛЯ

Изучение особенностей поведения отдельных капель в потоке с неоднородным температурным полем является актуальной задачей в самых разных областях науки и промышленности. В настоящей работе исследуется скорость и деформация капли, движущейся в плоском канале, заполненном жидкостью с аномальной зависимостью вязкости от температуры.

Рассматривается ламинарное течение несжимаемой термовязкой жидкости с аномальной зависимостью вязкости от температуры в плоском канале под действием перепада давления Δp (рис. 1). Жидкость втекает в канал при постоянной температуре T_{in} , на стенках канала происходит теплообмен с окружающей средой температуры $T_{out} < T_{in}$.

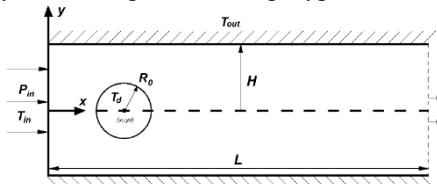


Рис. 1. Схема канала и капли

После того, как в канале установится постоянное температурное поле и развитое ламинарное течение, в канал помещается сферическая капля радиусом R_0 температуры T_{in} , которая движется вместе с основным потоком. Жидкости считаются несмешивающимися и несжимаемыми, плотности одинаковы.

Деформация капли в потоке жидкости моделируется с помощью системы уравнений Кана-Хилларда-Навье-Стокса, в котором граница раздела сред имеет малую, но конечную толщину [1-3].

Аномальная зависимость вязкости от температуры характерна тем, что в плоском канале образуется высоковязкая область – вязкий барьер, который влияет на скорость жидкости и форму капли [4]. Для расчетов была рассмотрена изотермически горячая жидкость без вязкого барьера

($A=0$), а также термовязкие жидкости с вязкими барьерами ($A = 5, A = 10$). Параметры течения были подобраны таким образом, чтобы вязкий барьер устанавливался на середине канала.

На рис. 2 показаны формы капли с капиллярным числом $Ca=10$ в разные моменты времени для трех параметров аномалии вязкости A несущей жидкости. Видно, что капля сильно деформируется. Сначала на задней стенке возникает прогиб, который потом замыкается и внутри капли образуется область, состоящая из жидкости окружающей среды.

При движении капли в вязком барьеце, барьер влияет на форму капли, сужая задний край, за счет чего замкнутая область с другой жидкостью в капле уменьшается вплоть до полного исчезновения (при $A=10$). Чем больше параметр аномалии жидкости A , тем сильнее он сужает каплю. После выхода из вязкого барьера капля приобретает установленную форму.

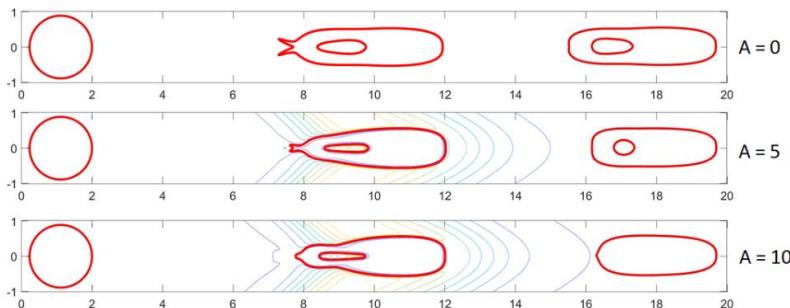


Рис. 2. Формы капли в канале с вязким барьером и без него

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., Ceniceros 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., Урманчеев С.Ф. Влияние теплообмена на гидравлическое сопротивление при течении термовязкой жидкости в коническом диффузоре // Вестник Башкирского университета. Т. 27. № 4. 2022. С. 852-857.

Аюпов А.Р.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ГЕОМОДЕЛИРОВАНИЯ

Для эффективной оценки запасов нефтегазовых месторождений важно иметь точные геологические модели, отражающие распределение пористости и проницаемости пород. Традиционные методы пространственного моделирования – кригинг и последовательное гауссово стохастическое моделирование (ПГСМ) [1] – хотя и дают стабильные результаты, но имеют ограничения при работе с нелинейными зависимостями и разнородными данными. Современное развитие компьютерных технологий открыло новые возможности применения методов машинного обучения для создания более точных и гибких моделей.

В данном исследовании использованы данные о пористости продуктивного пласта, полученные с помощью гидродинамического симулятора tNavigator [2]. Исходные данные включали координаты скважин и соответствующие значения пористости в ячейках сетки. Для моделирования условий ограниченной информации использовалось 5% от общего объема данных. Такой выбор объясняется необходимостью сохранения пространственной репрезентативности при моделировании, а также соответствием реальным условиям геологоразведки, где данные ограничены точечными измерениями.

Сравнительный анализ проводился между традиционными методами (кригинг и ПГСМ), реализованными в программном пакете Petrel, и алгоритмом решения задачи регрессионного анализа на основе метода k-ближайших соседей (k-NN) [3], реализованным с использованием библиотеки scikit-learn на языке программирования Python. Точность моделей оценивалась по трем метрикам: среднеквадратичная ошибка (MSE), ее корень (RMSE) и коэффициент детерминации (R^2). Преимущество метода регрессии на основе k-NN заключается в его гибкости: в отличие от кригинга, требующего линейности данных, и ПГСМ, основанного на гауссовом распределении [4], этот алгоритм может работать с любыми типами распределений и успешно учитывать пространственные неоднородности [5]. Это позволяет более точно определять границы пласта и локальные аномалии.

Для построения модели k-NN выборка данных была разделена на обучающую (70%) и тестовую (30%) подвыборки. Обучение проводилось на координатах скважин и их известных значениях пористости, а тестирование – на ранее не использованных данных. После обучения

модель k-NN использовалась для предсказания значений пористости в точках, для которых изначально данных не было (оставшиеся 95% площади). Метод ближайших соседей определял пористость на основе значений ближайших известных точек, что позволило воспроизвести картину распределения пористости по всему пласту.

Таблица 1.
Сравнение метрик для методов пространственного геомоделирования

Метод \ Метрика	MSE	RMSE	R ²
Кrigинг	0.0035	0.0591	0.8049
ПГСМ	0.0028	0.0529	0.8260
k-NN	0.0011	0.0331	0.9276

Как видно из таблицы, исследование подтвердило значительные преимущества машинного обучения для пространственного моделирования геологических характеристик. Данный алгоритм особенно эффективен благодаря способности обучаться на различных типах данных и воспроизводить мелкие детали распределения свойств пласта.

Литература

1. Uyan M., Dursun A.E. Determination and modeling of lignite reserve using geostatistical analysis and GI//Arabian Journal of Geosciences. – 2021. – Т. 14. – №.4. – С. 312.
2. Kanaani O.O. et al. Prediction of gas coning in hydrocarbon reservoir using tNavigator //Progress in Energy and Environment. – 2021. – С. 1-22.
3. Елфимов В.А., Клепиков П.Н. Определение атмосферного давления с помощью метода k-ближайших соседей //Труды семинара по геометрии и математическому моделированию. – 2024. – №. 10. – С. 4-10.
4. Busico G. et al. Assessment of NO₃-As, and F-Background Levels in Groundwater Bodies: A Methodological Review and Case Study Utilizing Sequential Gaussian simulation (SGS) // Groundwater for Sustainable Development. – 2024. – С. 101211.
5. Жидков Р.Ю. Применение методов машинного обучения в инженерно-геологических исследованиях. Мировой опыт и перспективы применения в России // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации.

© Аюпов А.Р., Мусин А.А., 2025

Мукимова Р.Ш.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Лапицкий Д.Р.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ТЕЧЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ НА ПОТРЕБЛЯЕМУЮ МОЩНОСТЬ ЭЦН-ПЭД

Установка электроцентробежного насоса (УЭЦН) является наиболее распространенным устройством для механизированного способа добычи нефти [1]. Погружной электродвигатель (ПЭД) служит приводом для ЭЦН, преобразуя электрическую энергию в механическую энергию вращения насосов. Основная задача данного устройства — эффективное извлечение нефти из пласта, что требует особого внимания к характеристикам его мощности.

Различные типы течения значительно влияют на характеристики работы насоса и рентабельность добычи флюидов. В данной работе исследуется влияние типа течения газожидкостной смеси на потребляемую ЭЦН-ПЭД мощность с целью подбора оптимального режима эксплуатации.

Для создания цифровой модели используется метод Беггса-Брилл (Beggs&Brill method) [2], часто используемый для расчета фазовых соотношений и давления в газожидкостных системах.

В данной работе рассматривается трехфазное течение газожидкостной смеси в ЭЦН-ПЭД и строится цифровая модель. На основе анализа оценивается нагрузка на насос и потребляемая мощность ПЭД. Результаты сравниваются с упрощенной гидродинамической моделью Black oil.

Литература

1. Кудрявцев И. А. Совершенствование технологии добычи нефти в условиях интенсивного выноса мех примесей: дис. – Тюмень: [ОАО "Сиб. НИИ нефт. пром-сти, ЗАО "Тюмен. нефт. науч. центр"], 2004.
2. Beggs D. H., Brill J. P. A study of two-phase flow in inclined pipes //Journal of Petroleum technology. – 1973. – Т. 25. – №. 05. – С. 607-617.

© Мукимова Р.Ш., Лапицкий Д.Р.,
Мусин А.А., 2025

Волкова К.Е.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Евлампиев Я.В.,
асп. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПЛАСТЕ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ И СКВАЖИНЫ С ТРЕЩИНОЙ ГРП

Контроль за энергетическим состоянием пласта подразумевает проведение ГДИС, которые как правило сопровождаются остановкой скважин, что в свою очередь влечет за собой потерю добычи нефти. Решение данного вопроса принято осуществлять за счет опорного фонда скважин. Однако этот подход не учитывает неоднородность пласта, снижая качество данных.

В связи с этим, актуальным является вопрос, связанный с необходимостью учета неравномерной выработки месторождения.

Целью работы является исследование динамики поведения пластового давления и скорости выработки запасов в зависимости от типа заканчивания скважин.

В данной работе выполнен анализ темпов снижения пластового давления для вертикальной скважины и скважины с ГРП. Проведен анализ чувствительности темпов снижения пластового давления в зависимости от показателя проницаемости пласта.

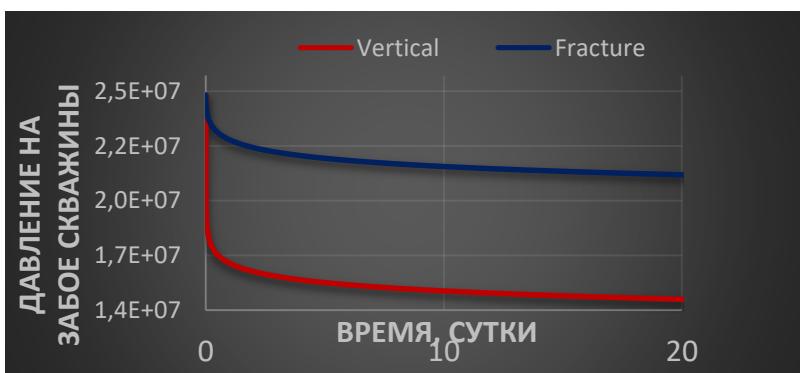


Рис. 1. Распределение давления на забое скважины
для двух типов заканчивания скважин

На основе анализа профилей давления и дебита установлено, что тип заканчивания скважины оказывает значительное влияние на скорость снижения давления и скорость выработки пласта (рис. 1).

Результаты проведенных исследований позволяют определить некоторые количественные показатели разработки месторождения.

Литература

1. Хабибуллин И., Хисамов А.А. К теории билинейного режима фильтрации в пластах с трещинами гидроразрыва // Вестник Башкирского университета. – 2018. – Т. 23. – №. 4. – С. 958 – 963.

© Волкова К.Е., Евлампиев Я.В.,
Мусин А.А., 2025

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ЛАМИНАРНОМ ТЕЧЕНИИ КРОВИ В АРТЕРИИ

Известно, что под действием циклической работы сердца течение крови в крупных и средних сосудах (артериях и артериолах) носит пульсирующий характер. Измерение давления и течения крови важно для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. С помощью моделирования можно предсказать как будет течь кровь в кровеносных сосудах при различных параметрах сердечного цикла. Первые работы по математическому моделированию крови появились в начале прошлого века [1] и продолжают появляться и сейчас [2]. Наиболее полным источником знаний является монография [3].

В данной работе рассматривается задача о пульсирующем ламинарном течении крови в артерии. Положим, что кровь течет в цилиндрической артерии диаметра r_0 и длины L под действием периодически меняющегося перепада давления $\Delta p(t)$ (рис. 1).

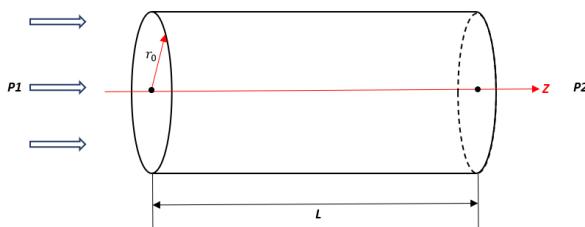


Рис. 1. Схема течения

Математическая модель течения состоит из уравнения неразрывности и уравнений Навье-Стокса, записанных в цилиндрической системе координат. Предполагая, что течение ламинарное и осесимметричное, математическая модель примет вид:

$$\frac{\partial u_z}{\partial t} = \frac{v}{r} \left(u_z + r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (1)$$

где u_z – осевая скорость, p – давление, v – кинематическая вязкость крови, ρ – плотность крови.

Перепад давления изменяется по гармоническому закону:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{\Delta p}{L} = A^* e^{i\omega t} = A^*(\cos(\omega t) + i \sin(\omega t)), \quad (2)$$

где A^* – амплитуда, ω – круговая частота, i – мнимая единица.

Уравнение (1) с учетом выражения (2) имеет следующее аналитическое решение:

$$u_z = \frac{A^* r_0^2}{i\mu\alpha^2} \left[1 - \frac{J_0(\alpha i^{3/2} \frac{r}{r_0})}{J_0(\alpha i^{3/2})} \right] e^{i\omega t},$$

где $\mu = \rho v$ – динамическая вязкость, $\alpha = r_0 \sqrt{\omega/v}$ – число Уомерсли, J_0 – функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

В результате были получены профили скорости в артерии в различные моменты времени при различных параметрах. На рис. 2 показаны характерные профили скорости. Можно видеть, что вид профиля скорости в начале каждого периода изменения давления отличается от параболического распределения Пуазейля.

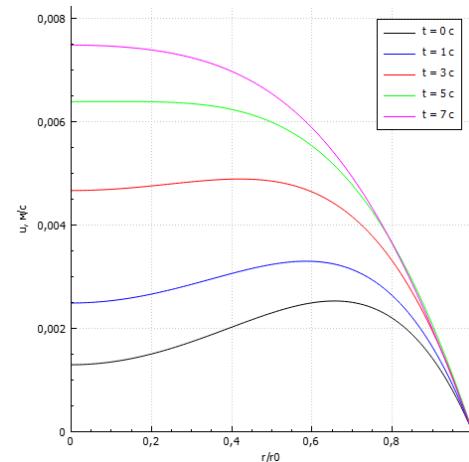


Рис. 2. Профили скорости в артерии

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.

Галиева К.А.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Солнышкина О.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В ПДМС-ЧИПАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ

Развитие микроэлектроники диктует необходимость проектирования микротеплообменников с высокой эффективностью теплоотвода, достигаемой за счет увеличенной площади контакта флюида со стенками микроканалов. Геометрия внутренней структуры устройства играет ключевую роль в формировании гидродинамического режима, определяя скорость потока и расход теплоносителя, что является важным фактором при оптимизации энергозатрат в системах охлаждения.

В рамках данного исследования проведено экспериментальное изучение влияния изменения внутренней структуры чипа на гидродинамические характеристики потока однофазной жидкости. Для этих целей была собрана установка на основе оптического микроскопа. Более подробно особенности проведения эксперимента и установки описаны в статьях [1-3]. Из оптически прозрачного полимера полидиметилсилоксана (ПДМС) методами мягкой литографии были изготовлены чипы с различным пространственным расположением цилиндрических микропинов диаметром порядка 110 мкм. Высота каждого чипа составляла примерно 25 мкм. В рамках работы рассматривалось несколько вариантов упорядочивания столбиков внутри микроканалов – однородное и с двумя масштабами упаковки (по 4 элемента в группе). Кроме того, варьировалось расстояние между столбиками.

В эксперименте была исследована пропускная способность элемента микрофлюидного устройства при различных перепадах давления. С помощью методов трассерной визуализации потоков были получены двумерные поля и гистограммы распределения скоростей. Показано, что введение второго масштаба пористости оказывает значительное влияние на поведение и распределение потока, а также сокращает объемный расход флюида.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00697, <https://rscf.ru/project/24-19-00697/>

Литература

1. Zamula, Y. S., Batyrshin, E. S., Latypova, R. R., Abramova, O. A., Pityuk, Y. A. Experimental study of the multiphase flow in a pore doublet model // Journal of Physics: Conference Series, 2019, v. 1421, No. 1, p. 012052.
2. Batyrshin, E. S., Solnyshkina, O. A., Pityuk, Y. A. Study of the features of double porosity media impregnation // Technical Physics, 2021, T. 66. – №.4, p. 543-547.
3. Galieva K.A.. Garifullin I.Sh.. Batyrshin E.S.. Solnyshkina O.A. Exnerimental analvlsis of fluid dvnamics in microchannels featurig two-scale fin pin arrays // EPJ Web of Conferences, 2025, v. 321, p. 01006.

© Галиева К.А., Солнышкина О.А., 2025

Курбанова С.С.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Давлетбаев А.Я.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ФЛЮИДОВ НА ОСНОВЕ ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПЕНГА-РОБИНСОНА

В нефтяной промышленности точная информация о PVT-свойствах пластовых флюидов имеет большое значение для разработки и эксплуатации месторождений. Эти данные важны для определения запасов нефти и газа, а также для принятия обоснованных решений в процессе проектирования. На сегодняшний день, возникает необходимость адаптации существующих методов и разработки новых инструментов для анализа углеводородных смесей. Проектирование и мониторинг месторождений теперь активно используют специализированные программные комплексы, которые внедряют научные достижения в области моделирования. Ошибки в термодинамических расчетах могут иметь серьёзные последствия, что делает создание надёжных программных решений особенно актуальным. Анализ методов обоснования свойств пластовых углеводородов показывает, что нужно развивать математические модели и внедрять их в практику, чтобы принимать правильные решения в нефтяной отрасли.

Цель данной работы заключается в разработке алгоритма для расчета термодинамических свойств однофазной смеси углеводородов на основе уравнения состояния Пенга-Робинсона [1]. Основными задачами являются: создание алгоритма для расчета свойств однофазной смеси, его программирование и разработка блок-схемы калькулятора [2].

Разработка данного алгоритма создает основу для более глубоких исследований в области термодинамики и направлена на изучение и внедрение современных математических моделей в промышленные процессы нефтяной отрасли.

Литература

1. Michelsen, M.L., 1994. Calculation of multiphase equilibrium. Comput. Chem. Eng. 18, 545–550.
2. 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., 2025

ОБОСНОВАНИЕ ОПОРНОГО ФОНДА СКВАЖИН ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДИНАМИКИ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Одним из основных инструментов по контролю за энергетическим состоянием пласта являются гидродинамические исследования скважин. В свою очередь проведение данных исследований сопряжено с остановкой скважин, что в конечном счете приводит к потери в добычи нефти. Также, необходимо учитывать наличие геологической неоднородности объектов исследования, существование технических проблем эксплуатационного фонда скважин и неравномерности распределения замеров по всей области исследования.

В рамках данной работы сформирован подход позволяющий минимизировать потери при проведении исследований. В зависимости от целей исследования производится расчет начальных параметров и подбор скважин-кандидатов с учетом равномерности охвата замерами.

В качестве основного критерия создания опорной сетки скважин выступает численная характеристика качества исследований. При расчете коэффициента надёжности использовалась методика Лысенко, предполагающая определение коэффициента надежности из коэффициента вариации, который определяется степенью неоднородности пласта по коэффициенту продуктивности.

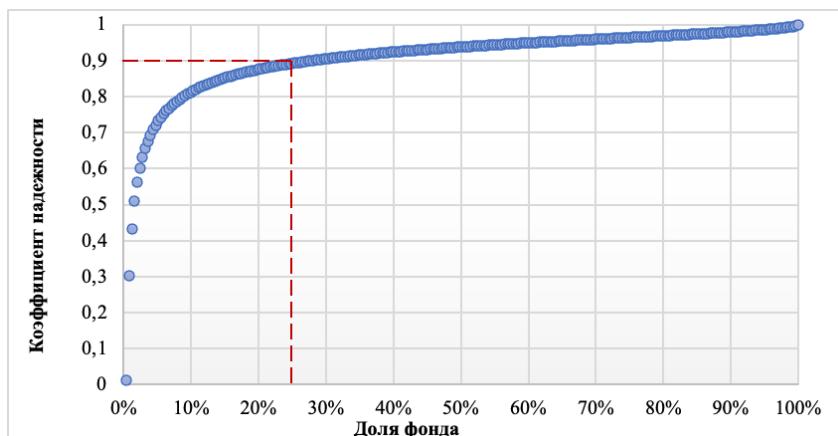


Рис. 1. Зависимость коэффициента надежности от доли фонда

Учет доли действующего фонда скважин, объем потерь и коэффициента надежности обеспечивает достоверное представление об энергетическом состоянии пласта и рассчитать качество предстоящих исследований. Также, входные данные позволяют регулировать диапазон потерь и формировать опорный фонд скважин в зависимости от желаемого качества исследований.

Анализ полученных результатов в рамках реальных объектов разработки позволяет сделать вывод о существовании точки оптимума. Дальнейшее увеличение числа скважин-кандидатов ведет к незначительному росту коэффициенту надежности, что фактически напрямую говорит о нецелесообразности увеличения затрат и позволяет оптимизировать качество исследований относительно объемов потерь.

Литература

1. Ипатов А.И., Кременецкий М.И. Геофизический и гидродинамический контроль разработки месторождений углеводородов // НИЦ Регулярная и хаотичная динамика, Москва, 2006 г., 780 с.
2. Иктисанов В.А., Байгушев А.В. Расчет опорной сети скважин для определения пластового давления // Нефтепромысловое дело. – 2018. – №. 9. – С. 12-16.

© Зуева К.Д., Киреев В.Н., 2025

Муллагалымов Р.Х.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА

Линейная скорость конца механического маятника в положении равновесия при затухании его колебаний под действием сопротивления воздуха описывается следующим законом [1]:

$$\ln|v(t_{low})| = -\gamma t_{low} + \ln(v_m) \quad (1)$$

где: $\gamma = c/(2m)$ с – коэффициент сопротивления воздуха, γ – коэффициент затухания колебаний маятника, t_{low} – время в нижней точке, v_m – максимальная скорость маятника.

Зная зависимость скорости маятника в положении равновесия от времени, можно построить линейную аппроксимацию эмпирических данных и таким образом вычислить значение γ и, соответственно, c .

В соответствии с этим, в рамках данной работы была создана специальная экспериментальная установка (рис. 1).

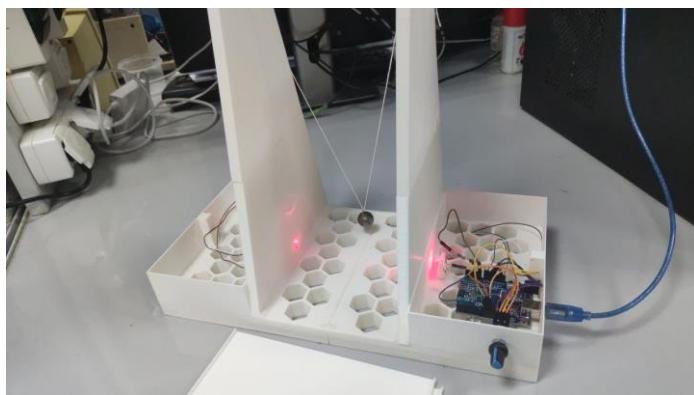


Рис. 1. Экспериментальная установка

Конструкция включает закрытые отделы для датчика и лазерного модуля с отверстиями для прохода луча, что минимизирует световое загрязнение. Устройство оснащено двумя подвесами для стабилизации

плоскости колебаний маятника и меткой для точной центровки. Основание корпуса имеет шестиугольные пустоты, уменьшающие расход пластика при 3D-печати без ущерба функциональности.

Экспериментальные данные и их линейные аппроксимации приведены на рис. 2.

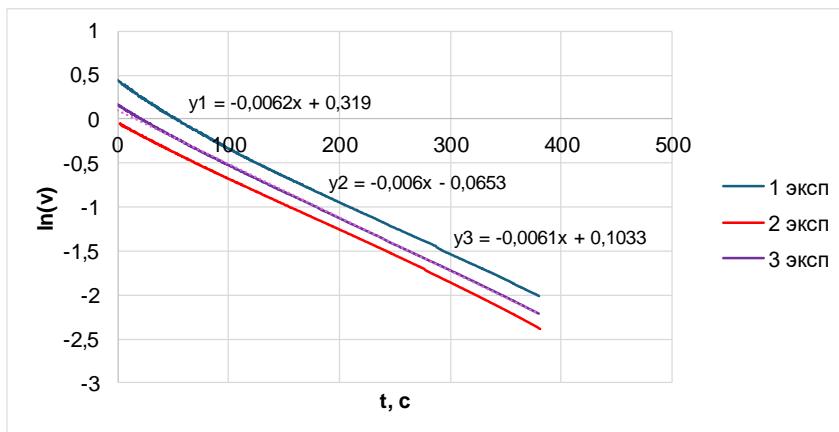


Рис. 2. Зависимость натурального логарифма линейной скорости маятника в положении равновесия от времени

Значение силы сопротивления воздуха составило:

$$c = (33,5 \pm 0,745) * 10^{-5} \text{ кг/с}, \varepsilon = 2,2\%, \alpha = 0,95.$$

Литература

- Lee K. R., Ju Y. G. Measurement of resistance coefficients of pendulum motion with balls of various sizes //arXiv preprint arXiv:2002.03796. – 2020.

© Муллагалымов Р.Х., Мусин А.А., 2025

Тулубаева Р.Р., студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Хасанова Я.Р., студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Галеев Р.Р., асп. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Валиуллина В.И., асп. 4 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЛЬТРАЦИЮ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ

Изучение влияния электромагнитных полей (ЭМП) на высоковязкие углеводороды такие как нефть, битум, эмульсии, критически важно для создания новых способов повышения нефтеотдачи. Основная задача – выявить оптимальные характеристики ЭМП (частоту, интенсивность и продолжительность воздействия), которые позволяют снизить вязкость, разрушить эмульсии и улучшить проницаемость пласта, что приведет к росту добычи. Исследования должны включать анализ реологических и электрофизических свойств углеводородных систем при воздействии ЭМП. Метод ЭМП может быть более экологичным, чем химические способы, и пригоден для использования в процессе добычи.

В настоящей работе объектом исследования являлась нефть, вязкостью $\mu=0,08290 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Эксперименты выполнялись на специально сконструированной установке. Для контроля температуры был использован термостат LOIP LT-117b, давление создавалось с помощью компрессорного насоса и управлялось регулятором давления, для построения зависимостей массы от времени использовались высокоточные весы AND GR-300. Данные по массе выводились на компьютер с помощью программы RS Weight. Эксперименты проводились при температуре $t=20\div60^\circ\text{C}$ с шагом 10°C . Для создания высокочастотного (5МГц) ЭМП электроды в экспериментальной ячейке были расположены поперек и вдоль фильтрации жидкости.

Была обнаружена, что при воздействии ЭМП вязкость углеводородной жидкости увеличивается. Это обусловлено тем, что электромагнитное поле вызывает поляризацию молекул нефти, приводя к их агрегации и формированию более крупных кластеров, что увеличивает внутреннее трение и, как следствие, вязкость жидкости [2].

Также были получены зависимости расхода жидкости от температуры, полученные при фильтрации жидкости без внешнего воздействия и под действием ЭМП при разных расположениях электродов. Получили что, при расположении электродов поперёк движению фильтруемой жидкости,

воздействие электромагнитного поля снижает расход по сравнению с отсутствием воздействия. А при расположении электродов вдоль потока фильтрации расход остается практически неизменным. Такое поведение объясняется увеличением вязкости жидкости под воздействием ЭМП, что, в свою очередь, повышает сопротивление потоку и уменьшает расход.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-20042

Литература

1. Ковалева Л.А., Мухарямова Г.И. Влияние электромагнитной обработки на реологические свойства нефти: эксперимент и приложение // Инженерно-физический журнал. – 2021. – Т. 94. – №. 3. – С. 734-740.
2. Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В. Влияние постоянного магнитного поля на реологические свойства высокопарафинистых нефтей //Коллоидный журнал. – 2003. – Т. 65. – №. 4. – С. 510-515.

© Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р.,
Галеев Р.Р., Валиуллина В.И., Мусин А.А., 2025

Туйгунова Д.М.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Солнышкина О.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПАХ С ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ БОКОВЫМ СМЕЩЕНИЕМ: РОЛЬ ГЕОМЕТРИИ КАНАЛОВ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Микрофлюидные устройства (МФУ) используются для управления потоками жидкости, смешивания реагентов, разделения частиц и других процессов на микроуровне. Понимание течений в таких системах имеет важное значение для разработки новых методов диагностики, скрининга и терапии [1]. Существуют различные технологии для управления частицами в микроканалах, которые делятся на активные и пассивные. К методам активного разделения относятся диэлектрофорез, акустофорез и магнитофорез, которые разделяют частицы, используя электрические, акустические и магнитные поля [3]. Пассивные методы основаны на свойствах частиц (размер, плотность, форма, деформируемость) и особенностях микрофлюидного чипа, включая его геометрию и гидродинамические характеристики. Наиболее известный из них – детерминированное боковое смещение (DLD), который позволяет сортировать частицы по размерам в диапазоне от нанометров до миллиметров [3].

В основе технологии лежит использование упорядоченного массива столбиков, создающего контролируемый гидродинамический профиль потока. Этот метод находит широкое применение для сортировки биологических частиц, включая форменные элементы крови (эритроциты, лейкоциты, тромбоциты), циркулирующие опухолевые клетки (CTCs), бактериальные споры, паразитов, а также наноразмерные объекты (экзосомы, ДНК) [4]. Ключевыми преимуществами метода DLD включают: высокую разрешающую способность, возможность разделения без использования меток, сохранение исходных характеристик частиц, простоту масштабирования и экономическую эффективность.

В технологии DLD критический размер частиц (D_c) определяется геометрией массива – углом миграции (θ) и межстолбиковым зазором (G). Частицы с диаметром меньше D_c движутся по зигзагообразной траектории вдоль потока, тогда как более крупные частицы отклоняются в направлении наклона канала, что обеспечивает эффективное бинарное разделение.

Микрофлюидные устройства с DLD-массивами широко применяются для сортировки биологических клеток и наночастиц. Численное моделирование течения в таких системах позволяет оптимизировать их конструкцию, снижая энергозатраты и повышая разрешающую способность. В данном исследовании анализируются зависимость эффективности разделения от числа Рейнольдса и концентрации частиц в потоке.

Рассматривается установившееся течение вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса ($Re \ll 1$), поэтому система описывается уравнениями Стокса с краевыми условиями прилипания и периодичности. Более точная математическая постановка описана в работе [1].

Задача решается с использованием метода граничных элементов (МГЭ), который эффективен для трехмерного моделирования, так как расчеты выполняются только на границе объектов. Специфика уравнений Стокса заключается в том, что они линейны и могут быть решены методом граничных элементов. Кроме того, этот подход обеспечивает точное описание границ сложных объектов, включая изменение их формы, и позволяет решать задачи для бесконечных областей с минимальными вычислительными затратами.

В данной работе изучено влияние геометрии микроканалов с DLD на интегральные характеристики. Полученные результаты окажут существенное влияние на понимание динамики разделения и захвата деформируемых дисперсных включений в каналах такого типа. Эти данные помогут углубить знания о механизмах сортировки в микрофлюидных устройствах и расширить возможности их применения в науке и технике.

Литература

1. Булатова А.З., Туйгунова Д.М., Солнышкина О.А. Трехмерное моделирование течений в микроканалах с системой детерминированного бокового смещения методом граничных элементов // Письма в Журнал технической физики. – 2024. – Т. 50. – №. 23. – С. 42-45.
2. Zhbanov A., Lee Y., Yang S. Current status and further development of deterministic lateral displacement for micro-particle separation // Micro and Nano Syst. Lett. – 2023. – Т. 11. – №. 11. – С. 11.
3. Mirhosseini S. et al. Effective boundary correction for deterministic lateral displacement microchannels to improve cell separation: a numerical and experimental study // Biosensors. – 2024. – Т. 14. – №. 10. – С. 466.
4. Minc N. et al. Quantitative microfluidic separation of DNA in self-assembled magnetic matrixes // Analytical chemistry. – 2004. – Т. 76. – №. 13. – С. 3770-3776.

Васильев М.К.,
 студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Мусин А.А.,
 к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЁМКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНА НЬЮТОНА-РИХМАНА

В рамках данной работы для определения теплоёмкости используется закон Ньютона-Рихмана — эмпирическая закономерность, выражающая тепловой поток через температурный напор:

$$T(t) = T_{\text{окр}} + (T_0 - T_{\text{окр}}) \times e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

где $T_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды, T_0 — начальная температура тела, t — время, τ — временная константа (показатель экспоненты), выражаемая как:

$$\tau = \frac{m \times c}{h \times A} \quad (2)$$

где m — масса, c — удельная теплоёмкость, A — площадь всей поверхности, h — коэффициент теплоотдачи.

Замерив температурную динамику исследуемого вещества во время охлаждения, можно найти показатель экспоненты. Это, в свою очередь, при известности значений прочих параметров, позволит найти теплоёмкость:

$$c = \frac{m \times \tau}{h \times A} \quad (3)$$

Для определения удельной теплоёмкости керна из данных температурной динамики во время охлаждения была разработана специальная экспериментальная методика. Нагрев образца был произведен в нагревательном шкафу. Далее образец был подвешен на стойке с помощью нити. Замер температуры керна был произведен тепловизором.

Была проведена аппроксимация графиков аналитической кривой (1). Значение временной константы τ составило 725,20 для первого опыта, 758,89 для второго опыта, 795,72 для третьего опыта. Наконец, по формуле (3) была рассчитана теплоёмкость c . Её значение составило 461,42 Дж/(кг·К) для первого опыта, 480,44 Дж/(кг·К) для второго опыта, 492,51 Дж/(кг·К) для третьего опыта. Финальное значение теплоёмкости составило:

$$c = (478,12 \pm 21,3) [\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})], \varepsilon = 4,4\%, \alpha = 0,95$$

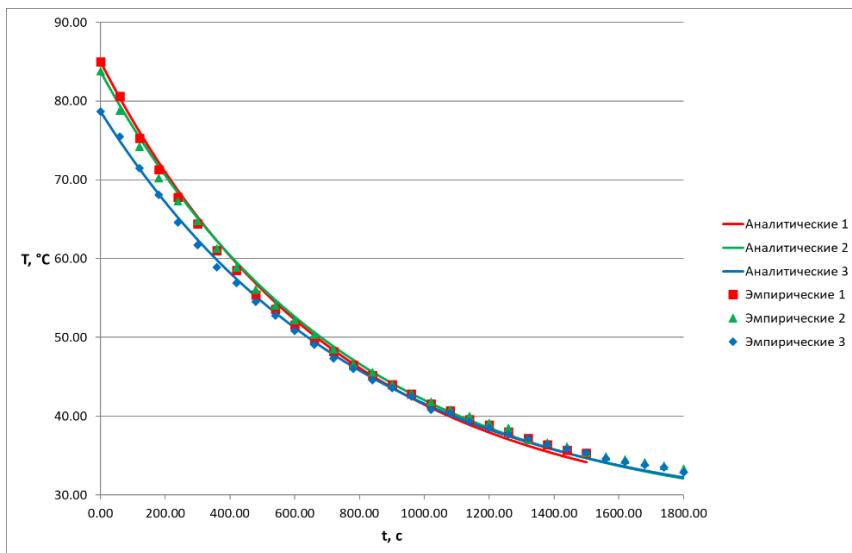


Рис. 1. График зависимости температуры керна от времени

Литература

1. Sir Isaac Newton. (1701VII). Scala graduum caloris Phil. Trans. R. Soc.22, 824–829.

© Васильев М.К., Мусин А.А., 2025

Газимова К.М.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Зиннатуллин Р.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРЕХФАЗНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

На многих нефтяных месторождениях, вступивших на позднюю стадию эксплуатации, продукция скважин характеризуется повышенным содержанием механических примесей (песка, глины, кальцита и т.д.). Присутствие механических примесей в водонефтяных эмульсиях увеличивает их устойчивость, что приводит к образованию нефтяных шламов. Первоочередной задачей при фазоразделении таких сложных трехфазных эмульсий является удаление механических примесей, перевод их в водную фазу. Для десорбции адсорбционного слоя с поверхности механических примесей и облегчения их перехода в водную фазу возможно использование электромагнитного поля ВЧ диапазона [1]. При этом степень взаимодействия электромагнитного поля с эмульсионной системой будет зависеть от её диэлектрических параметров.

В связи с чем, целью данной работы является исследование особенностей частотных зависимостей модельных трехфазных эмульсий типа «масло+вода+механические примеси» при различных соотношениях компонентов. В качестве объектов исследования использовались растворы ПАВ и их водонефтяные эмульсии с добавлением механических примесей (кварцевый песок). Исследования проводились в диапазоне частот 0,01 – 10МГц с использованием RLC-метра.

Результаты исследований показали, что добавление механических примесей в раствор ПАВ приводит в смещение области поляризации полярных компонент ПАВ в высокочастотный диапазон, что может говорить о проявлении поверхностной поляризации. Для двухфазной водонефтяной эмульсии, образованной на углеводородной основе и раствора исследуемой ПАВ смещает область дисперсии в низкочастотный диапазон относительно области поляризации чистого раствора ПАВ. Добавление механических примесей в двухфазную эмульсию типа «вода+масло» приводит к смещению области поляризации полярных компонент в высокочастотный диапазон.

Для количественного определения влияния содержания механических примесей на диэлектрические свойства трехфазных эмульсий типа «вода+масло+механические примеси» были сняты частотные зависимости эмульсий с различным содержанием механических примесей.

На рис. 1 представлены частотные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь для исследуемых проб с различным содержанием механических примесей.

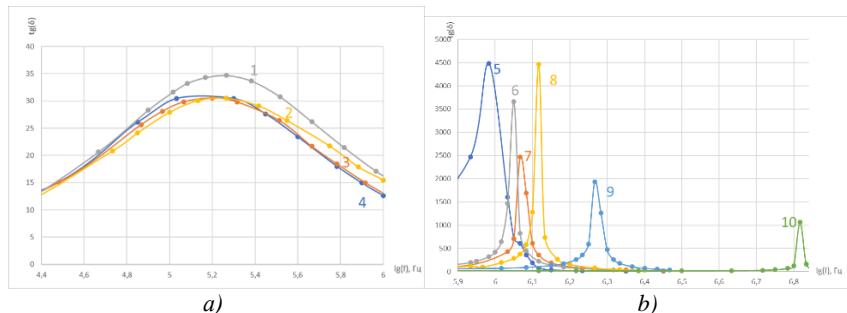


Рис. 1. Зависимость тангенса диэлектрических потерь от частоты при различном количественном содержании песка в эмульсии:
 1 – 23%, 2 – 29%, 3 – 17% 4 – 9%, 5 – 33%, 6 – 38%, 7 – 41%,
 8 – 44%, 9 – 48%, 10 - 50%

Из рис. 1 видно, что значительное смещение области поляризации наблюдается при содержании механических примесей выше 30%. Также при содержании механических примесей выше 30% форма резонансной кривой сужается и наблюдается рост максимального значения тангенса угла диэлектрических потерь в 2-3 раза, что говорит о проявлении и преобладании поверхностной поляризации над объемной. Полученные результаты в некоторой степени согласуются с результатами из литературных источников [1], где исследуется частицы Fe_2O_3 в расплаве парафина.

Исследование выполнено по теме гранта Российской научного фонда № 25-27-00181.

Литература

1. Ковалева Л.А. и др. Исследование адсорбционных процессов в пористых средах при воздействии различных физических полей: теория и эксперимент //Вестник Башкирского университета. – 2012. – Т. 17. – №. 1 (I). – С. 435-438.
2. Соцков В.А. Поверхностная поляризация в статистических смесях //Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2010. – №. 10. – С. 82-85.

© Газимова К.М., Зиннатуллин Р.Р., 2025

Илларионов А.А.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Ковалева Л.А.,
д.т.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГАЗА И
ГАЗОКОНДЕНСАТА ИЗ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ СКВАЖИНЫ
НА СТАДИИ РАЗВЕДКИ**

Для повышения достоверности и унификации подходов к оценке технологических коэффициентов извлечения газа (КИГ) и конденсата (КИК) из месторождений на стадии разведки была разработана «Временная методика оценки технологических коэффициентов извлечения газа и конденсата при открытии месторождений (залежей на разрабатываемых месторождениях) и на этапе разведки» [1]. Согласно данной методики были приняты следующие формулы для определения коэффициентов извлечения газа и конденсата:

$$\text{КИГ} = 1 - \frac{\frac{P_{\text{пл.к.}}}{Z_{\text{пл.к.}}} - 0,101}{\frac{P_{\text{пл.н.}}}{Z_{\text{пл.н.}}} - 0,101} \quad (1)$$

$$\text{КИК} = \frac{\text{КИК}^* * \text{КИГ}}{0,8} \quad (2)$$

Здесь $P_{\text{пл.к.}}$ – конечное пластовое давление, $P_{\text{пл.н.}}$ – начальное пластовое давление, $Z_{\text{пл.к.}}$ – коэффициент сверхсжимаемости для конечного пластового давления, $Z_{\text{пл.н.}}$ – коэффициент сверхсжимаемости газа при начальных термобарических условиях, КИК* – коэффициент извлечения конденсата определяемый по номограмме.

Как правило, расчеты по приведенным формулам проводятся с использованием большой базы данных и весьма трудоемки.

Вследствие этого, в рамках данной работы был составлен программный модуль с использованием кроссплатформенной свободной IDE для разработки Qt Creator, который позволяет ускорить и упростить применение методики оценки коэффициентов. Кроме того, в модуль была добавлена возможность оценки зависимости показателя КИГ от входящих параметров. На рис. 1 приведена зависимость КИГ от проницаемости в случае, когда другие параметры постоянны.

Из рис. 1 видно, что наиболее интенсивный рост наблюдается на начальном участке значений проницаемости, далее рост КИГ замедляется.

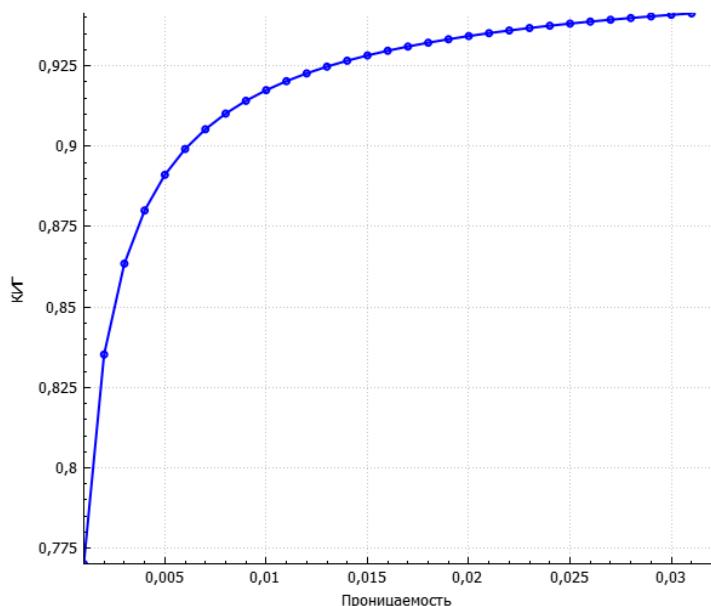


Рис. 1. График зависимости КИГ от проницаемости

Разработанный программный модуль может упростить существующий способ оценки КИГ и КИН и эффективно применяться для оценки данных параметров.

Литература

1. Временная методика оценки технологических коэффициентов извлечения газа и конденсата при открытии месторождений (залежей на разрабатываемых месторождениях) и на этапе разведки. – Тюмень, 2018.

© Илларионов А.А., Ковалева Л.А., 2025

Ахмадеев Р.Р.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;

Никонова К.В.,

спец. 1 кат. отд. геологии и запасов, ООО «Уфимский НТЦ», г. Уфа
Науч. рук.: Ковалева Л.А.,
д.т.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО НОВЫМ КЕРНОВЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

В настоящее время основные невыработанные запасы нефти, сопряженные с залежами, принято относить к карбонатным отложениям. Коллекторы в карбонатных отложениях отличаются сложным строением пустотного пространства и определяются процессами образования и постседиментационными преобразованиями. Существует множество методов оценки вторичной пустотности, основанных на данных керна и геофизических исследований скважин (ГИС). Однако на практике нередко возникают расхождения между результатами интерпретации ГИС и лабораторных исследований керна, что требует пересмотра существующих моделей. Особую сложность представляют случаи, когда керновый материал отсутствует или его объем недостаточен для достоверного анализа [1][2].

В данной работе было проанализировано месторождение, где керновый материал отсутствовал в достаточном количестве, поэтому петрофизическая модель месторождения была недостаточно корректной. В этой связи были использованы новые данные, предоставленные сервисной компанией по этому месторождению для уточнения петрофизической модели, которая была полностью переинтерпретирована по новым керновым исследованиям с учетом сложной структуры пустотного пространства и минерального состава особенности каждой залежи.

В ходе работы было установлено, что исследуемый пласт имеет карбонатную природу и характеризуется трещинно-пористым строением. Минеральный состав включает преимущественно известняки с незначительной долей доломитов и ангидритов. Новые керновые данные позволили уточнить петрофизические зависимости и скорректировать

ранее принятые параметры, что особенно важно для достоверной оценки фильтрационно-емкостных свойств коллектора.

Полученные результаты демонстрируют необходимость комплексного подхода к изучению карбонатных коллекторов. Использование дополнительных данных и дифференцированный анализ пустотного пространства способствуют повышению точности петрофизических моделей, что в конечном итоге оптимизирует процесс разработки месторождения. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку унифицированных методик интерпретации ГИС для подобных объектов, а также на интеграцию новых технологий анализа керна и геофизических данных.

Литература

1. Шуматбаев, К.Д. Комплексное изучение структуры пустотного пространства карбонатных отложений на примере месторождения им. Р. Требса / К.Д. Шуматбаев, О.Е. Кучурина, Л.М. Шишлова // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 91-93.
2. Moore, C.H. Carbonate Diagenesis and Porosite / C.H. Moor // Elsevier science. Second impression. – 1997. – 338 p.

© Ахмадеев Р.Р., Никонова К.В.,
Ковалева Л.А., 2025

Мишаков М.А.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Никонова К.В.,
спец. 1 кат. отд. геологии и запасов, ООО «Уфимский НТЦ», г. Уфа
Науч. рук.: Ковалева Л.А.,
д.т.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ НЕПОЛНОТЫ ДАННЫХ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ И НЕФТЕВОДОНАСЫЩЕННОСТИ НА ПОДСЧЁТ ЗАПАСОВ

Актуальность обусловлена тем, что расчёт запасов на месторождениях необходим для определения капиталоёмкости проекта и рентабельности освоения месторождения полезных ископаемых. Это позволяет оценить экономическую целесообразность разработки месторождения и спланировать дальнейшие шаги по его освоению. Но не всегда данные, что представлены на месторождении могут быть хорошо собраны и подсчитаны. Со временем информация может дополняться, из-за чего необходимо пересчитывать данные, чтобы иметь более достоверную картину запасов. Рассматриваемое месторождение “Х” плохо охарактеризовано керном, в нём нет точного значения пористости, отсутствовало достаточное количество опробований для разделения коллекторов на нефть и воду. Но со временем нужные данные для более точного анализа месторождения появились.

Целью является анализ информации о литологическом расчленении разреза, выделения коллекторов и определение насыщенности.

Материалы ГИС используются для литологического и стратиграфического расчленения и корреляции разрезов скважин; выделения и оценки характера насыщения коллекторов в разрезе; определения положения межфлюидных контактов (ГНК, ВНК, ГВК) эффективной толщины, коэффициентов пористости и нефтегазонасыщения, а также оценки коэффициентов проницаемости, вытеснения и глинистости продуктивных коллекторов; определения пластовых давлений, пластовых температур.

Первая из перечисленных задач решается обычно методами качественной интерпретации путём применения признаков основных

типов пород на диаграммах геофизического комплекса. Выделение, оценка характера насыщения коллекторов и определение их эффективной мощности проводятся для простейшего случая коллекторов с межзерновой пористостью также на основании качественной интерпретации, а для более сложных – методами количественной интерпретации через оценку коэффициентов пористости, глинистости, нефтегазонасыщения и т.д. (например: дифференциация пород на известняк и доломит происходит по глинистости; по ПС и ГК выделяется песчаник, но необходимы критические значения выделения коллекторов). Промышленная оценка коллекторов базируется на количественных определениях пористости, нефтегазонасыщения, проницаемости, используемых при проведении подсчётов запасов и проектировании разработки месторождений.

Таким образом комплекс ГИС позволил проанализировать керновые данные, определить характер насыщенности, определить коэффициент нефтенасыщенности, а также сравнить полученные результаты с данными оперативного подсчёта запасов.

Литература

1. Геофизические методы исследования нефтяных и газовых скважин. / Л.И. Померанц, М.Т. Бондаренко, Ю.А. Гулин, В.Ф. – М.: Недра, 1981. – 376 с.
2. Долицкий В.А. Геологическая интерпретация материалов геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1966. – 387 с.

© Мишаков М.А., Никонова К.В.,
Ковалева Л.А., 2025

Пуминова А.Д.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Зиннатуллин Р.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ТИПА «НЕФТЬ-ВОДА-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ» ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Эмульсии типа «нефть-вода-механические примеси» характеризуются высокой устойчивостью, что серьезно усложняет их эффективное разделение и дальнейшую переработку. Устойчивость таких эмульсий усиливает присутствие механических примесей. Механизм эффективного фазоразделения таких трехфазных эмульсий является последовательным: удаление механических примесей с поверхности раздела облегчает коалесценцию капель воды, снижая агрегативную и кинетическую устойчивость эмульсии [1]. Классические методы механической сепарации часто оказываются малоэффективными и приводят к значительным потерям ценных ресурсов и высоким экономическим затратам. Применение электрических и магнитных, физических полей способно ускорить процесс расслоения и обеспечить качественное разделение нефти, воды и механических примесей [2]. Однако отсутствие четкого понимания механизма влияния каждого вида полей и недостаточное количество научных данных сдерживают внедрение этих технологий в практику.

Целью данной работы явилось исследование влияния электромагнитных и акустических полей на устойчивость трехфазных эмульсий. В качестве объектов исследования были выбраны модельные эмульсии на основе трансформаторного масла и воды с добавлением эмульгатора SPAN-80 и частиц кварцевого песка фракции 0,05 мм. Тестовые исследования качественного влияния физических полей проводили в гармоническом электромагнитном и акустическом поле частотой в диапазоне 0,01 – 15МГц напряжённостью до 1 кВт/см, и в импульсном электромагнитном поле напряженностью до 10 кВт/см. Тестовые исследования показали, что наиболее эффективное влияние на процесс фазоразделения оказывает импульсное электромагнитное поле при указанных параметрах полей. Далее проводились исследования фазоразделения трехфазных модельных эмульсий с различным содержанием компонентов в импульсных электромагнитных полях.

На рис. 1 представлена динамика фазоразделения эмульсий с различным содержанием водной фазы с механическими примесями 1%.

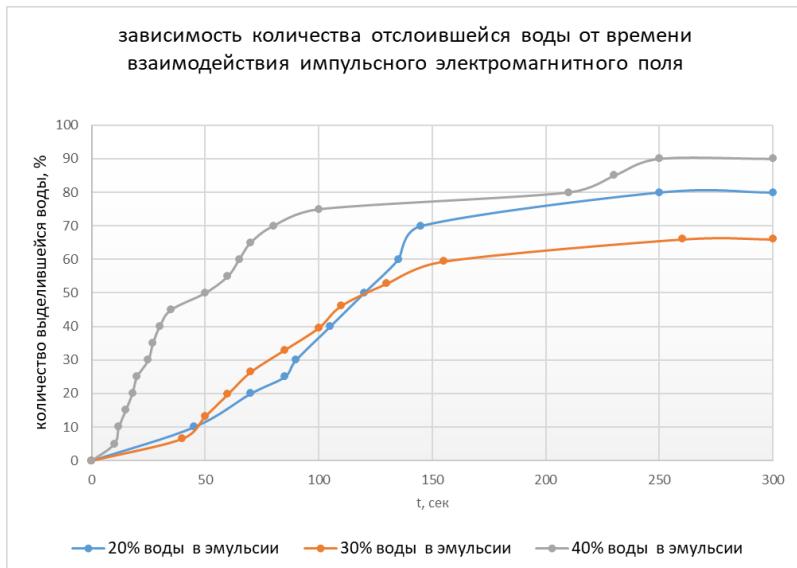


График демонстрирует, что импульсное электромагнитное поле ускоряет процесс расслаивания эмульсии, особенно при более высоком содержании воды. При содержании воды 30% эффект электромагнитного поля становится менее выраженным после 100 сек. Электрическое поле способствует слиянию капель воды, ускоряя процесс разделения эмульсии. Это происходит благодаря усилиению притяжения между каплями, что приводит к их объединению в более крупные капли, которые легче отделяются от нефти.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00181.

Литература

- Сергиенко Н.Д. Исследование, разработка и внедрение процесса подготовки к переработке стойких высокообводненных водонефтяных эмульсий с повышенным содержанием механических примесей: автореферат дис. ... канд. техн. наук, 2005.
- Королев Г.В., Гриценко А.И., Захаров Ю.А. Физико-химические основы формирования нефтяных эмульсий и методы их разрушения. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2018.

Хазиахметов В.И.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ КОЛЕБАНИЙ СВОБОДНОГО МАЯТНИКА

Актуальность темы обусловлена практической значимостью сопротивления воздуха в задачах аэродинамики и проектирования технических систем, где снижение потерь энергии, вызванных воздушным сопротивлением, является важным фактором повышения эффективности.

Целью работы является разработка и апробация экспериментальной методики определения коэффициента сопротивления воздуха с использованием маятников и анализа скорости их движения в нижней точке траектории. В качестве экспериментального инструмента применена система на базе Arduino Uno и светодатчика, что обеспечивает автоматизацию замеров и повышение точности измерений.

Для точности эксперимента была разработана и изготовлена маятниковая установка: элементы корпуса моделировались в CAD-среде и изготавливались с помощью 3D-печати, аналогично подходу, описанному в статье Ли и Джу (2020) [1]. Такой подход позволил варьировать параметры системы и провести серию замеров.

В дополнение к эксперименту был разработан программный код на языке Python для моделирования движения математического маятника с учётом сопротивления воздуха. Полученные численные результаты были сопоставлены с экспериментальными данными, что подтвердило корректность теоретической модели и адекватность расчётов.

В результате эксперимента получены таблицы с измеренными скоростями маятника и соответствующие графики зависимости логарифма скорости от времени, на основании которых выполнен расчёт коэффициента сопротивления воздуха.

Таким образом, работа вносит вклад в развитие прикладных методов экспериментальной физики и может быть полезна в образовательной практике, а также при разработке систем, чувствительных к аэродинамическим воздействиям.

Литература

1. Lee K. R., Ju Y. G. Measurement of resistance coefficients of pendulum motion with balls of various sizes //arXiv preprint arXiv:2002.03796. – 2020.

Фаррахетдинова А.И.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Сахибгареев Э.Э.,
асп. 4 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ДИФФУЗИИ

На сегодняшний день математическое моделирование физических процессов представляет практический интерес в разных областях промышленности. Так, существует множество различных программных пакетов, позволяющих моделировать такие физические явления, как турбулентный и ламинарный потоки, теплообмен, горение, химические реакции и другие. В данной работе рассматривается численное моделирование переноса тепла и диффузионного переноса, которые описываются дифференциальными уравнениями параболического типа: теплопроводности и диффузии.

Дискретизация уравнений математической модели осуществляется с помощью метода контрольного объема (МКО) [1]. Полученные алгебраические уравнения решаются с применением алгоритма трехдиагональной матрицы (метод прогонки, алгоритм Томаса). Метод контрольного объема заключается в разбиении рассматриваемой области на множество контрольных объемов с узловыми точками, для каждого из которых выводится дискретный аналог дифференциального уравнения. Рассматриваемые дифференциальные уравнения замыкаются граничными условиями I, II и III родов, которые позволяют описывать различные физические процессы.

Результатом данной работы является программный код, позволяющий моделировать процессы тепло- и массопереноса с возможностью выбора параметров и граничных условий. Была проведена апробация реализованного алгоритма трехдиагональной матрицы на известной системе линейных алгебраических уравнений. Результат алгоритма показал, что предложенный инструмент позволяет однозначно решать подобные классы задач с высокой точностью.

Литература

1. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости // Москва: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1984, 152 с.

© Фаррахетдинова А.И., Сахибгареев Э.Э.,
Мусин А.А., 2025

Валиуллина В.И.,
асп. 4 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Галеев Р.Р., асп 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Зиннатуллин Р.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДИНАМИКУ РАССЛОЕНИЯ НЕФТЕШЛАМОВЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Исследование динамики многофазных потоков имеет ключевое значение для оптимизации транспортировки и переработки флюидов. Многие промышленные процессы зависят от сложного взаимодействия между фазами, примеры таких процессов встречаются в пищевой, химической, фармацевтической, нефтяной и других промышленностях. На практике в настоящее время остро стоит вопрос загрязнения нефтепродуктами почвы и водоемов в процессе эксплуатации нефтяных месторождений и при возникновении аварийных ситуаций на производстве. Эффективное разделение нефтешламовых эмульсий может быть достигнуто с помощью дренажа и разрыва межфазных пленок, агрегации и расслоения компонентов дисперсной системы. Использование электромагнитного поля может стать эффективным инструментом для разделения нефтешламовых эмульсий на отдельные фазы.

В настоящей работе объектом исследования являлась многофазная система, состоящая из нефти, воды и песка. Эксперименты выполнялись на установке, основной частью которой являлась ячейка с вытравленными на проводящем стекле «зубчатыми» электродами. Электромагнитное поле создавалось с помощью линейного усилителя и генератора сигналов AG1021. В ходе экспериментов процесс фиксировался на камеру с макрообъективом Tamron SP 90 mm в ручном режиме с выдержкой 1/100 с, диафрагмой f/9, ISO 200.

Обнаружено, что электромагнитное воздействие способствует разрушению стабилизирующих пленок между каплями воды и частицами песка, усиливая их коагуляцию и осаждение. Это позволяет значительно сократить время разделения фаз и повысить эффективность очистки нефти от примесей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00181.

© Валиуллина В.И., Галеев Р.Р.,
Зиннатуллин Р.Р., 2025

УДК 532.5

Галеев Р.Р., асп 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Валиуллина В.И.,
асп. 4 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Зиннатуллин Р.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗДЕЛЕНИЕ СЛОЖНЫХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ С ТВЕРДЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Несмотря на значительное количество исследований, проблема эффективного разделения водонефтяных эмульсий по-прежнему остаётся актуальной для нефтяной промышленности. Особенно остро она стоит при разработке нетрадиционных месторождений, а также при первичной подготовке нефти. В таких условиях эмульсии усложняются присутствием взвешенных твердых частиц, формируя систему, в которой водно-грунтовая суспензия диспергирована в нефте-грунтовой суспензии — фактически, двойную эмульсию.

В работе исследуется воздействие переменного электромагнитного поля (ЭМП) различной частоты на скорость и эффективность разделения дисперсных систем. Была разработана ячейка на основе ИТО-стекол, обеспечивающая равномерное распределение поля в объеме исследуемой жидкости. Электроды изготовлены методом фотолитографии с применением жидкого травления и представлены в двух вариантах: линейные и пилообразные, с межэлектродным зазором 200, 300 и 400 мкм. Внутренние размеры ячейки составляют 3×48×48 мм; электроды размещены внутри и непосредственно контактируют с жидкой средой. ЭМП формировалось с помощью высокочастотного генератора, при этом варьировались частота и мощность воздействия с целью определения оптимальных параметров разделения.

Обнаружено, что применение ЭМП существенно ускоряет и улучшает процесс расслоения по сравнению с традиционными методами. В дальнейших исследованиях планируется использование глинистые материалы, для оценки универсальности и расширения применимости предложенного метода.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00181.

© Галеев Р.Р., Валиуллина В.И.,
Мусин А.А., Зиннатуллин Р.Р., 2025

Хасанова Я.Р.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Тулубаева Р.Р.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Валиуллина В.И.,
асп. 4 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Галеев Р.Р.,
асп 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ КАНАЛЕ

Для повышения нефтеотдачи пластов с высоковязкой нефтью широко применяются различные методы, среди которых наиболее распространены тепловые: закачка пара, внутрипластовое горение, тепловая обработка электронагревателями и др. Тепловые методы позволяют снизить вязкость нефти и улучшить ее подвижность, однако они имеют ряд существенных ограничений. К ним относятся: высокие энергозатраты, сложность контроля за распределением тепла в пласте, образование устойчивых эмульсий, риск прорыва пара к добывающим скважинам и ухудшение коллекторских свойств пласта. В связи с этим актуальной задачей является изучение и внедрение методов, основанных на применении электромагнитного поля, обеспечивающего высокую скорость нагрева благодаря глубокому проникновению и объемному тепловыделению электромагнитного излучения.

В настоящей работе объектом исследования являлась нефть, вязкостью $\mu=82,9$ мПа·с. Эксперименты выполнялись на специально сконструированной установке, где основным элементом являлась прямоугольная ячейка с размерами 26×1 мм. Давление создавалось с помощью компрессорного насоса и управлялось регулятором давления, для построения зависимостей массы от времени использовались высокоточные весы AND GR-300. Данные по массе выводились на компьютер с помощью программы RS Weight. Эксперименты проводились

при перепаде давления $p=10\text{--}30$ кПа с шагом 5кПа. Для создания ЭМП электроды в экспериментальной ячейке были расположены поперёк фильтрации жидкости.

Были получены зависимости расхода жидкости от давления, полученные при фильтрации жидкости без внешнего воздействия, под действием ЭМП с частотой 3МГц и под действием ЭМП с высокой частотой 3ГГц. Получили что, воздействие электромагнитного поля с частотой 3МГц увеличивает расход по сравнению с отсутствием воздействия. А при воздействии ЭМП с частотой 3ГГц расход значительно снижается. Это обусловлено тем, что на частоте 3МГц преобладает эффект разупорядочения структуры нефти за счет поляризации ее отдельных компонентов, что приводит к снижению вязкости. В то время как на частоте 3ГГц доминирующими становятся процессы структурирования, обусловленные поляризацией молекул нефти. Это приводит к их агрегации, формированию крупных кластеров, увеличению внутреннего трения и, как следствие, вязкости жидкости, что препятствует фильтрации [3].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00181

Литература

1. Леонтьев А.Ю. и др. Применение СВЧ-воздействия на высоковязкую тяжелую нефть //НефтеГазоХимия. – 2019. – №. 2. – С. 13-17.
2. Ковалева Л.А., Мухарямова Г.И. Влияние электромагнитной обработки на реологические свойства нефти: эксперимент и приложение //Инженерно-физический журнал. – 2021. – Т. 94. – №. 3. – С. 734-740.
3. Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В. Влияние постоянного магнитного поля на реологические свойства высокопарафинистых нефтей //Коллоидный журнал. – 2003. – Т. 65. – №. 4. – С. 510-515.

© Хасанова Я.Р., Тулубаева Р.Р.,
Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А., 2025

Сахибгареев Э.Э.,
асп. 4 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Ковалева Л.А.,
д.т.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. конс.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕДИМЕНТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

В настоящей работе рассматривается физико-математическая модель, описывающая взаимовлияние тепловой конвекции и гравитационного осаждения дисперсной фазы в движущейся жидкости при нагреве снизу [1]. Она состоит из системы, включающей в себя уравнения Навье-Стокса в приближении Буссинеска, теплопроводности, неразрывности для несжимаемой жидкости и динамики объемной концентрации дисперсной фазы.

Сравнивается процесс осаждения твердых сферических частиц и капель воды в углеводородной среде: скорость седimentации рассчитывается по формуле Стокса для частиц и по формуле Адамара-Рыбчинского для капель в зависимости от выбора дисперсной фазы [2]. Плотности капель и частиц считаются равными. Численное решение проводилось средствами открытого программного комплекса OpenFOAM.

Проведено моделирование гравитационного осаждения дисперсной фазы при различных начальных концентрациях, перепадах температур между нижней и верхней стенками и разных радиусах капель и частиц. Полученные результаты показывают, что профиль течения и динамика осаждения капель и частиц различаются. Эти различия более ярко выражены при большем размере дисперсной фазы, а в случае моделирования динамики эмульсии также зависят от соотношения вязостей дисперсной фазы и дисперсионной среды.

Литература

1. Тухбатова Э.Р., Мусин А.А., Юлмухаметова Р.Р., Ковалева Л.А. Исследование влияния тепловой конвекции на процесс разрушения водонефтяной эмульсии при СВЧ воздействии // Вестник Башкирского университета. – 2017. – Т. 22. – № 4. – С. 930–935.
2. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: ГИФМЛ, 1959. 700 с.

© Сахибгареев Э.Э., Мусин А.А.,
Ковалева Л.А., 2025

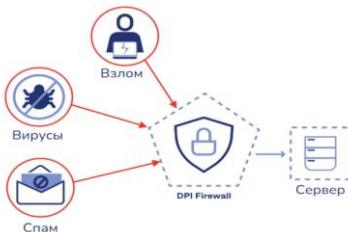
СЕКЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ РАДИОТЕХНИКИ И СВЯЗИ»

УДК 004.056

Осипов С.В.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Сафаргалин И.Н.,
к.ф.-м.н., ст.. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ АТАК ПРИ ПОМОЩИ DEEP PACKET INSPECTION НА ОСНОВЕ PYTHON

В условиях активного развития цифровых технологий и увеличения числа киберугроз актуальным становится создание интеллектуальных систем выявления атак, основанных на анализе сетевого трафика в реальном времени [1]. Одной из современных и эффективных концепций является система глубокого анализа трафика (Deep Packet Inspection, DPI), позволяющая детектировать вредоносную активность на уровне содержимого пакетов.



Rис. 1. Схематическое представление работы DPI системы

Разработанная система представляет собой модульную архитектуру, реализованную на языке программирования Python, включающую в себя следующие компоненты: анализ TCP/UDP-пакетов с использованием библиотеки Scapy; модуль выявления сигнатур атак SQL Injection, XSS, Remote Code Execution (RCE), Port Scan и Brute Force;

Механизм анализа предполагает предварительный выбор пользователем сетевого интерфейса, после чего запускается прослушивание трафика и применяется сигнатурный анализ полезной нагрузки. При обнаружении подозрительных шаблонов выполняется логирование и блокировка источника.

Литература

1. Salikhov R. B., Abdurakhmanov 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, pp. 012109.

© Осипов С.В., Сафаргалин И.Н., 2025

Давлетбердин И.И.,
маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Абдрахманов В.Х.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

**РАЗРАБОТКА МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ
ПОЖИЛОГО ЧЕЛОВЕКА ИЛИ РЕБЕНКА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ GPS И BLE**

Устройство для определения местоположения пожилого человека или ребенка представляет собой компактное носимое электронное средство, разработанное для автоматизированного определения координат и передачи информации о перемещении пользователя в режиме реального времени. Основная цель разработки – обеспечение безопасности уязвимых категорий граждан и возможность отслеживания их в реальном времени.

Основой данной системы выступают технологии глобального позиционирования (GPS) и Bluetooth Low Energy (BLE), а также принципы Интернета вещей (IoT) [1–6]. Использование этих технологий позволяет реализовать точную и энергоэффективную передачу координат в городских и загородных условиях. Устройство регулярно определяет координаты человека и передаёт их на мобильное приложение или облачный сервер по BLE-соединению с привязанным смартфоном.

Одним из ключевых элементов системы является функция экстренного оповещения: при возникновении критической ситуации пользователь может нажать кнопку SOS, после чего координаты моментально передаются ответственному лицу (родственнику, опекуну, диспетчеру). Такая функциональность особенно актуальна для людей с нарушениями памяти, хроническими заболеваниями, а также для детей младшего возраста, особенно в мегаполисах и в районах сильной застройки.

Использование микроконтроллера STM32 позволяет объединить BLE-коммуникацию и управление GPS-модулем в рамках одного энергоэффективного решения[7]. Устройство характеризуется низким энергопотреблением, что позволяет обеспечить длительное автономное функционирование (до нескольких дней) без подзарядки. При этом

конструкция макета предполагает возможность носки в виде браслета, брелока или кулона.

Предлагаемая система решает следующие задачи:

1. Определение местоположения в реальном времени: Позволяет оперативно отслеживать координаты пользователя и при необходимости передавать их через BLE на смартфон опекуна или в облачную платформу.
2. Обеспечение безопасности: Система может сигнализировать об отклонении от маршрута, выходе за пределы безопасной зоны или длительном отсутствии движения.
3. Передача сигнала SOS: При нажатии кнопки тревоги координаты и сигнал о происшествии мгновенно отправляются на заранее определённый номер/устройство.
4. Простота использования: интуитивно понятный интерфейс и минимальное количество управляющих элементов делают устройство удобным для пожилых людей и детей.
5. Низкое энергопотребление: оптимизация алгоритмов работы и переход в спящий режим при отсутствии активности.

Предлагаемая система определяет местоположение пользователя с помощью GPS-модуля и передаёт данные через BLE на мобильное устройство. Информация отображается в приложении и может сопровождаться тревожными уведомлениями при выходе из безопасной зоны. Благодаря использованию энергоэффективных технологий, устройство остаётся автономным и удобным для ежедневного применения, повышая безопасность пожилых людей и детей.

Литература

1. Abdurakhmanov 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.
2. Salikhov R. B., Abdurakhmanov 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. – C. 229-233. EDN: LAWPLM.
3. Abdurakhmanov 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. 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.

5. Wireless Automated Environmental Monitoring System Yumalin T., Salikhov T., Gaskarova A. In: E3S Web of Conferences. II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development (ETESD-II 2023). Tashkent, 2023. P. 06004.

6. Information-Measuring System For Remote Monitoring Of Microclimate Parameters Abdrakhmanov V.Kh., Vazhdaev K.V., Salikhov R.B. Electrotechnical and Information Complexes and Systems. 2016. Vol. 12. No. 3. P. 91-99.

7. 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.

© Давлетбердин И.И., Абдрахманов В.Х., 2025

Гайнуллин А.А.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;

Валиев И.А.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

Науч. рук.: Вальшин А.М.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

КОМБИНИРОВАННАЯ НАКАЧКА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА НА ГРАНАТЕ

Показано существенное повышение стабильности работы твердотельного лазера на гранате с ламповой накачкой в импульсно-периодическом режиме при комбинированной накачке. Комбинированная накачка позволяет перераспределять энергию импульсной высокочастотной дежурной дуги и емкостной накачки, для повышения стабильности и эффективности работы лазера путем увеличения доли энергии высокочастотных колебания по сравнению с энергией емкостной накачки.

Известно, что резонансная диодная накачка твердотельных лазеров позволила создать компактные эффективные генераторы наносекундных импульсов. Однако накачка широко-апертурных выходных каскадов больших лазерных комплексов осуществляется только цилиндрическими лампами-вспышками. Традиционный вид накачки (емкостная накачка) обладает минимальным КПД, хотя является наиболее простым и доступным способом. Минимальный КПД лазера обусловлен помимо линейчатого спектра также широким сплошным спектром излучения ламп накачки.

Ранее нами было показано увеличение эффективности светоотдачи и изменение эффективного канала разряда в газоразрядных лампах низкого давления при переходе от импульсной накачки к высокочастотной накачке, а также кратное уменьшение порога пробоя лампы накачки [1-3]. А в работе [4] достигнуто 3-кратное снижение порога генерации и почти 2-кратное повышение КПД Nd³⁺:YAG лазера при ВЧ (3 МГц) «розжиге» лампы-вспышки без изменения схемы лазера по сравнению с накачкой разрядом конденсатора через лампу с импульсным поджигом. Предложена и экспериментально обоснована физика нового механизма повышения эффективности светоотдачи лампы-вспышки при снижении энерговклада для накачки лазера ВЧ «розжигом» лампы перед разрядом конденсатора.

Нами также предлагается использовать метод комбинированной накачки для накачки лазера на гранате с улучшенными параметрами. На первом этапе комбинированной накачки лампа поджигается

высокочастотным поджигом увеличенной импульсной мощностью и регулируемой длительности цуга с целью уширения канала разряда до размеров внутреннего диаметра стеклянной трубы лампы-вспышки и одновременно доводки уровня накачки активного элемента до порогового значения генерации лазера.

Экспериментальная установка состоит из высокочастотного генератора (ВЧГ), работающего в импульсно-периодическом режиме, благодаря малому выходному сопротивлению, непосредственно подключается в последовательный колебательный контур, состоящий из индуктивности и емкости, поэтому нет никакой необходимости в согласующем устройстве между генератором и нагрузкой. ВЧГ-это оригинальный высокочастотный генератор с независимой плавной перестройкой частоты в диапазоне (1-3) МГц с малым выходным сопротивлением. ВЧГ работает в импульсно-периодическом режиме, частота следования импульсов регулируется в пределах (1-12) Гц, а длительность пачки импульсов в пределах (25-1000) мкс. Лампа-вспышка включается параллельно емкости колебательного контура. При совпадении частоты генератора с собственной частотой колебательного контура возникает резонанс напряжения.

В докладе будет представлено работа лазера на гранате с комбинированной накачкой. Также будут представлены полученные зависимости параметров излучения от накачки при разных соотношениях дежурной дуги и емкостной накачки.

Литература

1. Вальшин А.М., Тавлыкаев Р.Ф., Михеев Г.М., Першин С.М. Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке. Инженерная физика № 3, 2015, с. 42-49.
2. Вальшин А.М., Першин С.М., Михеев Г.М. Ограничение кратного снижения порога пробоя коммерческой лампы-вспышки лазера при kHz накачке. Краткие сообщения по физике 2019. Т. 46. № 6. С. 8-16.
3. Вальшин А.М., Гарнов С.В., Бельков С.А., Першин С.М. Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2022. Т. 502. № 1. С. 67-72.
4. Вальшин А.М., Орлович В.А., Бельков С.А., Першин С.М., Пузыревский В.И. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД ND³⁺:YAG лазера при ВЧ раскачке поджига лампы. Инженерная физика, № 12 (2023). С. 3-10.

Абзалилов Д.А.,
асп. 1 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вальшин А.М.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ ЛАМП-ВСПЫШЕК ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАКАЧКЕ

Известно, что резонансная диодная накачка твердотельных лазеров позволила создать компактные эффективные генераторы. Однако накачка больших лазерных комплексов осуществляется только цилиндрическими лампами вспышками с помощью традиционной емкостной накачки. При этом эффективность такой накачки не превышает доли процентов, что указывает на актуальность повышения КПД накачки.

В работе [1] было продемонстрировано повышение эффективности накачки твердотельных лазеров при высокочастотном (ВЧ) розжиге ламп-вспышек в криптоновой лампе ДКРТВ-3000 для оптической накачки твердотельных лазеров. А в работе [2] достигнуто 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное повышение КПД $\text{Nd}^{3+}\text{:YAG}$ лазера при высокочастотном (3 МГц) «розжиге» лампы в течение 300-400 мкс после её ВЧ поджига по сравнению с разрядом емкости без ВЧ розжига.

Целью данной работы является дальнейшее исследование спектров излучений плазмы различных ламп-вспышек, в том числе ксеноновых, при высокочастотной накачке.

Экспериментальная установка состоит из высокочастотного генератора (ВЧГ), работающего в импульсно-периодическом режиме, благодаря малому выходному сопротивлению, непосредственно подключенного в последовательный колебательный контур, состоящий из индуктивности и емкости, поэтому нет никакой необходимости в согласующем устройстве между генератором и нагрузкой. ВЧГ – это оригинальный высокочастотный генератор с независимой плавной перестройкой частоты в диапазоне 1-3,2 МГц с малым выходным сопротивлением (1 Ом). ВЧГ работает в импульсно-периодическом режиме, частота следования импульсов регулируется в пределах 1-12 Гц, а длительность пачки импульсов в пределах 25-1000 мкс. Лампа-вспышка включается параллельно емкости колебательного контура. При совпадении частоты генератора с собственной частотой колебательного контура возникает резонанс напряжения. Измеряя резонансную частоту контура без лампы и зажженной лампой, а также измеряя резонансную характеристику тока от частоты в колебательном контуре, мы сможем определять как параметры контура, так и параметры канала разряда плазмы.

Процесс поджига разрядного промежутка и последующий нагрев плазмы с возбуждением атомов газа-наполнителя осуществлялся двумя

методами [2]: емкостная накачка- после импульсного пробоя происходит разряд емкости, высокочастотная накачка- после ВЧ поджига на частоте 2 МГц в объеме разрядного промежутка осуществляется высокочастотная накачка-розжиг плазмы на частоте 3 МГц.

На рис. 1 представлены спектры излучения криптоновой лампы ДКРТВ 3000-1 при традиционной и высокочастотной накачках. Как видно из рисунка 1а, при традиционной накачке основная часть мощности излучения находится в видимой области спектра (400-700 нм), также присутствуют инфракрасные линии излучения 760нм и 812 нм. Из рисунка 1б, видно, что при высокочастотной накачке линии излучения лампы имеют линейчатый спектр и расположены на длинах волн 587, 760 и 810 нм, а мощность излучения в видимой области спектра (400-700 нм) отсутствует.

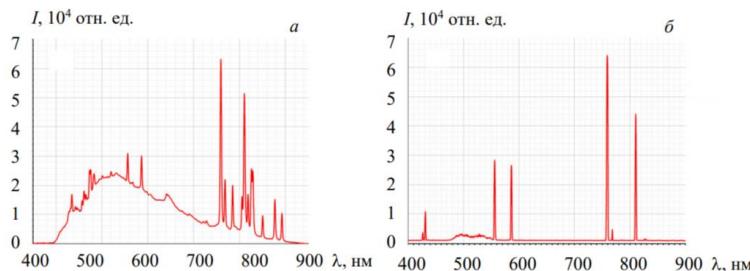


Рис. 1. Спектры излучения криптоновой лампы ДКРТВ 3000-1 при традиционной (а) и при ВЧ накачке (б)

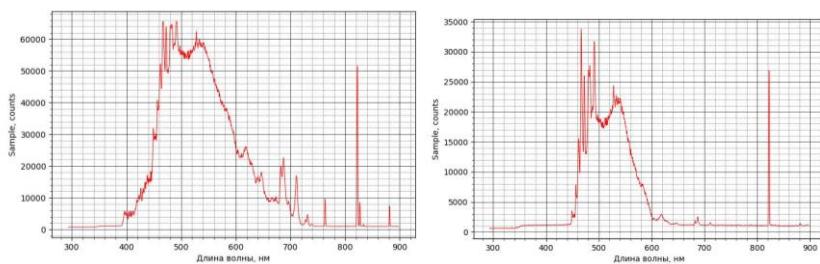
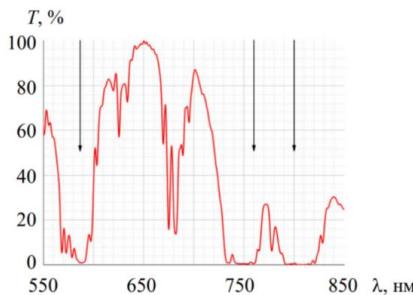


Рис. 2. Спектры излучения ксеноновой лампы ИНП7-80 при традиционной накачке

На рис. 2 представлены спектры излучения ксеноновой лампы ИНП7-80 при традиционной и высокочастотной накачках. Как видно из рисунка, линии излучения лампы имеют сплошной спектр в видимом диапазоне и инфракрасный линейчатый спектр излучения на длине волны 822 нм. Более того, независимо от методов накачки существенных изменений спектров излучений не происходит.



Rис. 3. Спектр поглощения активного элемента размером 6×60 мм YAG:Nd³⁺-лазера

На рис. 3 представлен спектр поглощения активного элемента YAG:Nd³⁺-лазера размером 6×60 мм. Как видно, основные полосы поглощения активного элемента расположены в интервалах длин волн 570-600 нм, 730-760 нм, 790-820 нм.

На основе полученных данных можно заключить, что в лампах, заполненных криptonом, при высокочастотной накачке сплошной спектр излучения существенно ослабляются по отношению к традиционной накачке, в то время как интенсивность линейчатого спектра увеличивается. А в лампах, заполненных ксеноном существенных изменений не происходит независимо от методов накачки. Более того, инфракрасный спектр излучения ксенона (822 нм) не совпадает с линией поглощения лазера на гранате. Таким образом, при высокочастотной накачке предпочтительно использовать в качестве лампы накачки криptonовую лампу по сравнению с ксеноновой лампой. Это в свою очередь может привести к существенному увеличению КПД твердотельных лазеров при высокочастотном поджиге и высокочастотной раскачке твердотельного лазера на гранате.

Литература

1. Вальшин А.М., Орлович В.А., Бельков С.А., Гришин М.Я., Першин С.М., Пузыревский В.И. Высокочастотный розжиг лампы YAG:Nd³⁺-лазера с кратным уменьшением интенсивности излучения видимого диапазона. Журнал прикладной спектроскопии. – 2025. – Т. 92, № 2. – С. 211-215.
2. Вальшин А.М., Орлович В.А., Бельков С.А., Першин С.М., Пузыревский В.И. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД Nd³⁺:YAG лазера при ВЧ раскачке поджига лампы. Инженерная физика. – 2023. – № 12. – С. 3-10.

СЕКЦИЯ «ПУТЬ В НАУКУ»

УДК 53

Никонова У.В.,
уч. 7 «Б» кл. МАОУ Школа № 4, г. Уфа
Науч. рук.: Никонова Е.В.,
учитель физики МАОУ Школа № 4, г. Уфа

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ В УСЛОВИЯХ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В современном мире все меньше остается факторов, которые могут удержать человека «усидеть» на одном месте. Технический прогресс позволяет общаться со своими близкими, независимо от расстояний, работать без привязки к местонахождению организации и даже учиться за несколько тысяч километров от своего учителя.

В 2020 году корабль «Союз МС-17» прилетел на МКС по сверхкороткой двухвитковой схеме за 3 часа 3 минуты, хотя ещё недавно путь до станции растягивался на двое суток. В ближайшем будущем космонавты смогут прилетать на МКС быстрее, чем люди на Земле доеzzжают до работы.

В 2021 году профессиональные актеры отправились снимать художественный фильм на МКС

А 12 сентября 2024 космические туристы совершили выход в открытый космос. Не исключено, что в ближайшее время люди семьями будут отправляться в космос и проживать там значительное время. А это значит, что дети будут дистанционно учиться в условиях невесомости. И мы задались вопросом: сможет ли мой сверстник провести весь лабораторный практикум по физике за 7 класс? С какими проблемами он может столкнуться?

Цель работы: выяснить все ли лабораторные работы, предусмотренные курсом физики 7 класса, можно выполнить, находясь на космической станции. Предложить альтернативный алгоритм проведения эксперимента.

Был составлен перечень всех лабораторных работ, которые должен выполнить ученик 7 класса, Проанализированы все ли действия, описанные в учебнике, он может сделать в условиях невесомости. Представлены альтернативные алгоритмы выполнения для 5 лабораторных работ.

Литература

1. «Физика. 7 класс» И.М. Перышкин, А.И. Иванов. Базовый уровень. 2023 г.

2. Цикл фильмов «Уроки из космоса»: «Космонавтика. Мир невесомости», «Физика. Механика», «Физика. Свойства жидкости», «Физика. Электричество и магнетизм» (созд. ВАКО «Союз», РКК «Энергия», РНПО «Росучприбор»).
<https://yandex.ru/video/preview/16079570444422495375>.

3. https://ru.ruwiki.ru/wiki/Измеритель_массы_тела_в_невесомости.

4. <https://www.korolevpharm.ru/proizvodstvo/kachestvo/metodiki-i-testy/plotnost-ponyatiya-i-metody-ee-izmereniya.html>.

© Никонова У.В., Никонова Е.В., 2025

МОДЕЛЬ НЕОРДИНАРНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ТЕХНОЛОГИЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛЕТА САМОЛЁТА

Цель работы: разработать и собрать модель летательного аппарата. Повышение эффективности технологии самолета.

Данная модель позволяет развить большую скорость, чем обычный самолет, благодаря чему расход топлива уменьшается, при этом уменьшается выброс ядовитых веществ в воздух.

Актуальность проекта: в наше время вопрос "неба" всегда был и будет актуален. Самолёт является самым быстрым и безопасным способом передвижения. Вероятность того, что пассажир, севший в самолёт, погибнет в авиакатастрофе составляет примерно 1/8000000. Также ошибочным является мнение о том, что в случае авиакатастрофы шансы выжить минимальны, но у самолёта есть и свой недостаток - такой, как большой расход топлива. В своем проекте я представляю модель самолета, где данная проблема решается изменением формы носа, крыльев, благодаря чему увеличивается скорость, следовательно, уменьшается расход топлива.

Задачи работы

- разработать чертеж самолёта.
- смоделировать самолет.
- провести расчеты.

Новизна: заострен нос самолёта, что уменьшает сопротивление, крылья находятся чуть ниже. Каждый самолёт имеет разные схемы крепления крыла. Может быть высокопланом, среднепланом, низкопланом. В данном самолете используются крылья под самолетом (низкоплан). Многие модели линейных гражданских самолетов (лайнера) используют именно эту схему крепления крыла. У нее есть свои ощутимые достоинства: при аварийной посадке с невыпущенными шасси основная энергия удара пойдет в конструкцию крыльев. Таким образом, схема низкоплана защитит в сложной ситуации пассажиров и экипаж. При посадке на воду баки с керосином будут работать как понтоны. Так же при такой форме на самолет сильнее воздействует экранный эффект, что одинаково хорошо при посадке и взлете лайнера. Отсутствует руль направления на хвосте самолета, что уменьшает его вес, следовательно уменьшается расход топлива. Руль встроен в хвостовое оперение перпендикулярно рулю высоты.

Предмет исследования: физическое явление в полете самолета.

Объект исследования: самолёт (лайнер)

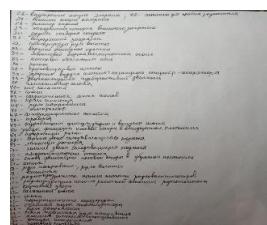
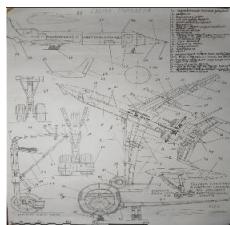
Гипотеза: разработка самолета, который будет наиболее безопасен для природы и эффективен в полете

Ход сборки самолёта

1. собран каркас
2. проведен свет
3. разработан чертеж

Далее я представила сравнительную таблицу “Боинга 737-100” и моего самолета «Кагу», где я обратила внимание на

1. крепление крыльев
2. дальность полета
3. крейсеровая скорость



Также я постаралась ответить на вопрос, почему хвост самолета не перевешивает

1. аэродинамическое проектирование
2. рассчитан центр тяжести
3. управление и контроль, который поддерживается засчет хвоста

Польза от такого самолета налицо:

1. более экологически безопасен
2. безопасен в перелетах и экстренных посадках
3. имеет большую маневренность
4. способен быстрее преодолеть расстояние
5. может использоваться в военных целях

Литература

1. Житомирский Г.И. «Конструкция самолётов». Учебник для студентов вузов. Издание 4. – М; «Инновационное машиностроение» 2018.
2. [<https://www.flightschoolusa.com>] Части самолёта. Полное руководство N1 по функциям.
3. [<https://www.encyclopedia.ru/cat/online/group/3490>] энциклопедия авиация от А до Z.

Таюпов Д.Р.,

уч. 11А кл. МАОУ Аксаковская гимназия № 11, г. Уфа

Науч. рук.: Мустафина А.М.,

учитель физики, г. Уфа

ДЕТЕКТОР СКРЫТОЙ ПРОВОДКИ

Актуальность проекта:

Прежде чем приступить к забивке гвоздя в стену, мы, безусловно, должны убедиться, что в ней отсутствуют провода, чтобы избежать неприятных последствий.

Цель проектной работы:

Изучить устройство детектора скрытой проводки, изготовить его своими руками и произвести тест его работы на практике.

Задачи исследования:

Узнать, что такое детектор скрытой проводки?

Узнать какие бывают виды детекторов и лучший из видов.

Изучить принцип работы приборов поиска электропроводок.

Изготовить детектор скрытой проводки своими руками.

Произвести тест его работы на практике.

Предмет исследования:

- проводка в стене.

Методы исследования:

- анализ, наблюдение, эксперимент, моделирование, сбор информации.

Гипотеза:

Изучив теоретические основы физики и овладев практическими навыками, возможно самому производить устройства.

Результат:

В итоге у меня получилось простое устройство. Но его вполне хватит для домашнего использования. Ведь в результате вы не только получаете настояще "сигнальное устройство", но и интересно просто проверить свои силы в этом виде деятельности. Еще одно преимущество – стоимость гораздо ниже, чем при покупке готового устройства.

© Таюпов Д.Р., Мустафина А.М., 2025

Шерифов А.Н.,
уч. 10 кл. ЧОУ СОШ «Альфа», г. Уфа
Науч. рук.: Мигранов М.Н.,
учитель информатики ЧОУ СОШ «Альфа», г. Уфа

АВТОНОМНАЯ ПОЛИВОЧНАЯ СИСТЕМА

Предпосылкой к нашей исследовательской деятельности стали опасения высказываемые многими учеными об изменении климата на Земле, в частности засухи. В нашей работе мы не ищем возможных способов борьбы с этим катаклизмом. Однако мы считаем, что существуют различные способы приспособления к нему. С этой целью мы избрали возможность использования экономичной автономной поливочной системы. Исходя из этого, на начальном этапе мы провели мониторинг поливочных систем, оценку себестоимости и выгоду получаемую от использования нашей поливочной системы. Следующим из этапов была самостоятельная сборка автоматической поливочной системы ее испытание в полевых условиях. Апробация работы поливочной системы с использованием датчиков влажности почвы и таймера. Система оказалась очень удачной, для тех, у кого нет возможности часто приезжать на дачу, для них есть следующий вариант схемы поливочного устройства, которое вполне доступно и не требует больших затрат.

В качестве автоматики можно изготовить самому (мы изготовили самостоятельно) или купить обычную нехитрую схему, которая будет включать насос в определённое время каждый день.

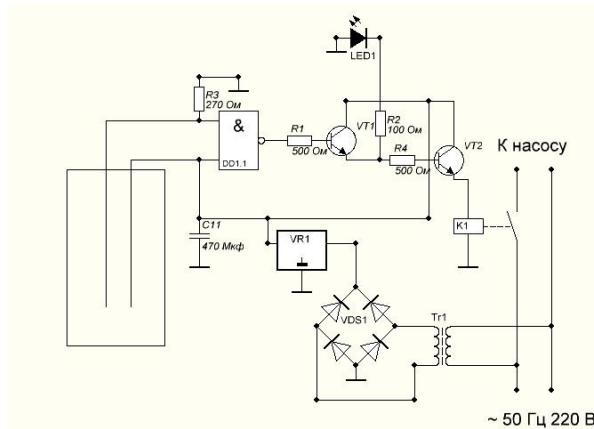


Рис. 1. Электрическая схема

Электрическая схема (рис. 1) состоит из: схемы питания, двухкаскадного усилителя, реле и логического элемента 2И-НЕ. Сухая почва обладает большим сопротивлением, поэтому, на первой ножке микросхемы 0 (напряжение меньше 2.4В), на второй 1 (напряжение больше 2.4В), а на выходе 1 (2.4В).

Также мы продумали возможность автоматизировать нашу поливочную систему. Речь идет о природном преобразовании энергии. Было бы замечательно использовать возможность вырабатывать электричество из растений у себя на участке. Впрочем, как обещают ученые, в ближайшие годы данную технологию уже можно будет использовать для выработки электричества из растений на крышах своих домов, что составит большую конкуренцию солнечным панелям, а в скором будущем уже планируется реализовать масштабное производство. С этой целью нами запланировано провести работу по тестированию и подбору необходимых условий для получения энергии из растений на территории Башкортостана.

Литература

1. Справочник радиолюбителя. Издание третье. Издательство «Радио и связь» 1983 год.
2. Полупроводниковые приборы: транзисторы. Справочник. Издательство «Энергоиздат» 1982 год.
3. Константин Сергеев («Ресурсосберегающее земледелие» № 4/2012).
4. Научно-координационный комитет по подготовке “Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”: Руководитель Росгидромета А.И. Бедрицкий (председатель), В.Г. Блинов, Д.А. Гершинкова (ответственный секретарь), Г.С. Голицын, В.П. Дымников, Ю.А. Израэль, В.М. Катцов, В.М. Котляков, В.П. Мелешко, В.И. Осипов, С.М. Семенов.

© Шерифов А.Н., Мигранов М.Н., 2025

Имангулова Д.М.,
ученица 8Б кл. Лицей 1, г. Уфа
Науч. рук.: Дударькова Л.В.,
учитель математики, г. Уфа

РАЗРУШЕНИЕ ЗУБОВ В БЛАГОПРИЯТНОЙ И АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ

Цель: выяснить, что и как влияет на разрушение зубов и представить это в виде математической модели

Актуальность: профессия стоматолог является актуальной профессией, но также важно знать, что влияет на разрушение зубов, как это влияет на организм, какая среда влияет больше, также помогает развеять миф о том, что математика нужна только инженерам, показывает на сколько эффективно может быть использована она для профилактики лечения в области стоматологии

Задачи:

- выяснить, что является агрессивной и благоприятной средой
- провести эксперимент
- создать наглядный макет
- создать математическую таблицу в виде полигона

Гипотеза:

-Деминерализация зубов происходит, когда уровень кислот в ротовой полости становится слишком высоким. Это зависит от того, насколько кислой становится слюна и сколько сахара мы едим.

-Разрушение зубов можно количественно описать с помощью математических моделей, учитывающих взаимодействие между бактериальной активностью, диетическими факторами и условиями внешней среды.



Рис. 1. Ход работы

Объект исследования: зубы

Ход работы (рис. 1):

- Подготовка зубов
- Замер жидкости
- Наблюдение в 14 дней

Дальше сравнила значения и сделала выводы.

Выводы:

На разрушения зубов больше всего влияет агрессивная среда.

Если держать зуб в агрессивной среде, то примерно через 56 дней он растворится полностью.

При понижении pH среды скорость разрушения зубов значительно увеличивается.

Высокое содержание сахаров способствует активному размножению бактерий, что приводит к образованию кислоты и дальнейшему разрушению зубов.

Литература

- Бурцев, А.И., Петрова, Н.В. Основы стоматологии.
[<https://books.google.ru/books?id=USeNCgAAQBAJ&printsec=copyright&hl=ru>]
- Кузнецов, И.А. Эмаль зубов: структура и свойства.
[<https://e.lanbook.com/book/115937>]

© Имангулова Д.М., Дударькова Л.В., 2025

Алимбетов Ш.А.,
уч. 9 кл. ЧОУ ЦО «НОВОШКОЛА» г. Уфа
Науч. рук.: Мигранова М.М.,
учитель физики ЧОУ ЦО «НОВОШКОЛА» г. Уфа

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКАХ И ВОДОЕМАХ

Качество воды – это химические, физические и биологические характеристики воды, основанные на стандартах ее использования. Они чаще всего используется применительно к набору стандартов, соответствие которым, как правило, достигается путем очистки воды, может быть оценено. Наиболее распространенные стандарты, используемые для мониторинга и оценки качества воды, отражают здоровье экосистем, безопасность контактов с людьми и состояние питьевой воды.

Экологическое качество воды, также называемое качеством окружающей среды, относится к таким водным объектам, как озера, реки и океаны. Стандарты качества воды для поверхностных вод значительно различаются из-за различных условий окружающей среды, экосистем и предполагаемого использования человеком. Токсичные вещества и высокие популяции некоторых микроорганизмов могут представлять опасность для здоровья для непьющих целей, таких как орошение, плавание, рыбалка, рафтинг, катание на лодках и промышленное использование. Эти условия могут также повлиять на дикую природу, которая использует воду для питья или в качестве среды обитания. Согласно ЕРА, законы о качестве воды обычно определяют защиту рыболовства и рекреационного использования и требуют, как минимум, сохранения текущих стандартов качества.

Актуальность проделанной нами работы заключается в том, что проведённые нами исследования помогают оценить разработанный нами метод измерения качества воды и возможности его применения в охране природы, проверке промышленности.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать метод оценки качества воды.
2. Спроектировать исследовательскую станцию на основе разработанного метода.
3. Собрать станцию по разработанным чертежам.
4. Протестировать метод и станцию в нереальных условиях.

Реализовывать станцию было решено из экологически безопасного, нерастворимого, не пропускающего воду пластика. В программе FreeCad была создана 3д модель станции, на основе которой станция была

напечатана, в качестве дополнительной меры предосторожности внутрь каждого из баллонов перед спуском на воду были положены воздушные шарики, а сами баллоны были как защитная оболочка.

В качестве практической станции в домашних условиях исследовательская станция будет помещена в различные обстановки: чистая воды в светлой среде, чистая вода в темной среде, слегка мутная вода в светлой среде, слегка мутная вода в темной среде, сильно мутная вода в светлой среде, сильно мутная вода в темной среде, вода с маслом в светлой среде, вода с маслом в темной среде.

В ходе исследования исследовательская станция была помещена в 8 различных сред и провела в воде 1080 часов

Выходы

1. Турбидиметр даёт достаточно точные значения для возможности использования его в реальных условиях для оценки качества воды
2. Метод позволяет определять все основные виды загрязнения и их степени.
3. Метод дает малую погрешность в зависимости от внешней освещенности.

Заключение

В ходе работы над проектом были выполнены следующие задачи:

- 1) Был создан метод оценки качества воды. В качестве метода был использован адаптированный метод используемый в турбидиметре.
 - 2) Была разработана и реализована исследовательская станция
- Было изучена эффективность метода и станции в реальных условиях.

Литература

1. Интернет-источники https://ru.wikipedia.org/wiki/Качество_воды.
2. Полупроводниковые приборы: транзисторы. Справочник. Издательство «Энергоиздат» 1982 год.
3. Константин Сергеев («Ресурсосберегающее земледелие» № 4/2012).
4. Определение качества воды в полевых условиях: краткое руководство / авт.-сост. А.А. Могильнер. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2013. – 32 с.

© Алимбетов Ш.А., Мигранова М.М., 2025

Закирьянов И.Ф.,
уч. 11 кл. МАОУ «Лицей № 153», г. Уфа
Науч. рук.: Алликас А.Г.,
педагог Уфимской Космошколы, г. Уфа

МНОГОРАЗОВЫЙ ЛУННЫЙ КОРАБЛЬ И ОРБИТАЛЬНАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цель проекта — создание эффективной, экономичной и безопасной логистической системы для освоения Луны. Она решает ключевые проблемы современных миссий: одноразовость аппаратов, малую грузоподъёмность и отсутствие орбитальной инфраструктуры. Целью проекта стала разработка многоразового лунного тяжёлого корабля (МЛТК) и орбитальной станции, обеспечивающих универсальность, рентабельность и безопасность логистики. После анализа существующих решений и требований космонавтики сформирована следующая концепция:

- МЛТК с двигателями на CH_4+LOX , обеспечивающими экологичность, высокий ресурс (до 30 миссий) и регенеративное охлаждение.
- Орбитальная станция с функциями дозаправки, хранения грузов и обслуживания кораблей.
- Использование ядерного буксира «Зевс» для экономичной межорбитальной буксировки.

Для моделирования, для технических и экономических расчётов я использовал следующие программы:

- Python для оптимизации, масштабирования и уточнения расчётов
- 3D-моделирование в САПР Компас-3D для проектирования и моделирования МЛТК.

Разработана концепция логистической системы, включая МЛТК и орбитальную станцию (рис. 1). Спроектирован МЛТК. Проведены расчёты топливной системы, двигательной установки и экономической рентабельности МЛТК и системы в целом. Создана 3D-модель МЛТК (рис. 2). Проведён экономический анализ, установлена окупаемость системы.

В ближайшее время будет выполняться создание макета по модели МЛТК и 3D-модель станции. Будут произведены расчёты прочности и вибрационной стойкости конструкции, уточнены детальные параметры. Будут более подробно разработаны дополнительные устройства логистической системы, возможно, будут представлены их модели и макеты.

Разработанная мной система экономически выгоднее и универсальнее существующих. Реализация проекта на практике способствовала бы укреплению позиций России в освоении Луны и создала бы основу для масштабируемых межпланетных миссий.

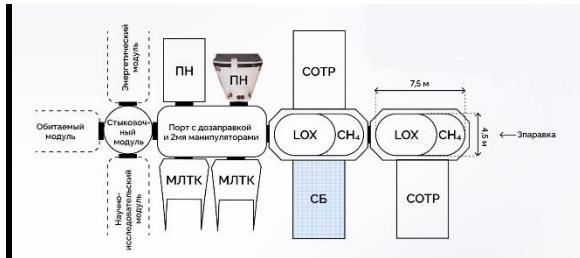


Рис. 1. Схема опорной лунной станции



Рис. 2. 3D-модель МЛТК

Литература

1. Космические аппараты. Под общей редакцией проф. К. П. Феоктистова. <http://12apr.su/books/item/f00/s00/z0000023/index.shtml>.
2. Спускаемые аппараты. Е.И. Попов. Издательство «Знание», 1985 г.
3. Механика космического полёта в элементарном изложении. В.И. Левантовский. Москва «Наука», 1980 г.
4. Прочность ракетных конструкций. В.И. Моссаковский, А.Г. Макаренков, коллектив авторов, 1990 г.
5. NASA artemis.
6. <https://spacelin.ru/stati/lunnye-proekty-rkk-energiya/>.
7. <https://www.spacex.com/vehicles/starship/>.
8. <https://www.energia.ru/ktt/archive/2019/02-2019/02-01.pdf>.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

Ахметова А.А., Филиппов М.А., Вахитов Р.М.	
ВИХРЕПОДОБНЫЕ МАГНИТНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В МОДУЛИРОВАННЫХ ОДНООСНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ.....	3
Филиппов М.А., Вахитов Р.М.	
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СТРУКТУРУ МАГНИТНЫХ СКИРМИОНОВ В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛЁНКАХ.....	5
Хакимуллина А.А., Филиппов М.А., Вахитов Р.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МАГНИТНЫХ ВИХРЕПОДОБНЫХ СТРУКТУР В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЁНКАХ.....	7
Валиев Д.И., Юмагузин А.Р., Вахитов Р.М.	
ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В (001)-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ.....	9
Демидова В.А., Юмагузин А.Р., Вахитов Р.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ 0°-ГРАДУСНЫХ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В (111)-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ.....	11
Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф.	
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ В БИСЛОЙНЫХ СИСТЕМАХ.....	13
Юлдашева А.Р., Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф.	
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ И СКИРМИОНЫ В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФРУСТРИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ	15
Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г., Фахретдинов М.И.	
ПРИМЕСНЫЕ МОДЫ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ КИНКОМ УРАВНЕНИЯ Ф4 НА ДВУХ ПРОТЯЖЕННЫХ И ТОЧЕЧНЫХ ПРИМЕСЯХ.....	17
Клявлин Р.Т., Юмагузин А.Р.	
ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В (011)-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПЛЕНКЕ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ.....	18

Лукошкина Т.А., Нерадовский Д.Ф.	
ВЛИЯНИЕ АНГАРМОНИЧЕСКИХ ПОПРАВОК К ЭНЕРГИИ НА ДИНАМИКУ СВЯЗАННЫХ ВИХРЕЙ В СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНО-ОСЦИЛЛЯТОРАХ.....	19
Рахматуллин Р.И., Юмагузин А.Р.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПЛАСТИНЕ (111) ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ С ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ.....	20
Ильясова Г.Ф., Вахитов Р.М.	
МАГНИТНЫЕ $k\pi$ -СКИРМИОНЫ В НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ.....	21
Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.	
ДИНАМИКА ПРИМЕСНЫХ МОД УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА С УЧЕТОМ ИЗЛУЧАЕМЫХ ИМИ ВОЛН.....	23
Хасанов А.Д., Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.	
МУЛЬТИКИНКОВЫЕ РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ШИРОКОЙ ПРИТЯГИВАЮЩЕЙ ПРОТЯЖЕННОЙ ПРИМЕСЬЮ.....	24
Кубатиева М.Р., Закирьянов Ф.К.	
СОЛИТОНЫ В УГЛОВОЙ МОДЕЛИ ДНК С ПОТЕНЦИАЛОМ МОРЗЕ.....	25
Галимова А.Д., Закирьянов Ф.К.	
СОЛИТОНЫ В ОДНОРОДНОЙ АСИММЕТРИЧНОЙ МОДЕЛИ ДНК.....	26
Латыпов А., Закирьянов Ф.К.	
ДВУХСОЛИТОНОВОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ SIN-ГОРДОНА В ПРИМЕНЕНИИ К ДИНАМИКЕ ДНК.....	27
Фасхутдинов Р.А., Кудашев В.С., Екомасов Е.Г.	
СВЯЗАННАЯ ДИНАМИКА В МУЛЬТИСЛОЙНОМ СТНО С ПРОТИВОПОЛОЖНЫМИ ПОЛЯРНОСТЯМИ ВИХРЕЙ.....	28

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Хабибуллина А.А., Хазимуллин М.В., Кудрейко А.А.	
ОРИЕНТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ АНИЗОТРОПНЫХ КАПЕЛЬ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	30
Сугоняко И.С., Бабичева Р.И., Дмитриев С.В.	
МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ В АЛЮМИНИИ ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	32

Рожнова Е.А., Сафина Л.Р., Крылова К.А., Баимова Ю.А.	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ ГРАФЕН/МЕДЬ НА ПРОЧНОСТЬ И ТВЕРДОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛА МЕДИ.....	34
Харунов А.А., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.	
ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ СПЛАВОВ $K_{0.01}Cu_{1.94}S$, $K_{0.02}Cu_{1.94}S$, $K_{0.03}Cu_{1.94}S$	35
Кирилюк К.К., Маширов А.В., Мусабиров И.И.	
РАЗРАБОТКА РЕЖИМА КОМПАКТИРОВАНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ $DyAl_2$ И ПОРОШКА МЕДИ.....	37
Казакбаев А.Р., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СОЕДИНЕНИЯ $Cu_{1.5}Na_{0.5}S$	38
Тулякаев М.И., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.	
ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО И ИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМО-Э.Д.С. НАНОКОМПОЗИТНЫХ СПЛАВОВ $K_xCu_{1.94}S$ ($x=0.01, 0.02, 0.03$)...	40
Ямилов А.Р., Балапанов М.Х.	
РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ КОТЛА И УСТАНОВКИ.....	42
Полуденная О.А., Гирфанова Ф.М.	
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ.....	43

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА И БИОФИЗИКА»

Кагарманова А.О., Кудрейко А.А.	
ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ $\beta 2$ -МИКРОГЛОБУЛИНА С ГИДРОФОБНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ.....	44
Хамзина К.Р., Гилязова Л.Ф., Зелеев М.Х.	
ПЕРСПЕКТИВЫ РАМАН-СПЕКТРОСКОПИИ В УРОЛОГИИ: МИНИАТЮРИЗАЦИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ РАМАН-СПЕКТРОСКОПИИ С ЭНДОСКОПАМИ.....	46
Латыпова И.И., Юлдашева С.Ю., Зелеев М.Х.	
ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА МСКТ ПРИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ.....	48
Алексеева Д.И., Хузиева А.С., Зелеев М.Х.	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ МЕТОДОМ ПЦР И КТ НА ПРИМЕРЕ БИРСКОЙ ЦРБ.....	51

Грицаенко М.С., Колосова И.А., Зелеев М.Х.	
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ.....	54
СЕКЦИЯ «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»	
Исмаилов А.Р., Имаев М.Ф.	
АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И МИКРОТВЁРДОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИТА С TiO ₂ ПОСЛЕ ОТП.....	56
Пухачева Ю.А., Баймова Ю.А.	
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБЪЕМНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БОРА И АЗОТА: АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	58
Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК.....	59
Фролов В.В., Салихов Р.Б.	
РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПАРОВ АММИАКА.....	61
Фахрисламова Д.У., Салихов Р.Б.	
ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ХИТОЗАНА С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ.....	62
Поищенко К.Е., Салихов Р.Б.	
РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	64
Ostaltssova A.D., Salikhov R.B.	
STUDY OF ROUGHNESS OF THIN FILMS BASED ON CARBON NANOSTRUCTURES.....	65
Остальцова А.Д., Салихов Р.Б.	
УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ.....	67
Остальцова А.Д., Салихов Р.Б.	
ИССЛЕДОВАНИЕ АТОМНО-СИЛОВЫМ МИКРОСКОПОМ ОБРАЗЦОВ СУКЦИНИАМИДА ХИТОЗАНА С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ.....	68
Лазарев Н.А., Салихов Р.Б.	
ОРГАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ РЕС- SWCNT ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА.....	71

Кунысбаев И.А., Салихов Р.Б.	
МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ.....	73
Губайдуллин М.И., Салихов Р.Б.	
ОРГАНИЧЕСКИЕ ФОТОДЕТЕКТОРЫ НА БАЗЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ, РАБОТАЮЩИЕ В СПЕКТРЕ БЛИЖНЕГО УЛЬТРОФИОЛЕТА.....	75
Цейзер О.Е., Салихов Р.Б.	
ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАНИЛИНА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА.....	77
Сагидуллина А.Р., Салихов Р.Б.	
ОРГАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА.....	79
Гильманов Д.Р., Салихов Р.Б.	
ОРГАНИЧЕСКИЕ ФОТОТРАНЗИСТОРЫ НА ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ОСНОВЕ.....	81
Баджассилона Г.Б., Салихов Р.Б.	
ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ.....	83
Баджассилона Г.Б., Салихов Р.Б.	
ФУЛЛЕРЕН В ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ: РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ФОТОТРАНЗИСТОРОВ.....	85
Фахрисламова Д.У., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.	
ТЕРМОРЕГИСТРАТОР С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ НА БАЗЕ LORAWAN.....	87
Турсунзода С.Р., Абдрахманов В.Х.	
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN.....	89
Муковнин В.В., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.	
ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	91
Матвеев А.Р., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.	
МОНИТОРИНГ УСЛОВИЙ ТРУДА В ПОМЕЩЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN.....	94
Маслак С.А., Абдрахманов В.Х.	
МАЛОПОТРЕБЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LoRaWAN.....	96
Куликовский И.А., Абдрахманов В.Х.	
МОНИТОРИНГ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОТ.....	98

Кузнецов М.В., Абдрахманов В.Х.	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТОРГОВОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОТ.....	100
Исканьяров Н.Г., Абдрахманов В.Х.	
МОНИТОРИНГ ЖКХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОТ.....	102
Ибрагимов Д.Р., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.	
СЧЁТЧИК ИМПУЛЬСОВ НА LORAWAN ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВОДОИ ЭНЕРГОСЧЁТЧИКОВ.....	104
Зайнетдинов Т.И., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.	
СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ПЕРЕГРЕВЕ С ДАТЧИКОМ ТЕМПЕРАТУРЫ НА БАЗЕ LORAWAN.....	106
Амакасов А.А., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.	
УЧЕТ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LoRaWAN...	108
Айдагулов А.А., Муллагалиев И.Н.	
ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИАНИЛИНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ.....	110
Айдагулов А.А., Салихов Р.Б.	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СВЕЙНПОЛА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.	112
Айдагулов А.А., Салихов Р.Б.	
СОЗДАНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК.....	114
Миронов Р.А., Баимова Ю.А., Мурзаев Р.Т.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУЛЛЕРЕНА C ₆₀ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МЕДИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ.....	116
Колесников В.В., Баимова Ю.А., Мурзаев Р.Т.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГРАФИНОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ.....	118
Блохина А.Н., Крылова К.А.	
ВЛИЯНИЕ АТОМОВ ЛИТИЯ НА ГРАВИМЕТРИЧЕСКУЮ ПЛОТНОСТЬ ВОДОРОДА В ГРАФЕНОВОЙ ЧЕШУЙКЕ.....	120
Бассареев А.А., Крылова К.А.	
ПРОЦЕСС ДЕСОРБЦИИ АТОМОВ ВОДОРОДА ЧЕШУЙКИ СКОМКАННОГО ГРАФЕНА С АТОМАМИ ЛИТИЯ.....	121
Азимов А.М., Сафаргалин И.Н.	
ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРОВ АММИАКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO NANO..	123
Баджассилона Г.Б., Сафаргалин И.Н.	
ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С НАНОЧАСТИЦАМИ ЙОДИДА СЕРЕБРА	124

Миннеахметов Д.И., Сафаргалин И.Н.	
ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С НАНОЧАСТИЦАМИ ЙОДИДА СЕРЕБРА.....	126
Бурханова А.Д., Муллагалиев И.Н.	
ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЛАЗЕРОВ.....	128
Тувалев И.И., Музраев Р.Т.	
ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ КОМПОЗИТА ГРАФЕНОВОГО АЭРОГЕЛЯ И НИКЕЛЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ.....	130
 СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОФИЗИКА»	
Исянгужин Д.Я., Шайхитдинов Р.З.	
О МЕХАНИЗМЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ВОДНОГО МОСТИКА	132
Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И.	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ.....	134
Садыков Р.Р., Шарипов Т.И.	
МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ.....	136
Бахтияров. Э.М., Рыжиков. О.Л.	
ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФЛЭШ- ПИРОЛИЗА.....	138
Мусин А.И., Шарипов Т.И.	
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ С УНИВЕРСАЛЬНЫМ МОДУЛЬНЫМ УЧЕБНЫМ СТЕНДОМ НА ОСНОВЕ ОДНОПЛАТНОГО КОМПЬЮТЕРА RASPBERRY PI.....	141
Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З.	
АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЯВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО МОСТИКА...	143
Багаев Н.З., Шайхитдинов Р.З.	
ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКАХ.....	144
Гильманов И.В., Рыжиков О.Л.	
РАЗРАБОТКА ПЛАТЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕЕЙ УСТАНОВКИ ФЛЭШ-ПИРОЛИЗА ДЛЯ СИНТЕЗА ГРАФЕНА.....	146
Полухин Р.В., Шарипов Т.И.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ МУЗЫКИ И ЕЕ ВОЛНОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	148

Ткачук Е.А., Шарипов Т.И.	
ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА PX ULTRA-HYBRID 2.0.....	150
Гимранов И.Р., Рыжиков О.Л.	
РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЧЕРЕЗ ИНФРАКРАСНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ.....	152
 СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»	
Алимова М.Р., Вахитова Г.Р.	
ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ В ГЛИНИСТЫХ ПЕСЧАНИКАХ МЕЛОВОГО ПЕРИОДА.....	154
Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОКОНДЕНСАТА С ОБРАЗОВАНИЕМ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ ПРОБКИ.....	156
Исламов Р.А., Шарафутдинов Р.Ф.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА ДЛЯ ВОДОНЕФТЕЯННЫХ ЭМУЛЬСИЙ.....	159
Казарян А.А., Вахитова Г.Р.	
ВЛИЯНИЕ ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРИГЕННЫХ ПОРОД НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОКУРСКОЙ СВИТЫ.....	161
Алсынбаев А.М., Вахитова Г.Р.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ УСТЬ-КАМЧАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ.....	163
Хусаинова Р.Р., Вахитова Г.Р.	
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКТОРОВ ЮРСКОГО ПЕРИОДА НА ПРИМЕРЕ ПАЙТЫХСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХМАО.....	165
Аликов К.Р., Рамазанов А.Ш.	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ И НЕФТИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ.....	166
Уразов И.И., Шарафутдинов Р.Ф.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭМУЛЬСИИ В МИКРОКАНАЛАХ.....	168
Сынгизова Н.Ю., Вахитова Г.Р.	
ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ТРЕЦИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН.....	170

Каримова Д.Ф., Шайхинуров Ш.Н., Вахитова Г.Р.	
ОЦЕНКА ТЕКУЩЕЙ НАСЫЩЕННОСТИ ПЛАСТОВ НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОМ ИННК.....	172
Галимов Р.А., Канафин И.В.	
ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ИЗОТРОПНОГО ПЛАСТА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ.....	174
Мурзабаев И.Ю., Закиров М.Ф.	
ВЛИЯНИЕ НЕПРОЕКТНОГО УХОДА ЗАКАЧИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	176
Абызбаева А.З., Вахитова Г.Р.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ШЛИФАМ.....	177

СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

Галеева Д.Р., Киреев В.Н.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ КАПЛИ В ТЕРМОВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ФАЗОВОГО ПОЛЯ.....	179
Аюпов А.Р., Мусин А.А.	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ГЕОМODEЛИРОВАНИЯ.....	181
Мукимова Р.Ш., Лапицкий Д.Р., Мусин А.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ТЕЧЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ НА ПОТРЕБЛЯЕМУЮ МОЩНОСТЬ ЭЦН-ПЭД.....	183
Волкова К.Е., Евлампиев Я.В., Мусин А.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПЛАСТЕ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ И СКВАЖИНЫ С ТРЕЩИНОЙ ГРП.....	184
Ермакова М.В., Киреев В.Н.	
АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ЛАМИНАРНОМ ТЕЧЕНИИ КРОВИ В АРТЕРИИ.....	186
Галиева К.А., Солнышкина О.А.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В ПДМС-ЧИПАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ.....	188
Курбанова С.С., Давлетбаев А.Я.	
РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ФЛЮИДОВ НА ОСНОВЕ ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПЕНГА-РОБИНСОНА.....	189

Зуева К.Д., Киреев В.Н.	
ОБОСНОВАНИЕ ОПОРНОГО ФОНДА СКВАЖИН ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДИНАМИКИ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ.....	190
Муллагалияров Р.Х., Мусин А.А.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА.....	292
Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р., Галеев Р.Р., Валиуллина В.И., Мусин А.А.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЛЬТРАЦИЮ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ.....	194
Туйгунова Д.М., Солнышкина О.А.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПАХ С ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ БОКОВЫМ СМЕЩЕНИЕМ: РОЛЬ ГЕОМЕТРИИ КАНАЛОВ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	196
Васильев М.К., Мусин А.А.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЁМКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНА НЬЮТОНА-РИХМАНА.....	198
Газимова К.М., Зиннатуллин Р.Р.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРЕХФАЗНЫХ ЭМУЛЬСИЙ.....	200
Илларионов А.А., Ковалева Л.А.	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГАЗА И ГАЗОКОНДЕНСАТА ИЗ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ СКВАЖИНЫ НА СТАДИИ РАЗВЕДКИ.....	202
Ахмадеев Р.Р., Никонова К.В., Ковалева Л.А.	
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО НОВЫМ КЕРНОВЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ.....	204
Мишаков М.А., Никонова К.В., Ковалева Л.А.	
ВЛИЯНИЕ НЕПОЛНОТЫ ДАННЫХ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ И НЕФТЕВОДОНАСЫЩЕННОСТИ НА ПОДСЧЁТ ЗАПАСОВ.....	206
Пуминова А.Д., Зиннатуллин Р.Р.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ТИПА «НЕФТЬ-ВОДА-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ» ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ.....	208
Хазиахметов В.И., Мусин А.А.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ КОЛЕБАНИЙ СВОБОДНОГО МАЯТНИКА.....	210

Фаррахетдинова А.И., Сахибгареев Э.Э., Мусин А.А.	
ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ДИФУЗИИ	211
Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Зиннатуллин Р.Р.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДИНАМИКУ РАССЛОЕНИЯ НЕФТЕШЛАМОВЫХ ЭМУЛЬСИЙ.....	212
Галеев Р.Р., Валиуллина В.И., Мусин А.А., Зиннатуллин Р.Р.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗДЕЛЕНИЕ СЛОЖНЫХ ВОДОНЕФТЕЯННЫХ ЭМУЛЬСИЙ С ТВЕРДЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ.....	213
Хасанова Я.Р., Тулубаева Р.Р., Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ КАНАЛЕ.....	214
Сахибгареев Э.Э., Ковалева Л.А., Мусин А.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕДИМЕНТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ.....	215

СЕКЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ РАДИОТЕХНИКИ И СВЯЗИ»

Осипов С.В., Сафаргалин И.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ АТАК ПРИ ПОМОЩИ DEEP PACKET INSPECTION НА ОСНОВЕ PYTHON.....	217
Давлетбердин И.И., Абдрахманов В.Х.	
РАЗРАБОТКА МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОЖИЛОГО ЧЕЛОВЕКА ИЛИ РЕБЕНКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ GPS И BLE.....	218
Гайнуллин А.А., Валиев И.А., Вальшин А.М.	
КОМБИНИРОВАННАЯ НАКАЧКА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА НА ГРАНАТЕ.....	221
Абзалилов Д.А., Вальшин А.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ ЛАМП-ВСПЫШЕК ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАКАЧКЕ.....	223

СЕКЦИЯ «ПУТЬ В НАУКУ»

Никонова У.В., Никонова Е.В.	
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ В УСЛОВИЯХ	

МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ.....	226
Засова М.М., Бабкина Ю.Ю.	
МОДЕЛЬ НЕОРДИНАРНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ТЕХНОЛОГИЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛЕТА САМОЛЕТА.....	227
Таюпов Д.Р., Мустафина А.М.	
ДЕТЕКТОР СКРЫТОЙ ПРОВОДКИ.....	229
Шерифов А.Н., Мигранов М.Н.	
АВТОНОМНАЯ ПОЛИВОЧНАЯ СИСТЕМА.....	230
Имангулова Д.М., Дударькова Л.В.	
РАЗРУШЕНИЕ ЗУБОВ В БЛАГОПРИЯТНОЙ И АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ.....	232
Алимбетов Ш.А., Мигранова М.М.	
АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКАХ И ВОДОЕМАХ.....	234
Закирьянов И.Ф., Алликас А.Г.	
МНОГОРАЗОВЫЙ ЛУННЫЙ КОРАБЛЬ И ОРБИТАЛЬНАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	236

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
XI Межрегиональной школы-конференции
молодых ученых
(г. Уфа, 24–25 апреля 2025 г.)*

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.*

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 08.07.2025 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 7,21 Мб.
Заказ 100.

*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