



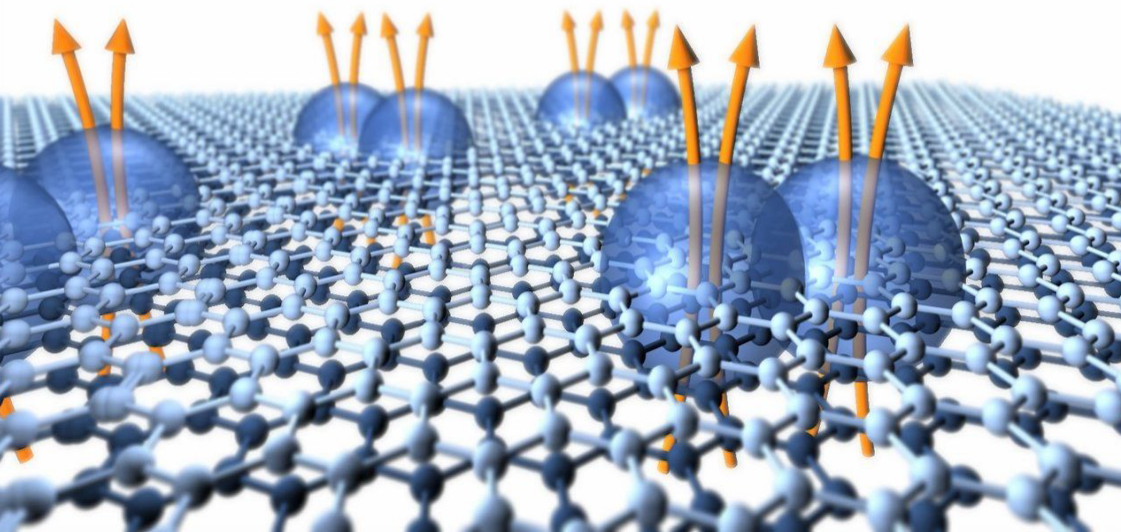
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Материалы

X Межрегиональной школы-конференции

молодых ученых

(г. Уфа, 25 – 26 апреля 2024 г.)



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

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

*Материалы
X Межрегиональной школы-конференции
молодых ученых
(г. Уфа, 25 – 26 апреля 2024 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
РИЦ УУНиТ
2024

УДК 53
ББК 22.3
Т33

*Печатается по решению Ученого совета
Физико-технического института УУНиТ
Приказ № 0844 от 21.03.2024 г.*

Редакционная коллегия:

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

Т33 Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы X Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 25 – 26 апреля 2024 г.) / отв. ред. Ф.К. Закирьянов. [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: РИЦ УУНит, 2024. – 276 с. – URL: <https://uust.ru/digital-publications/2024/225.pdf> – Загл. с титула экрана.

ISBN 978-5-7477-5979-4

В представленных материалах конференции детально обсуждаются новейшие результаты и открытые проблемы теоретической физики, 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 978-5-7477-5979-4

© УУНиТ, 2024

Пересторонина А.В.,
студ. 1 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Кудрейко А.А.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ МОЛЕКУЛ АЗОКРАСИТЕЛЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Настоящее исследование посвящено моделированию светотехнических характеристик оптически перезаписываемой электронной бумаги, в основе которой лежит фотоиндуцированная молекулярная переориентация молекул азокрасителя под воздействием плоско поляризованного света (см. рис. 1) с длиной волны 440 нм. Данное явление известно как фотоориентация, и в ее основе лежит вращательная диффузия одноосных молекул азокрасителя, описываемая моделью Больцмана-Смолуховского. Воздействие светом на фоточувствительную поверхность приводит к управлению энергией сцепления молекул нематического жидкого кристалла (ЖК), параметром порядка системы молекул азокрасителя и углом закрутки твистовой структуры [1].

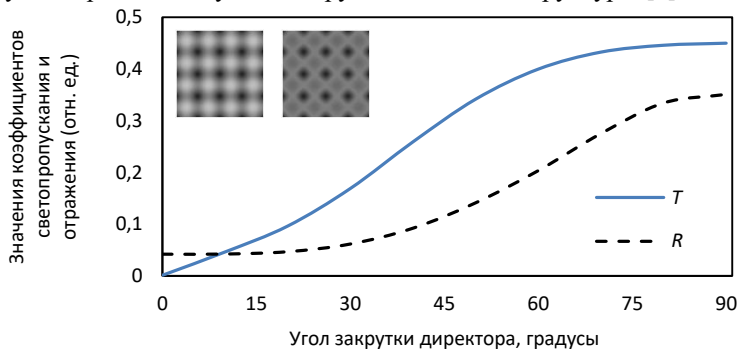


Рис. 1. Зависимости коэффициентов светопропускания и отражения от угла закрутки директора (единичный вектор наиболее вероятного направления длинных осей молекул ЖК). Рисунки во вставке: моделирование коэффициента светопропускания (T) и коэффициента отражения (R)

Если одна из подложек – фоточувствительная поверхность, то молекулы ЖК прилипают к ней благодаря стерическим и ван-дер-

ваальсовым взаимодействиям в такой ориентации, которая необходима благодаря управлению плоскостью поляризации.

Расчет светотехнических характеристик оптически перезаписываемой электронной бумаги выполнен с использованием матрицы 8×8 для одномерных слоистых структур. В основе данного метода лежит теория частичной когерентности световых лучей, согласно которой учитывается интерференция только в тонких слоях в сравнении с длиной когерентности падающего света.

Авторы работы показывают возможность моделирования коэффициента светопропускания (T , отн. ед.) и светоотражения (R , отн. ед.). Подобраны оптимальные параметры нематической твистовой ячейки в конфигурациях для пропускания и отражения света. Сгенерированы 2D-изображения, которые отображают множество оттенков серого цвета. Подобные изображения получаются с помощью паттерниновой фотоориентации. Контрастные соотношения составляют более 10:1 при светоотражении и 40:1 при светопропускании. Спектральные зависимости R и T достаточно однородные в пределах видимого диапазона. Теоретические и экспериментальные работы свидетельствуют, что время достижения приемлемого контрастного отношения (от 8:1) составляет около 10 с [2, 3].

Помимо оптически перезаписываемой электронной бумаги, потенциальные применения фотоориентации включают линзы с электрически управляемым фокусным расстоянием, оптические защитные пленки и др.

Литература

1. Diffusion model of photoaligning in azo-dye layers / S. Pikin, A. Verevochnikov, V. Kozenkov, M. Khazimullin, J. Ho, D.D. Huang, H.-S. Kwok // *Physical Review E*. – 2004. – Т. 69, № 6. – С. 061713.
2. A critical review of the present and future prospects for electronic paper / J. Heikenfeld, P. Drzaic, J.S. Yeo, T. Koch // *Journal of the Society for Information Display*. – 2011. – Т. 19, № 2. – С. 129-156.
3. Kudreyko, A. Optimization of image writer modes for optically rewritable electronic paper / A. Kudreyko, V. Chigrinov // *Liquid Crystals*. – 2021. – Т. 49, № 4. – С. 436 – 441.
4. Chigrinov, V. Photosensitive Alignment: Advanced Electronic Paper-Based Devices / V. Chigrinov, A. Kudreyko, J. Sun // *Crystals*. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 364.

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

Наумов Е.К.,
 асп. ИПСМ РАН, г. Уфа
 Науч. рук.: Дмитриев С.В.,
 д.ф.-м.н., проф., зав. лаб. «Нел. физика и механика мат.», г. Уфа

ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ

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

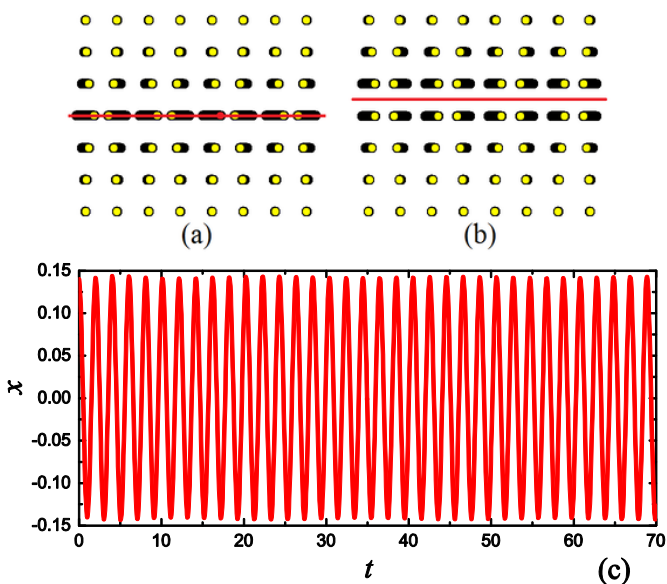


Рис. 1. Стационарные одномерные ДБ, полученные путем наложения локализующей функции на ДНКМ I. Перемещения умножаются на коэффициент 2. Параметры модели следующие: (a) $p_1 = 0$, $p_2 = 1$, $p_3 = 0$, $A = 0,14$, $\beta = 1,48$; для (b) $p_1 = 0$, $p_2 = 1$, $p_3 = h/2$, $A = 0,14$, $\beta = 1,45$. Линии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

Мы подчеркиваем, что начальные условия, используемые для возбуждения ДБ, не дают точных пространственно локализованных решений, но позволяют получать долгоживущие квазибризеры. Часть энергии, первоначально переданной в локализованную колебательную

моду, излучается, и после переходного периода, колебания стабилизируются. Параметры функции локализации выбираются таким образом, чтобы энергия, выделяемая во время стабилизации квазидышащей модели, была минимальной. Такая квазидышащая модель является прототипом исследуемого локализованного дискретного бризера молекул [1].

Далее представлены стационарные одномерные ДБ, полученные путем наложения локализующей функции на ДНКМ I (рис. 1).

Литература

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

© Наумов Е.К., Дмитриев С.В., 2024

ОСНОВНЫЕ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ, ЕГО МЕХАНИЗМЫ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В статье обсуждается электропластическая обработка металлов давлением, основные теории, описывающие электропластичность и механизмы её реализации. Электропластическая обработка металлов давлением (ЭОМД) – это производственный процесс, повышающий формуюемость материалов за счет применения постоянного или переменного электрического тока или электрических полей. Как известно, ЭОМД имеет большой потенциал коммерческого использования благодаря таким достоинствам, как снижение сопротивления деформации, повышение пластичности металлов, упрощение некоторых технологических процессов, повышение энергоэффективности, снижение стоимости и улучшение качества продукции. Представленный обзор описывает исследования, проведенные в области применения ЭОМД для различных схем формоизменения и различных материалов. Большое количество экспериментальных работ, выполненных за последние годы, свидетельствует об актуальности данной тематики. Процессы ЭОМД могут быть оптимизированы на основе информации, получаемой методами компьютерного моделирования. Компьютерное моделирование позволяет рассчитать воздействия тока на деформацию металлов, а также помогают разрешить некоторые спорные теоретические вопросы. В качестве примера успешного применения компьютерного моделирования в работе будет описана математическая модель залечивания дефектов под действием коротких импульсов высокоэнергетического электромагнитного поля. Кроме того, будут показаны основные преимущества компьютерного моделирования, позволяющего во многом предсказать результаты эксперимента, и основные проблемы моделирования процессов ЭОМД, такие как рост дороговизны расчета с повышением его точности. Предложены методы по их решению. Основной вывод представленного обзора состоит в том, что применение метода молекулярной динамики при моделировании процессов, касающихся ЭОМД, является актуальным, и что на сегодняшний день данный метод используется недостаточно широко [1].

Литература

1. Alder B. J., Wainwright T. E. Phase Transition for a Hard Sphere System // Chem. Phys. – 2004. – V. 1957 – P. 1208.

© Наумова Д.М., Дмитриев С.В., 2024

РЕЛЯТИВИСТСКОЕ УЖЕСТОЧЕНИЕ И СМЯГЧЕНИЕ БЫСТРО ДВИЖУЩИХСЯ ПРУЖИН

Доклад основан на результатах работы [1]. В ней рассматривается пара одинаковых колебательных систем в виде шариков на пружинке. Одна прикреплена к тяжелой стенке, покоящейся в некоторой инерциальной системе отсчета, а другая прикреплена к такой же стенке в быстро движущемся звездолете. Из рассмотрения малых колебаний в таких системах выводятся два результата.

Всякая пружина, изготовленная из барионной материи и находящаяся на борту быстро движущегося звездолета, для неподвижного наблюдателя выглядит более жесткой, чем она есть, в случае если она ориентирована вдоль движения звездолета.

Всякая пружина, изготовленная из барионной материи и находящаяся на борту быстро движущегося звездолета, для неподвижного наблюдателя выглядит менее жесткой, чем она есть, в случае если она ориентирована перпендикулярно направлению движения звездолета.

Коэффициенты ужесточения и смягчения в любом из этих случаев определяются стандартным релятивистским фактором $\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Эти результаты получены в рамках стандартной специальной теории относительности, но без использования преобразований Лоренца. Поэтому они могут быть легко перенесены на случай пружин и звездолетов, изготовленных из небарионной темной материи. В рамках новой теории гравитации, получившей название «Модель вселенной как 3D-браны», такая материя может иметь предельную скорость, отличную от скорости света. В частности она может проявлять свойства супербрадионов, рассмотренных Луисом Гонзалезом-Местресом в [2].

Литература

1. Sharipov R.A., *Relativistic hardening and softening of fast moving springs*, 2024, ResearchGate, publication. № 379537924, DOI: 10.13140/RG.2.2.10991.24488.
2. Gonzalez-Mestres L., *Space, time and superluminal particles*, e-print arXiv:physics/9702026.

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ В МНОГОСЛОЙНОЙ НАНОПЛЕНКЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В последнее время большой интерес вызывает исследование материалов и наноструктур, в которых наблюдается несколько типов упорядочения. Это в значительной степени связано с вниманием к корреляции двух и более параметров порядка. Такие материалы вызывают большую заинтересованность ими в виду их практического применения в устройствах магнитной памяти с более высокой плотностью записи [1-3].

В данной работе рассматривалась многослойная ферромагнитная структура (четырёхслойная наноразмерная пленка с различными типами магнитной анизотропии вида «легкая ось» и «легкая плоскость» (Рис. 1)), проведено исследование процессов намагничивания и перемагничивания в данной структуре при воздействии внешнего магнитного поля, исследовано влияние материальных параметров на существование состояний вида точки Блоха (ТБ).

Расчеты проводились с использованием пакета микромагнитного моделирования Object Oriented Micro Magnetic Framework (OOMMF) [4]. Для расчетов использованы следующие значения параметров. Для расчетов использованы следующие значения параметров $M_i=50$ кА/м, $A_{1,4} = 2.9 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $A_{2,3} = 4 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $K_{1,4} = -7 \cdot 10^5$ Дж/м³, $K_2 = 2 \cdot 10^5$ Дж/м³, $K_3 = 2 \cdot 10^3$ Дж/м³, $J_{12,34} = 3.5 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $J_{23} = 0.2 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $a = 200$ нм, $h = 24$ нм (для одного слоя) или 96 нм (для всей пленки), где A_i – константа неоднородного обменного взаимодействия i – ого слоя; K_i – константа магнитной анизотропии в i – ом слое, $K_{1,4} > 0$, $K_{2,3} < 0$, M_s – намагниченность насыщения, J_k – константа межслойного обменного взаимодействия, обозначение $k=12, 23, 34$ введено с учетом номеров обменно-связанных слоев.

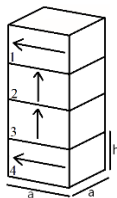


Рис. 1. Схематичный вид модельного объекта

Рассмотрены процессы намагничивания и перемагничивания выбранной структуры (Рис. 2), получены значения полей, характерные для состояния вида ТБ, рассмотрено влияние изменения констант анизотропии вида «легкая ось». Так же показаны особенности структуры при различных значениях констант анизотропии вида «легкая плоскость» при процессах намагничивания и размагничивания.

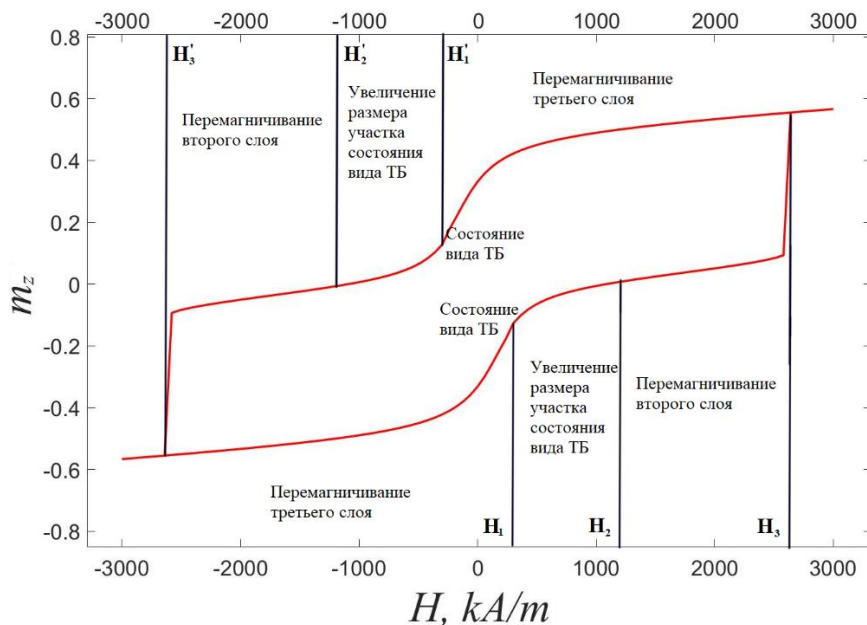


Рис. 2. Гистерезис намагниченности в магнитном поле $m_z(H)$, $K_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ J/m}^3$, $K_3 = 2 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$

Литература

1. Z. Guo, J. Yin, Y. Bai, D. Zhu, K. Shi, G. Wang, K. Cao, and W. Zhao, Spintronics for Energy- Efficient Computing: An Overview and Outlook, Proceedings of the IEEE 109, 1398 (2021).
2. Q. L. He, T. L. Hughes, N. P. Armitage, Y. Tokura, and K. L. Wang, Topological Spintronics and Magnetoelectronics, Nat. Mater. 21, 1 (2022).
3. К.Л. Мелтов, Топологическая память на многосвязных планарных магнитных наноэлементах, Письма в ЖЭТФ, том 118, вып. 2, с. 95 – 101 (2023).
4. M. J. Donahue and D. G. Porter, OOMMF User's Guide, Version 1.0, No. NIST IR 6376, National Institute of Standards and Technology, 1999.

УСТОЙЧИВЫЕ СОСТОЯНИЯ ВИХРЕПОДОБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПРОСТРАНСТВЕННО МОДУЛИРОВАННЫХ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЁНКАХ

Магнитные скирмионы, впервые обнаруженные в киральных магнетиках ещё в 2009 году до сих пор привлекают к себе внимание исследователей. Они являются топологически защищёнными вихреподобными структурами и стабилизируются в нецентросимметричных магнетиках благодаря наличию в них взаимодействия Дзялошинского – Мория (DMI), называемое в данном случае объёмным. Кроме того, магнитные скирмионы можно наблюдать и в многослойных ультратонких плёнках, в которых за их устойчивость ответственно межфазное DMI [1]. Они обладают рядом уникальных свойств (наномасштабные размеры, высокие скорости движения, возможность манипулирования ими с помощью электрического тока малой плотности и т.д.) Это создаёт предпосылки их использования в устройствах памяти и логики нового поколения, а также в искусственных нейронных сетях[2].

Существуют несколько методов стабилизации магнитных скирмионов в некиральных магнетиках. Один из них [3], рассматриваемый в этой работе, заключается в использовании одноосных ферромагнитных пленок с пространственно модулированными материальными параметрами. В этом случае в них при определённых условиях стабилизируются магнитные скирмионы, а также другие типы магнитных вихреподобных неоднородностей. Так как плёнка считается многослойной, то необходимо учитывать в модели изотропное межфазное DMI.

В данной задаче рассматривается диск конечных размеров с колумнарным дефектом, в области которого константа одноосной анизотропии $K_u < 0$, а вне дефекта $K_u > 0$. Кроме того предполагается и наличие в плёнке изотропного DMI. Исследование возможных типов магнитных скирмионов, структура и их устойчивость в таком магнетике проводилось методом микромагнитного моделирования в пакете программ открытого доступа OOMMF [4]. В результате моделирования были численно найдены диапазоны изменения материальных параметров, при которых стабилизируются кл-скирмионы ($k = 0, 1, 2, 3$) неелевского типа. Кроме того было изучено влияние радиуса дефекта и величины

потенциальной ямы на область устойчивости вихреподобных неоднородностей различного типа.

Литература

1. Самардак А.С., и др. Топологиче-ски нетривиальные спиновые текстуры в тонких магнитных пленках // ФММ – 2022. –Т. 123. № 3. – С. 260-283
2. Lee. O., et al. Perspective on unconventional com-puting using magnetic skyrmions // Appl. Phys. Lett. – 2023. – V. 122(26). – 260501.
3. M.V. Sapozhnikov et al. Artificial dense lattice of magnetic bubbles // J. Appl. Phys. – 2016. V. 109(4). – 042406.
4. M.J. Donahue, D.G. Porter OOMMF User's Guide, Version 1.0 Interagency Report – National In-stitute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1999.

© Филиппов М.А., Вахитов Р.М., 2024

Джумаев Ф.Н.,
 маг. 2-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Фахретдинов М.И.,
 к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
 Екомасов Е.Г.,
 д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ УРАВНЕНИЯ φ^4 С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ

В работе рассматриваются решения в виде кинков уравнения φ^4 (1) с пространственной неоднородностью $K(x)$:

$$u_{tt} - u_{xx} + K(x)(u^2 - 1)u = 0 \quad (1)$$

Неоднородность $K(x)$ имеет вид двух одинаковых прямоугольных ям шириной $W_1 = W_2 = W$ и глубиной $\Delta K_1 = \Delta K_2 = \Delta K$, см. рис. 1.

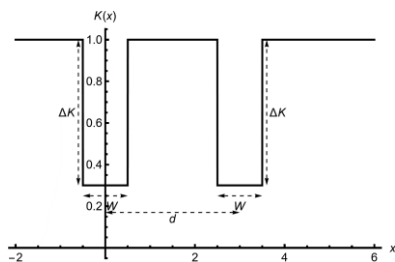


Рис. 1. Форма пространственной неоднородности $K(x)$

Численным решением уравнения (1) были получены и исследованы различные режимы динамики кинка, некоторые из которых ранее наблюдались для модели с пространственной неоднородностью в виде одной прямоугольной ямы [1].

Литература

1. Fakhretdinov M. I., Samsonov K. Y., Dmitriev S. V., Ekomasov E. G., Kink Dynamics in the φ^4 Model with Extended Impurity, *Rus. J. Nonlin. Dyn.*, 2023, Vol. 19, no. 3, pp. 303-320.

© Джумаев Ф.Н., Фахретдинов М.И.,
 Екомасов Е.Г., 2024

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

В настоящее время одним из перспективных направлений в развитии элементной базы различных устройств спинтроники считается использование в них в качестве рабочей среды магнитоэлектрических материалов [1-3]. Они характеризуются наличием двух и более параметров порядка, что позволяет регулировать их сегнетоэлектрические свойства с помощью магнитного поля, а также изменять намагниченность среды при воздействии электрического поля. В частности, одним из интересных явлений, обнаруженных в пленках ферритов-гранатов при комнатных температурах, является смещение доменных границ (ДГ) под действием неоднородного электрического поля [2].

Было высказано предположение, что данное явление обусловлено наличием в пленках неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия (флексомангнитоэлектрический эффект (ФМЭ) [1]), которое подтвердилось в ходе дальнейших исследований. На протяжении длительного времени сущность этого эффекта оставалась предметом широких дискуссий; для его объяснения были предложены два механизма: флексомангнитоэлектрический [1], когда в рассматриваемом магнетике имеется неоднородное магнитоэлектрическое взаимодействие (впервые представленное в [4]) и механизм, обусловленный смещением однотипных ионов относительно их положений равновесия под воздействием неоднородного электрического поля [1]. Оба фактора качественно достаточно хорошо объясняют экспериментальные данные. Последовавшие за ним работы по изучению этого эффекта выявили новые аспекты его проявления и, в частности, было установлено, что на ФМЭ эффект в феррит-гранатовых пленках существенное влияние оказывает магнитное поле, которое при определенных условиях может привести к его усилению [1,5].

Изучено также влияние внешнего электрического поля, ориентированного параллельно плоскости пленки, на структуру и свойства 180° ДГ. В случае $\mathcal{E}||Ox$ (Oxz - это плоскость вращения магнитных моментов в ДГ), происходит трансформация структуры 180° ДГ блоховского типа аналогично случаю $\mathcal{E}||Oz$ (Oz совпадает с нормалью к плоскости пленки) [6]. Она становится квазиблоховской с выходом намагниченности из плоскости ДГ. Более того, возле стенки под

воздействием поля возникают заряды, распределение которых является четной функцией от координаты y (Oy - направление, вдоль которого магнетик неоднороден). При этом суммарная поляризация стенки (интегральная поляризация) отлична от нуля, и с увеличением электрического поля она сначала резко возрастает, а затем асимптотически стремится к постоянному значению. Следует отметить, что значение магнитного поля, при котором интегральная поляризация быстро возрастает, значительно выше, чем аналогичное поле, которое имеет место при $\mathcal{E} \parallel Oz$. В случае $\mathcal{E} \parallel Oy$ решение уравнений Эйлера-Лагранжа соответствующих полной энергии рассматриваемой пленки с учетом ФМЭ взаимодействия [6], возможно, если электрическое поле является неоднородным и $\lambda_1 \neq \lambda_2$ (λ_1, λ_2 – магнитоэлектрические постоянные [5]). Если эти условия выполнены, то решением этих уравнений является неелевская 0° ДГ. В этом случае дифференциальная поляризация является нечетной функцией y . Это приводит к образованию вблизи стенки двойного электрического слоя с противоположными знаками зарядов. Последнее означает, что интегральная поляризация равна нулю. Дальнейший анализ показал, что ФМЭ при действии поля \mathcal{E} вдоль оси Ox проявляется значительно слабее, чем в случае $\mathcal{E} \parallel Oz$.

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

Литература

1. Пятаков А.П., Сергеев А.С., Николаева Е.П., Косых Т.Б., Николаев А.В., Звездин А.К. Микромагнетизм и топологические дефекты в магнитоэлектрических средах // УФН. 2015. Т. 185. № 10. С. 1077-1088.
2. Fiebig M., Lottermoser T., Meier D., Trassin M. The evolution of multiferroics // Nat. Rev. Mater. 2016. V. 1. P. 16046.
3. Spaldin N.A., Ramesh R. Advances in magnetoelectric multiferroics // Nature Materials., 2019. V. 18. № 3. P. 203–212
4. Барьяхтар В.Г., Львов В.А., Яблонский Д.А. Теория неоднородного магнитоэлектрического эффекта // Письма в ЖЭТФ. 1983. Т.37. № 12. С. 565-567.
5. Вахитов Р.М., Солонецкий Р.В., Низямова А.Р. Особенности проявления флексомагнито-электрического эффекта во внешнем магнитном поле // ФММ. 2023. Т.124. №.1. С.10-16.
6. Вахитов Р.М., Гареева З.В., Солонецкий Р.В., Мажитова Ф.А. Микромагнитные структуры, индуцированные неоднородным электрическим полем, в магнитодносных пленках с флексомагнитоэлектрическим эффектом // ФТТ. 2019. Т.61. № 6. С. 1120-112.

© Ибрагимова А.Р., Вахитов Р.М., 2024

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

В последнее время индустрия полупроводниковой электроники столкнулась с ограничениями в увеличении быстродействия современных вычислительных систем путем повышения плотности числа микропроцессоров на единицу площади. Это обусловлено фундаментальными физическими ограничениями, что послужило толчком к поиску новых моделей и способов реализации, на которых будет строиться инновационная электроника. Одним из перспективных направлений оказалась скирмионика, изучающая магнитные вихреподобные образования, получившие название скирмионы. Впервые полученные в лаборатории в 2009 году, в будущем они могут быть использованы для разработки более эффективных чипов памяти, в искусственных нейронных сетях [1].

Большинство исследований касающихся магнитных скирмионов проводились в киральных магнетиках, в которых благодаря наличию взаимодействия Дзялошинского-Мория, они образуют устойчивые состояния. Однако, оказалось, что в киральных магнетиках возникают некоторые трудности с устойчивостью магнитных скирмионов [2], после чего появился спрос на альтернативные методы их стабилизации в некиральных магнетиках. Одним из возможных способов реализации такого подхода был предложен в работах [2,3], в которых было показано, что такими материалами могут явиться ферромагнитные пленки с пространственно модулированной одноосной анизотропией. В большинстве последующих исследований под магнитными скирмионами понимались вихреподобные неоднородности, в которых единичный вектор намагниченности \mathbf{m} поворачивается на 180° при возрастании радиальной переменной r от 0 до ∞ (π -скирмионы). В то же время, появились исследования в которых предсказывалась возможность существования $k\pi$ -скирмионов ($k \in 1, 2, 3, \dots$).

В данной работе изучаются устойчивые состояния магнитных $k\pi$ -скирмионов, образующихся на колумнарных дефектах типа «потенциальная яма» в одноосных ферромагнитных пленках [3]. С помощью численного анализа интегро-дифференциального уравнения Эйлера–Лагранжа, описывающего распределение намагниченности в

области дефекта [3], удастся найти структуру вихреподобных неоднородностей, соответствующих кл-скирмионам, и их параметры: характерные размеры и их энергии. Также построена диаграмма устойчивых состояний кл-скирмионов в неоднородных магнитоодноосных пленках и определена область значений параметров материала, в которой они могут существовать.

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

Литература

1. А.С. Самардак, А.Г. Колесников, А.В. Давыденко, М.Е. Стеблій, А.В. Огнев // ФММ., **123**, № 3, С. 260-283 (2022)
2. M.V. Sapozhnikov, et. al // Appl. Phys. Lett., **109**, 042406 606 (2016).
3. R.M. Vakhitov, et.al // J.Appl. Phys., **128**, 000000 (2020)

© Ильясова Г.Ф., Вахитов Р.М., 2024

АНАЛИЗ РЕШЕТКИ МАГНИТНЫХ СКРИМИОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФУНКЦИЙ ГРИНА

Метод функции Грина – это эффективный математический инструмент, который позволяет исследовать энергетические характеристики и термодинамические свойства различных физических систем. Анализ функций Грина, описывающих реакцию системы на внешние воздействия, позволяет получить важные данные о спектре энергий, теплоемкости, магнитных свойствах и других параметрах системы. Этот метод широко используется в теоретической физике и изучении конденсированных сред для анализа сложных квантово-статистических систем и прогнозирования их поведения при различных условиях и взаимодействиях.

Рассматривается кристаллическая решетка с простой кубической симметрией и спинами Гейзенберга амплитудой $1/2$. Спины на узлах решетки взаимодействуют друг с другом через ферромагнитное обменное взаимодействие с параметром J_1 . Кроме того, следующие ближайшие соседи вдоль оси y взаимодействуют антиферромагнитным обменом с параметром J_2 . Магнитное поле направлено вдоль оси y . Гамильтониан N -слойной системы выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 H = & -N \cdot J_1 \sum_{i,j} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j - N \\
 & \cdot J_2 \sum_{i,i'} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_{i'} - (N-1) \cdot J_3 \sum_{i,i'} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_{i'} - \sum_{i,j} I_{ij} \cdot \vec{S}_i^y \cdot \vec{S}_j^y \\
 & - g\mu_B h \sum_i S_i^y \quad (1)
 \end{aligned}$$

где N – задаваемое количество слоев, \vec{S}_i – спин, имеющий i -й узел простой кубической решетки, h – величина магнитного поля, приложенного вдоль направления y перпендикулярно плоскости (xz) решетки, g и μ_B – соответственно фактор Ланде и магнетон Бора, J_1 – ферромагнитное взаимодействие между двумя ближайшими спинами \vec{S}_i и \vec{S}_j (NN), J_2 – антиферромагнитное взаимодействие для следующих ближайших соседей (NNN) по оси y , I_{ij} – анизотропное взаимодействие. Для вычисления

спектра элементарных возбуждений используется метод двух временных запаздывающих функций Грина.

Исследуется основное состояние системы и критическое значение $\alpha_c = \frac{|J_2|}{J_1}$, определяющее тип дальнего порядка в основном состоянии:

$$\frac{|J_2|}{J_1} \geq \frac{1}{4} = \alpha_c$$

Были проведены исследования энергетического спектра состояний различных систем. Ниже приведена зависимость энергии от волнового вектора k_y .

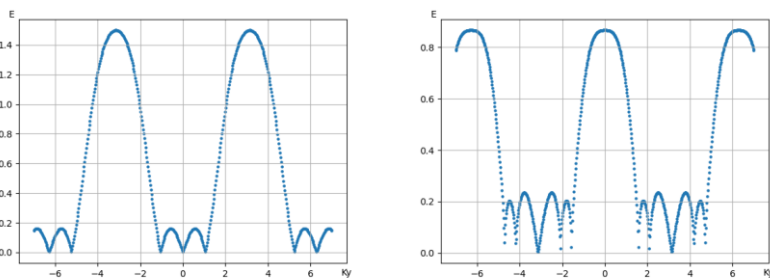


Рис. 1. Зависимость энергии от волнового вектора k_y в однослойной простой кубической решетке со спиральной структурой по оси y в случае $\theta = \frac{\pi}{3}$, $k_x = k_z = 0$, $J_1 = 2$, $J_2 = -1$, $\langle S^z \rangle = 0.5$ без внешнего магнитного поля (слева) и с включенным магнитным полем $h = 1$, причем считаем $g\mu_B = 1$

Также были рассмотрены энергетические спектры двухслойной и N-слойных систем и выявлена зависимость намагниченности от температуры.

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.

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

Косарев И.В.,
маг. 2-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Ибрагимов М.Р.,
маг. 2-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Кистанов А.А.,
Ph.D., с.н.с. НИЛ «Металлы и сплавы при ЭВ» УУНиТ, г. Уфа

ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ОБЪЁМНЫХ И ДВУМЕРНЫХ ТЕРНАРНЫХ НИТРИДАХ $Zn_2(V, Nb, Ta)N_3$

С ростом населения Земли всё острее встаёт вопрос получения электроэнергии. Среди современных видов энергий солнечная имеет ряд очевидных преимуществ, такие как доступность и экологичность. Однако предел эффективности современных солнечных панелей на основе кремния составляет 29,56% [1]. При этом возникает вопрос целесообразности солнечных электростанций, так как повышение эффективности сопряжено со значительным повышением стоимости.

Одним из предлагаемых методов решения данной проблемы, является разработка тандемных солнечных панелей с запирающим слоем (рис. 1). Запирающий полупроводниковый слой облегчает перенос носителей заряда к нижнему элементу, а также предотвращает утечку заряда в обратном направлении. Ключевыми критериями для выбора материалов, использующихся в таком слое, помимо коэффициента поглощения, химической стабильности, умеренной ширины запрещённой зоны, является высокая подвижность носителей заряда.

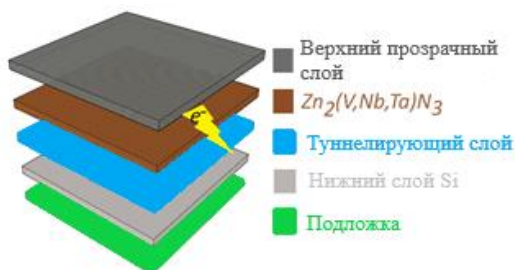


Рис. 1. Структура тандемной солнечной панели, запирающий слой представлен рассматриваемыми материалами $Zn_2(V, Nb, Ta)N_3$

Так одними из перспективных кандидатов на роль материалов для запирающего слоя являются тернарные нитриды, в частности три материала Zn_2VN_3 , Zn_2NbN_3 и Zn_2TaN_3 , имеющие основоцентрированную

орторомбическую структуру, которые в частности обладают подходящей запрещённой зоной и хорошим коэффициентом поглощения света [2].

Однако следующим этапом исследования данных материалов является анализ подвижности носителей зарядов, то есть электронов и дырок. Для данных полупроводников это исследование проводится посредством теории деформационного потенциала [3] и расширением данной теории для двумерных материалов [4]. Которая связывает проводимость в немагнитных полупроводниках и диэлектриках с акустическими волнами вблизи точки гамма фононного спектра, то есть с небольшими деформациями.

На основании данного метода, на данный момент известно, что двумерные Zn_2NbN_3 и Zn_2TaN_3 имеют значительно большую подвижность электронов, а Zn_2VN_3 большую подвижность дырок. В свою очередь для трёхмерных Zn_2VN_3 , Zn_2NbN_3 и Zn_2TaN_3 подвижность электронов локализована вдоль направления [001].

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания Уфимского университета науки и технологий (№ 075- 03-2024-123/1) молодежной исследовательской лаборатории «Металлы и сплавы в условиях экстремальных воздействий».

Литература

1. Richter A., Hermle M., Glunz S. W. Reassessment of the limiting efficiency for crystalline silicon solar cells //IEEE journal of photovoltaics. – 2013. – Т. 3. – №. 4. – С. 1184-1191.
2. Kistanov A. A. et al. Prediction of $Zn_2(V, Nb, Ta)N_3$ Monolayers for Optoelectronic Applications //The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2023. – Т. 14. – №. 49. – С. 11134-11141.
3. Bardeen J., Shockley W. Deformation potentials and mobilities in non-polar crystals //Physical review. – 1950. – Т. 80. – №. 1. – С. 72.
4. Xie J. et al. Theoretical prediction of carrier mobility in few-layer BC_2N //The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2014. – Т. 5. – №. 23. – С. 4073-4077.

© Косарев И.В., Ибрагимов М.Р., Кистанов А.А., 2024

ДИНАМИКА ДВУХ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ С РАЗНОЙ ПОЛЯРНОСТЬЮ В ТРЕХСЛОЙНЫХ СТНО

В основе микроволнового спин-трансферного наноосциллятора обычно лежат мультислойные наностолбики, которые имеют два магнитных слоя, разделенных немагнитной прослойкой [1]. В магнитных слоях может существовать, как основное состояние, магнитный вихрь. Появилось много работ, посвященных исследованию вихревых СТНО, когда вихрь существует в одном или двух магнитных слоях [1]. Однако, теоретически чаще исследуется случай двух вихрей с одинаковой полярностью [2-4], а эксперимент дает результат только для случая вихрей с разной полярностью. Рассмотрим магнитную систему, представляющую собой вихревой СТНО цилиндрической формы, состоящую из трех слоев разной толщины: двух магнитных (из пермаллоя) и одного немагнитного (из меди) их разделяющего. Диаметр цилиндра 120 нм, размеры магнитных слоев – 4 и 15 нм, немагнитного слоя – 10 нм. В обоих магнитных слоях реализуются магнитные вихри разной полярности, намагнитченности в ядрах вихрей направлены в сторону друг друга. Для наблюдения динамики вихрей по цилиндру пропускается спин-поляризованный электрический ток. Численное моделирование проведено с использованием пакета программ микромагнитного моделирования SpinRM. Найдены зависимости частоты и радиуса стационарных осцилляций магнитных вихрей в обоих слоях СТНО в зависимости от величины спин-поляризованного тока. Построены траектории движения вихрей. Найдены критические величины тока, определяющие начало и конец режима стационарных осцилляций магнитных вихрей. Показано, что критические токи системы вихрей с разной полярностью меньше соответствующих токов для системы с одинаковой. Также проведено сравнение и показано различие видов зависимости частот и радиусов стационарных осцилляций этих систем от значения тока.

Литература

1. Екомасов А.Е., Звездин К.А., ФММ 123, 3, 219 (2022).
2. Mukhamadeeva V.V., et al. Letters on Materials 12 (4), 327 (2022).
3. Antonov G.I., Ekomasov E.G., Zvezdin K.A., Pugach N.G. Physics of Metals and Metallography 125, 1, 33 (2024).
4. Екомасов Е.Г., Нерадовский Д.Ф., Антонов Г.И., Филиппова В.В. ФТТ 66, 3, 334 (2024).

© Фасхутдинов Р.А., Антонов Г.И., Екомасов Е.Г., 2024

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ВОЛНЫ УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ТРЕМЯ ПРОТЯЖЕННЫМИ ПРИМЕСЯМИ С УЧЕТОМ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛН

Уравнение синус-Гордона (УСГ), относящееся к классу уравнений Клейна-Гордона, пользуется популярностью при описании нелинейных волновых процессов в теоретической и математической физике [1] потому, что имеет точные аналитические решения в виде кинка, бризера и солитона. Оно имеет широкое применение, например, может описывать динамику доменных границ в ферромагнетиках [2-3], однако для этого изначальное уравнение требует модификации. Например, 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) [1].

В данной работе исследована структура и характеристики связанных нелинейных локализованных волн бризерного и солитонного типа, возникающих на трех одинаковых притягивающих протяженных примесях после прохождения кинка. Проведён анализ влияния параметров примесей, расстояния между ними и начальных скоростей кинка на структуру и характеристики связанных нелинейных локализованных волн. Исследованы волны, излучаемые локализованными волнами бризерного типа, влияние внешней силы и затухания на их структуру и динамику.

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.

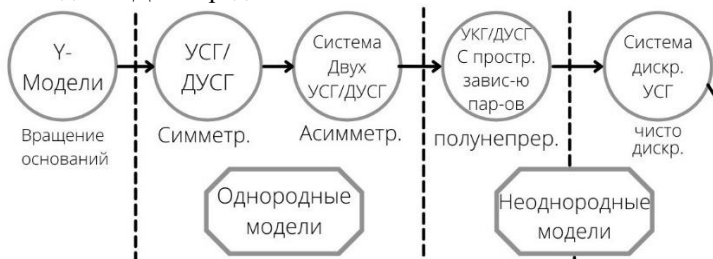
УГЛОВЫЕ МОДЕЛИ ДНК

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

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

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

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



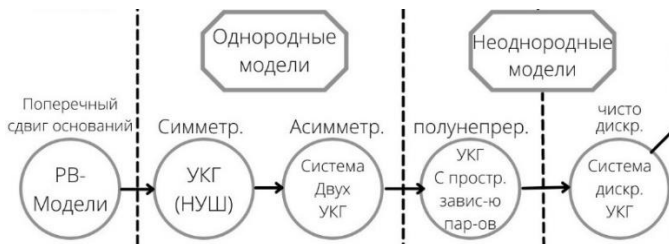
Предлагаемая нами иерархия угловых моделей нелинейной динамики ДНК является наиболее полной из имеющихся в настоящее время.

ПОПЕРЕЧНЫЕ МОДЕЛИ ДНК

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

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

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



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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ МАГНИТНОЙ РЕШЕТКИ

В классических решеточных моделях магнетиков решетки представлены в виде неподвижных кристаллов, на узлах которых состояние спинов изменяется в соответствии с некоторой вероятностью, зависящей от разности энергий между состояниями и величиной температуры. Ансамбль таких алгоритмов называется методами Монте-Карло, и они наглядно описывают фазовые переходы вида «порядок-беспорядок» в простейших системах. В данной работе мы предлагаем альтернативную модель, описывающую тепловые колебания магнитного кристалла *ab initio*, и исследуем соответствующие особенности фазового перехода.

Рассмотрим однослойную плёнку с треугольной симметрией, в которой узлы решётки представляют собой точечные тела с единичной массой и связаны с соседними телами с помощью силы Гука [1], возникающей при смещении тел относительно равновесного положения. Обозначим радиус-вектор i -го тела \vec{r}_i , а вектор, соединяющий тела i и j обозначим $\vec{d}_{ij} = \vec{r}_j - \vec{r}_i$. Тогда равнодействующая на i -е тело сила Гука запишется в виде:

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

Подставляя выражение (1) во второй закон Ньютона, можно записать уравнение движения i -го тела в виде системы дифференциальных уравнений и аппроксимировать в виде системы конечно-разностных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\vec{r}_i}{dt} = \vec{v}_i \\ \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \vec{F}(\vec{r}_i) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \vec{v}_i(t + \Delta t) \approx \vec{v}_i(t) + \vec{F}(\vec{r}_i(t))\Delta t \\ \vec{r}_i(t + \Delta t) \approx \vec{r}_i(t) + \vec{v}_i(t)\Delta t \end{cases} \quad (2)$$

С учётом подвижности решётки Гамильтониан i -го тела запишется в виде:

$$\mathcal{H}_i = -\sum_{j=1}^6 \{J_0 \exp(|\vec{d}_{ij}| - 1) \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j + D_0 \vec{d}_{ij} \cdot [\vec{S}_i \times \vec{S}_j]\} - \vec{H}_0 \cdot \vec{S}_i \quad (3)$$

Здесь \vec{S}_i – спин i -го тела, J_0 – обменный параметр, D_0 – модуль вектора Дзялошинского-Мория, \vec{H}_0 – внешнее магнитное поле.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания на выполнение научных исследований лабораториями (приказ МН-8/1356 от 20.09.2021).

Литература

1. Лурье А. И. Теория упругости. – 1970.

© Нугуманов А.Г., Шарафуллин И.Ф., 2024

Нугуманов Р.Р., асп. 1-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Абдрахманов Д.И., асп. 2-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Шарафуллин И.Ф., д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ ОБМЕННО-РЕДУЦИРОВАННОГО ДЕФЕКТА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СКИРМИОНОВ В АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ ФРУСТРИРОВАННЫХ ПЛЁНКАХ

В работе рассматривается модель одноатомной треугольной решетки с антиферромагнитным обменным взаимодействием, планарным взаимодействием Дзялошинского-Мория и обменно-редуцированным дефектом [1] во внешнем магнитном поле. Гамильтониан рассматриваемой системы:

$$H_m = - \sum_{i,j} J_{i,j}^m \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j - \sum_{i,j} \vec{D}_{i,j} [\vec{S}_i \times \vec{S}_j] - \sum_i \vec{H}^0 \cdot \vec{S}_i \quad (1)$$

Рассматриваемый нами дефект изменяет обменную энергию по формуле:

$$J_{i,j}^m = J_0 \left(1 + \varepsilon \cdot \exp\left(-\frac{K_{ij}}{\vartheta^2}\right) \right) \quad (2)$$

$$K_{ij} = \left| \frac{\vec{r}_i + \vec{r}_j}{2} - \vec{r}_q \right| \quad (3)$$

Здесь, J_0 константа антиферромагнитного обмена на бесконечности, равная -1, ε определяет величину параметра обмена, \vec{r}_q обозначает положение дефекта, а ϑ определяет эффективную ширину переменного обмена; \vec{r}_i, \vec{r}_j обозначает положения узлов решетки.

Исследуется основное состояние, которое допускает существование скирмионов, исследована устойчивость фазы скирмионной решетки при наличии обменно-редуцированного дефекта. С помощью метода наискорейшего спуска были построены и проанализированы фазовые диаграммы основного состояния в зависимости от диаметра дефекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания на выполнение научных исследований лабораториями (приказ МН-8/1356 от 20.09.2021).

Литература

1. Derras-Chouk A., Chudnovsky E. M. Skyrmions near defects //Journal of Physics: Condensed Matter., 2021., v. 33., iss. 19., p. 195802.

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

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

УДК 538.93

Селовсянова Л.З.,
маг. 2-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Акманова Г.Р.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЗОННАЯ СТРУКТУРА ДВУМЕРНЫХ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ

Особенностью сплавов халькогенидов является то, что одновалентные ионы обладают высокой подвижностью в базисных плоскостях гексагональной решетки и явление суперионной проводимости в них имеет двумерный характер. Типичными представителями данного класса систем является соединение CuCrS_2 , обладающая гексагональной структурой и смешанной ионно-электронной проводимостью [1-3].

Расчет зонной структуры соединения CuCrS_2 при температуре 300 К был выполнен в рамках теории функционала электронной плотности методом псевдопотенциала в базисе плоских волн, реализованный в программном пакете Quantum Espresso.

На рис.1 представлены зонная структура, на рис.2. - полные и парциальные плотности состояний для двумерного суперионного проводника CuCrS_2 .

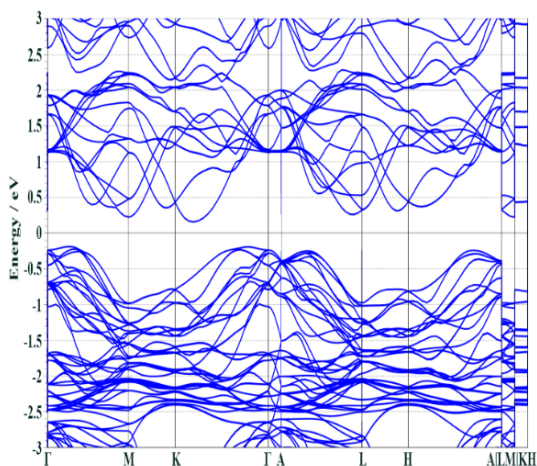


Рис. 1. Зонная структура соединения CuCrS_2

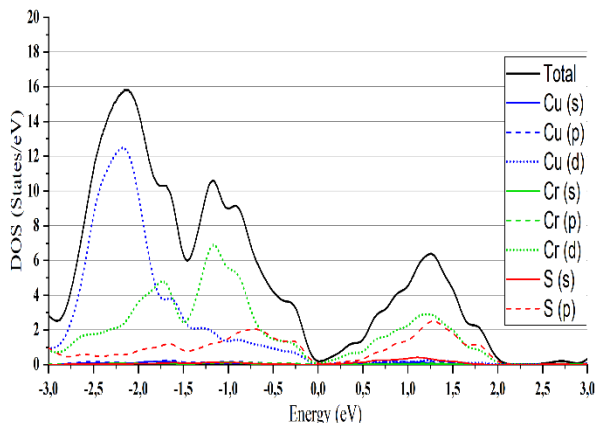


Рис. 2. Полные и парциальные плотности электронных состояний для CuCrS_2

Зонная структура характеризуется гибридизацией d-уровней меди и p-уровней серы и хрома. Потолок валентной зоны образуется из преимущественного вклада d-состояний Cu, p-состояний S и p-состояний Cr. Ширина запрещенной зоны имеет значение 0,225 эВ с непрямым переходом.

Полученные результаты расчета и их анализ позволяет сделать вывод о том, что CuCrS_2 является полупроводниками с непрямым переходом.

Литература

1. Акманова Г.Р., Биккулова Н.Н., Давлетшина А.Д. Исследование двумерных суперионных проводников CuCrS_2 и AgCrS_2 и их сплавов // Электрохимия, 2013, т. 49, № 8, сс. 921-925.
2. Yakshibaev R.A., Akmanova G.R., Bikkulova N.N. Studies of diffusion phenomena in 2d superionic conductors of CuCrS_2 - AgCrS_2 // Russian Journal of Electrochemistry, 2015, v. 51, № 6, pp. 587-591.
3. Akmanova G.R., Yakshibaev R.A., Davletshina A.D., Bikkulova N.N. Changes in the nature of chemical bonding in solid solutions between copper and silver chalcogenides // Inorganic Materials, 2020, v. 56, № 1, pp. 1-6.

© Селовсянова Л.З., Акманова Г.Р., 2024

Рожнова Е.А.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Сафина Л.Р.,
асп. 2-го г. об. ИПСМ РАН, г. Уфа
Науч. рук.: Баимова Ю.А.,
д.ф.-м.н., проф. РАН, зав. лаб. ИПСМ РАН, г. Уфа

ПРИМЕНИМОСТЬ МЕЖАТОМНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ ГРАФЕН/МЕТАЛЛ

Разработка новых композитов на основе углеродных структур и металлических наночастиц с улучшенными механическими свойствами активно развивается в течение последних десятилетий [1]. Исследование композитов графен/Ме с новой архитектурой и прогнозирование их физико-механических свойств возможно методом молекулярной динамики (МД), который позволяет рассмотреть различные факторы (например, размер наночастиц металла, температуру обработки, морфологию композита), влияющие на получение, деформационное поведение и механические свойства данных структур. Метод МД опирается на потенциалы межатомного взаимодействия, поэтому выбор корректного межатомного потенциала играет ключевую роль при моделировании таких структур. В данной работе рассматриваются различные потенциалы межатомного взаимодействия (потенциал Леннарда-Джонса, Морзе, Терсоффа и потенциал порядка связи (ВОР)), для описания систем графен/Ni, графен/Ti, графен/Cu и графен/Al с целью дальнейшего изучения процессов получения композитов графен/Ме и оценки их механических свойств. Для анализа влияния потенциалов на деформационное поведение структуры графен/Ме рассматривается предшественник композита, представляющий собой свернутые чешуйки графена, заполненные наночастицами металла, который выдерживается при комнатной температуре.

В результате исследования показано, как неправильно выбранный потенциал влияет на деформационное поведение структуры. Определены потенциалы, которые наиболее точно и реалистично воспроизводят взаимодействие в системе графен/Ме и могут быть успешно использованы для дальнейших исследований композитов графен/Ме.

Литература

1. Safina, L.R. et al. Simulation of metal-graphene composites by molecular dynamics: A review // Letters on Materials, 2020, v. 10, № 3, pp. 351-360.

© Рожнова Е.А., Сафина Л.Р., Баимова Ю.А., 2024

Алексеева К.В.,
маг. 2-го 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

СИНТЕЗ НОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ $\text{Cu}_{1.5}\text{Na}_{0.5}\text{S}$ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СТРУКТУРЫ

Синтез новых термоэлектрических материалов является актуальной задачей. Эффективность термоэлектрического преобразователя и его к.п.д. растет с уменьшением теплопроводности материала и с увеличением коэффициента термо-э.д.с. и электропроводности. В халькогенидах меди с высокой ионной проводимостью теплопроводность снижается из-за рассеяния фононов на подвижных ионах. Введение в решетку халькогенидов меди щелочных металлов приводит к образованию наноразмерных пор, которые служат также центрами рассеяния фононов. Поэтому халькогениды меди, допированные щелочными металлами, является перспективными материалами для термоэлектрических преобразователей [1,2]. Синтез халькогенидов меди, замещенных щелочными металлами, из элементов или методом жидкофазных реакций связан с определенными трудностями из-за высокой активности щелочных металлов и образования посторонних фаз. По нашему мнению этим объясняется небольшое количество публикаций, посвященных исследованиям сульфидов меди, допированных щелочными металлами.

В данной работе смешанные соединения $\text{Cu}_{1.5}\text{Na}_{0.5}\text{S}$ получили методом твердофазных реакций при высокой температуре из сульфидов меди Cu_2S и натрия Na_2S . Сульфид меди Cu_2S синтезировали из элементов в кварцевых ампулах, моносульфид натрия Na_2S получили из водного сульфида натрия $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ путем обезвоживания в вакууме. DSC-исследования показывают наличие фазовых переходов при температурах 108 °С, 205 °С и 436 °С. При охлаждении температуры фазовых переходов несколько снижаются. Согласно рентгеновским исследованиям соединение $\text{Cu}_{1.5}\text{Na}_{0.5}\text{S}$ при комнатной температуре имеет гексагональную структуру, при $T \geq 200$ °С - ГЦК структуру. Природа других фазовых переходов изучается.

Литература

1. A. Planes et al., *J.Phys.: Condens. Matter* 21, 233201 (2009).
2. Z.H. Ge, X. Liu, D. Feng, J. Lin, *J He. Adv. Energy Mater.* 6, 1600607 (2016). doi: 10.1002/aenm.201600607.

© Алексеева К.В., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д., 2024

Казакбаев А.Р.,
маг. 1-го 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

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СОЕДИНЕНИЯ $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$

Работа посвящена синтезу и исследованию кристаллической структуры нового соединения $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$. Интерес к сульфидам меди и их сплавам обусловлен тем, что эти соединения являются перспективными материалами для электродов термоэлектрических преобразователей, источников тока, солнечных элементов, оптических устройств и различных датчиков. В ряде сульфидов меди наблюдается быстрый ионный перенос. Подвижные ионы служат дополнительными центрами рассеяния фононов. Это приводит к снижению теплопроводности и к увеличению термоэлектрической добротности [1]. Кроме этого, введение в сульфиды меди атомов щелочных металлов сопровождается образованием наноразмерных пор, которые также служат центрами рассеяния фононов и приводят к увеличению термоэлектрической добротности [2]. Поэтому сульфиды меди с высокой ионной проводимостью являются перспективными материалами для термоэлектрических преобразователей.

Для синтеза соединения $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$ использовали сульфид меди Cu_2S и моносульфид натрия Na_2S . Сульфид меди синтезировали из меди чистоты 99.9% и серы марки ос.ч. ампульным методом при температуре 400°C . Сульфид натрия получали из 9-ти водного сульфида натрия $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ путем обезвоживания в вакууме. Предварительный рентгенофазовый анализ показал, что полученный образец имеет только линии моносульфида натрия Na_2S . Для получения соединения $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$ соответствующее количество Cu_2S и Na_2S перемешивали, полученный порошок прессовали в прямоугольные образцы, запаивали в вакуумированные ампулы и синтезировали при температуре 400°C в течение недели. Затем образцы извлекали, снова растирали в порошок, прессовали в прямоугольные формы и в вакуумированных ампулах гомогенизировали при 400°C с последующим медленным охлаждением.

Рентгеновские исследования проводили на дифрактометре ДРОН-7 на Co K_β - излучении. Высокотемпературные исследования проводили на модернизированном дифрактометре ДРОН-3 с приставкой УВД-2000 в

вакууме. DSC - исследования проводили с помощью калориметра NETZSCH STA 409 PC в потоке аргона.

Для определения типа кристаллической решетки проводили аналитическое индирование дифрактограмм и индирование с применением компьютерной программы. В результате нами установлено, что полученное соединение $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$ при комнатной температуре имеет гексагональную структуру с параметрами $a = 13.803(10) \text{ \AA}$ и $c = 14.972(16) \text{ \AA}$. Примерно через 6 месяцев исследуемое соединение при комнатной температуре самопроизвольно переходит в ГЦК-фазу.

На ДСК кривых ГЦК-фазы соединения $\text{Cu}_{1.7}\text{Na}_{0.3}\text{S}$ при нагреве проявляются аномалии при температурах 110 °С, 233 °С и 439 °С, соответствующие эндотермическим превращениям. При охлаждении эти аномалии смещаются в область более низких температур: 81 °С, ~194 °С и ~ 379 °С. Наблюдаемые превращения происходят без изменения типа кристаллической решетки. Поэтому мы полагаем, что эти превращения связаны с перераспределением катионов меди и натрия по возможным кристаллографическим позициям. Данный вопрос требует проведения дополнительных исследований.

Литература

1. P. Qiu, X. Shi, L. Chen. Energy Storage Mater. 3, 85 (2016).
2. Z.H. Ge, X. Liu, D. Feng, J. Lin, J He. Adv. Energy Mater. 6, 1600607 (2016). doi: 10.1002/aenm.201600607.

© Казакбаев А.Р., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д., 2024

Мустакимов И.Р.,
маг. 2-го 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 СТРУКТУРЫ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СОЕДИНЕНИИ $\text{Cu}_{1.9}\text{Na}_{0.1}\text{S}$

Сульфиды меди являются привлекательными материалами для электродов источников тока, датчиков, солнечных элементов, оптических устройств. Из-за высокой ионной проводимости ряд сульфидов меди представляет интерес также как материалы для термоэлектрических устройств. Эффективность термоэлектрического преобразователя тем выше, чем больше коэффициент термо-э.д.с. материала и чем ниже теплопроводность. В халькогенидах меди наблюдается дополнительное рассеяние фононов на подвижных ионах, что приводит к снижению теплопроводности и к повышению термоэлектрической добротности. Халькогениды меди, допированные щелочными металлами, является перспективным материалом для термоэлектрических преобразователей. В работе [1] показано, что введение атомов щелочного металла в сульфид меди приводит к образованию наноразмерных пор, которые являются дополнительными центрами рассеяния фононов и приводят к повышению термоэлектрической добротности. В литературе мало публикаций, посвященных исследованиям сульфидов меди, допированных щелочными металлами. В работе [1] получены однофазные образцы $\text{Na}_x\text{Cu}_9\text{S}_5$ до состава $x = 0.15$ в шаровой мельнице с использованием металлического Na и Cu_9S_5 . Затем, для получения объемных образцов полученные материалы компактированы искрово-плазменным методом. В работе [2] образцы $\text{Na}_x\text{Cu}_{2-x}\text{S}$ синтезировали жидкофазным методом из NaCl, CuCl и $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в расплавленной смеси NaOH и KOH. Полученные образцы содержали примеси различных сульфидов меди. Для полного понимания природы термоэлектрических явлений исследования необходимо проводить на однофазных образцах. В данной работе смешанные соединения $\text{Cu}_{1.9}\text{Na}_{0.1}\text{S}$ получили методом ампульного синтеза из сульфидов меди Cu_2S и натрия Na_2S . Сульфид меди Cu_2S синтезировали из элементов в кварцевых ампулах. Сульфид натрия Na_2S получили из водного сульфида натрия $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ путем обезвоживания в вакууме.

Наши исследования показали, что дифрактограммы соединения $\text{Cu}_{1.9}\text{Na}_{0.1}\text{S}$ непосредственно после синтеза имеют узкие линии (рис.1). Это

свидетельствует о высокой кристалличности образцов и больших размерах областей когерентного рассеяния (ОКР). Результаты индиферирования показали, что исследуемое соединение имеет ГЦК решетку с параметром ячейки $a = (41.8917 \pm 36) \text{ \AA}$ со сложным распределением катионов меди и натрия по кристаллографическим позициям. Примерно через 6 месяцев образцы самопроизвольно переходят в другую фазу с ГЦК - структурой. Параметр решетки $a = (16.665 \pm 12) \text{ \AA}$.

На ДСК-кривых образцов при нагреве проявляются аномалии при температурах 118 °С, 245 °С и 442 °С, связанные с фазовыми превращениями. При охлаждении эти аномалии смещаются в область более низких температур: 66 °С, ~234 °С и ~395 °С. Природа остальных фазовых переходов изучается.

Литература

1. Z.H. Ge, X. Liu, D. Feng, J. Lin, J. He. Adv. Energy Mater. 6, 1600607 (2016). doi: 10.1002/aenm.201600607.
2. M. Kh. Balapanov, R.Kh. Ishembetov, K.A. Kuterbekov, M.M. Kubenova, R.F. Almukhametov, R.A. Yakshibaev. Ionics, 24, 1349 (2018). doi: 10.1007/s11581-017-2299-z.

© Мустакимов И.Р., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д., 2024

Полякова П.В.,
асп. 1-го г. об. ИПСМ РАН, г. Уфа
Лисовенко Д.С.,
д.ф.-м.н., проф. РАН, зав. лаб., ИПМех РАН, г. Москва
Науч. рук.: Баимова Ю.А.,
д.ф.-м.н., проф. РАН, зав. лаб. 11, ИПСМ РАН, г. Уфа

УПРУГИЕ СВОЙСТВА ГРАФИНОВ: МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИНАМИКА

В настоящее время новые двумерные материалы являются актуальным объектом исследований, поскольку они обладают уникальными механическими и физическими свойствами. Одним из таких материалов является графин. Графин представляет собой монослой атомов углерода, которые имеют sp - и sp^2 -гибридизацию и особым образом уложены в решетке. Данный материал привлекателен для применения в качестве защитных элементов от ультрафиолетового излучения, транзисторов, катализаторов, анодного материала для литий-ионных батарей будущего поколения и т.д. [1]. В настоящей работе рассчитаны константы упругости графина методом молекулярной динамики.

Исследованы пять конфигураций графина (α , β_1 , β_3 , γ_1 и γ_2) (рис. 1), при этом α , β_1 и γ_1 имеют гексагональную анизотропию, а β_3 и γ_2 – ромбическую. Для каждой структуры выбраны два размера ячейки моделирования: $L_x=250 \text{ \AA}$, $L_y=250 \text{ \AA}$, $L_z=20 \text{ \AA}$ и $L_x=1000 \text{ \AA}$, $L_y=1000 \text{ \AA}$, $L_z=20 \text{ \AA}$. Все расчеты проводятся с использованием свободного распространяемого программного пакета LAMMPS и межатомного потенциала AIREBO. В системе поддерживается постоянство 0.001 К с помощью термостата Носе-Хувера. Расчеты выполнены с использованием NVT-ансамбля, периодические граничные условия применяются во всех направлениях.

Методика расчета представлена в работе [2]. К каждой структуре приложено одноосное растяжение до 0.1% и рассчитаны константы жесткости. После чего находятся средние значения констант жесткости и рассчитываются модуль Юнга, модуль сдвига и коэффициент Пуассона.

Основываясь на законе Гука, методом молекулярной динамики получены константы упругости для пяти конфигураций графина [3]. Обнаружено, что атомная укладка графина существенно влияет на значения констант упругости. Среди гексагональных графинов γ_1 -графин имеет наибольший модуль Юнга, а α – наименьший. Показано, что β_3 и γ_2 графины сильно анизотропны и обладают чрезвычайно большим коэффициентом Пуассона в плоскости.

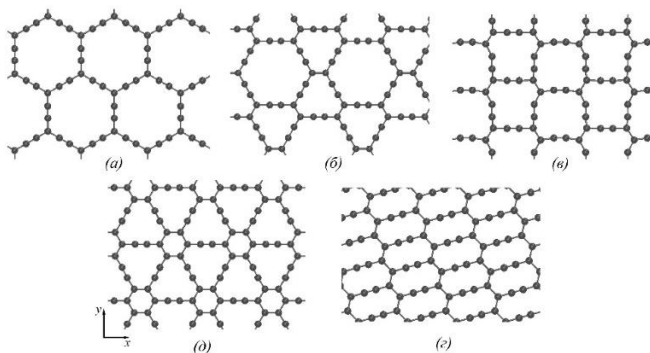


Рис. 1. Начальные структуры графина в проекции на плоскость xy : (а) – a , (б) – β_1 , (в) – β_3 , (г) – γ_1 и (д) – γ_2

Литература

1. Kang J., Li J., Wu F., Li S.-S., Xia J.-B. High mobility and high storage capacity of lithium in sp - sp^2 hybridized carbon network: the case of graphyne // *J. Phys. Chem. C*, 2011, v. 115, pp. 20466–20470.
2. Polyakova P.V., Galiakhmetova L.K., Murzaev R.T., Lisovenko D.S., Vaimova J.A. Elastic properties of diamane // *Lett. Mater.*, 2023, v. 13, № 2, pp. 171-176.
3. Полякова П.В., Мурзаев Р.Т., Баимова Ю.А. Методика расчета констант упругости графина методом молекулярной динамики // *ПМТФ*, 2023, Т. 6. № 6. С. 176-178.

© Полякова П.В., Лисовенко Д.С., Баимова Ю.А., 2024

Габбасов Р.Р.,
маг. 1-го г. об. УГНТУ, г. Уфа
Классман Е.Ю.,
инж. ИПСМ РАН, г. Уфа
Валитов В.А.,
д.т.н., в.н.с. ИПСМ РАН, г. Уфа
Науч. рук.: Галиева Э.В., к.т.н. ИПСМ РАН, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ЭК79 И ЭП975

Жаропрочные никелевые сплавы являются необходимым материалом при изготовлении авиационных газотурбинных двигателей. Из них изготавливаются лопасти компрессоров, диски ротора турбины, детали камеры сгорания [1-2].

Производство неразъемных деталей позволяет существенно повысить коэффициент использования металла. Перспективным способом получения твердофазных соединений (ТФС) является сварка давлением в условиях сверхпластичности. При таком методе сохраняется структурная однородность, отсутствует градиент по температуре, а также возможно снизить температуру сварки на 200°C и более градусов по сравнению с применяемыми к такого рода сплавам методам [3-4].

Целью данной работы является исследование влияния температуры сварки давлением на прочность твердофазных соединений в сочетании сплавов ЭК79 и ЭП975.

Материалами для исследований были выбраны деформируемые жаропрочные никелевые сплавы ЭП975 и ЭК79 с исходной мелкозернистой структурой дуплексного типа.

Сварка давлением проводилась по схеме одноосного сжатия на установке фирмы Schenck Trebel, при температурах 1000°C, 1050°C, 1100°C. Механические испытания на одноосное растяжение плоских образцов с размерами рабочей части 2x3x10 мм³ проводили при комнатной температуре на испытательной машине Instron 5982.

Анализ микроструктуры зоны соединений в сочетании сплавов ЭК79 и ЭП975 выявил что мелкозернистая микроструктура сплава ЭП975 относительно стабильна при температурах 1000°C и 1050°C, а при 1100°C происходит увеличение зерен γ -фазы. В микроструктуре сплава ЭК79 уже при температуре сварки 1050°C и 1100°C отмечается увеличение γ -фазы и растворение крупных частиц γ' -фазы с их выделением в виде дисперсных частиц в теле матричной фазы.

По результатам микроструктурных исследований сварных образцов ЭК79//ЭП975 вдали от зоны ТФС и непосредственно в самой зоне ТФС установлено, что микроструктурных изменений не выявляется.

Результаты исследования механических свойств на растяжение при комнатной температуре сварных соединений в сочетании сплавов ЭК79//ЭП975, полученных сваркой давлением при температурах 1000, 1050 и 1100°C приведены в таблице 1.

Табл. 1. Механические свойства твердофазных соединений ЭК79//ЭП975

| Температура сварки, °С | σ_b , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % |
|------------------------|------------------|----------------------|--------------|
| 1000 | 1230 | 1000 | 9 |
| 1050 | 1450 | 964 | 17 |
| 1100 | 1230 | 982 | 7 |

Сравнительный анализ результатов механических испытаний показал, что максимальные значения предела прочности ($\sigma_b=1450$ МПа) были получены при температуре 1050°C, которая на 50-80°C ниже оптимальной температуры сверхпластической деформации соединяемых сплавов ЭК79 и ЭП975 с исходной структурой типа микродуплекс. Наиболее высокие значения предела текучести наблюдались в образцах после СД при температуре 1000°C, что, вероятно, связано с дополнительным выделением при этой температуре упрочняющей γ' -фазы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-79-00271.

Литература

1. Reed, R. C. The Superalloys fundamentals and applications / R. C. Reed, 2006. – 372 p. – DOI 10.1017/CBO9780511541285.
2. Логунов А. В. Жаропрочные никелевые сплавы для лопаток и дисков газовых турбин //Рыбинск: Издательский дом «Газотурбинные технологии».– 2017.– 854 с. – 2017. – Т. 12.
3. Drozdov A. A. et al. Effect of the temperature of pressure welding of a wrought EP975 nickel alloy and a single-crystal intermetallic VKNA-25 alloy on the structure and properties of the welded joints //Russian Metallurgy (Metally). – 2020. – Т. 2020. – С. 752-759.
4. Galieva E. V. et al. Structure and Properties of the Solid-Phase Joints of a Wrought EP975 Nickel Alloy and a Single-Crystal Intermetallic VKNA-25 Alloy Formed by Pressure Welding at a Strain of 24% under the Superplasticity of the EP975 Alloy //Russian Metallurgy (Metally). – 2018. – Т. 2018. – С. 1067-1073.

© Габбасов Р.Р., Классман Е.Ю., Валитов В.А., Галиева Э.В., 2024

Тагирова А.А., маг. 2-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Галиева Э.В., к.т.н., зав. лаб. ИПСМ РАН, г. Уфа
Классман Е.Ю., инж. ИПСМ РАН, г. Уфа
Науч. рук.: Валитов В.А., д.т.н., в.н.с. ИПСМ РАН, г. Уфа

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДОФАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ЭК61 И ЭП741НП

Жаропрочные никелевые сплавы (ЖНС) широко применяются для изготовления различных деталей двигателей для аэрокосмической техники [1]. В настоящее время перспективным методом изготовления твердофазных соединений (ТФС) из ЖНС является сварка давлением в условиях сверхпластичности, которая позволяет получать качественные соединения и сохранять исходные свойства свариваемых металлов. [2].

В качестве материалов для исследований были выбраны порошковый сплав ЭП741НП и железоникелевый деформируемый сплав ЭК61. В исходном состоянии сплав ЭП741НП имел крупнозернистую микроструктуру со средним размером зерен матричной γ -фазы 30–80 мкм, в теле зерен равномерно выделены дисперсные частицы γ' -фазы. Сплав ЭК61 имел ультрамелкозернистую микроструктуру дуплексного типа [2] со средним размером зерен матричной γ -фазы и выделениями δ -фазы менее 1 мкм.

Сварку давлением осуществляли при температуре 850°C. Для исследований микроструктуры и оценки микротвердости в зоне ТФС образцы вырезались на электроэрозионном станке с последующим шлифованием.

По данным микроструктурных исследований сварных образцов ЭК61//ЭП741НП установлено, что микроструктура обоих сплавов по сравнению с исходным состоянием (перед сваркой) практически не изменилась. На Рисунке 1 представлены результаты энергодисперсионного анализа. Установлено, что в результате сварки давлением при температуре 850°C происходит изменение концентрации хрома (Cr) и кобальта (Co), что свидетельствует о формировании диффузионной зоны, ширина которой равна 10 мкм. Хрупких частиц не обнаружено.

Результаты измерений микротвердости сплавов в исходном состоянии ЭК61 и ЭП741НП, а также в зоне ТФС после сварки давлением представлены в Таблицах 1 и 2, соответственно. Микротвердость ЭП741НП после сварки давлением уменьшилась, а в сплаве ЭК61 увеличилась. В области зоны ТФС микротвердость имеет промежуточное значение сплавов. Необходимо отметить, что поскольку диаметр отпечатка

при измерениях микротвердости составляет 19-20 мкм, то в область индентирования входит не только зона ТФС, но и прилегающая область основного материала. Тем не менее, при переходе от сплава ЭК61 к сплаву ЭП741НП микротвердость изменяется монотонно.

Прочность сварных соединений ЭК61//ЭП741НП при комнатной температуре составила 646 МПа, что составляет 0,43 от прочности сплава ЭК61.

Табл. 1 - Микротвердость исходных состояний сплавов ЭК61 и ЭП741НП

| ЭК61 | ЭП741НП |
|--------------|--------------|
| 314±18,32 HV | 584±45,35 HV |

Табл. 2 - Микротвердость сплавов ЭК61 и ЭП741НП после сварки давлением

| ЭК61 | В области зоны ТФС | ЭП741НП |
|-------------|--------------------|-------------|
| 347±18,7 HV | 405,9±23,4 HV | 422±15,6 HV |

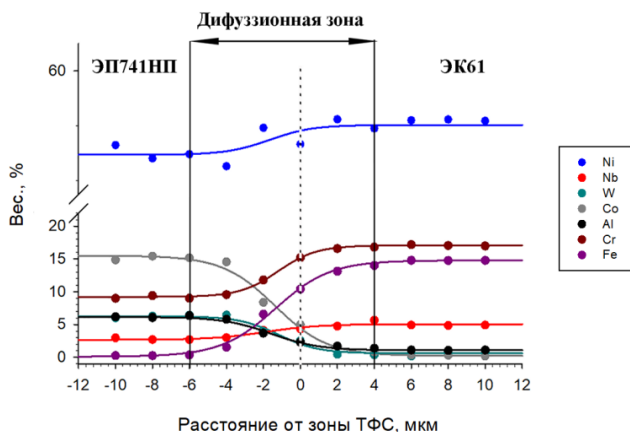


Рис. 1. Распределение легирующих элементов в зоне ТФС

Работа выполнена в рамках госзадания ИПСМ РАН № 124022900007-9 Микроструктурные исследования осуществляли на оборудовании Центра Коллективного Пользования ИПСМ РАН.

Литература

1. Ч.Т. Симс, Суперсплавы II: жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных установок, В 2-х книгах. / под ред. Ч.Т. Симса, Н.С. Столоффа, У.К. Хагеля: пер. с англ. / под ред. Р.Е. Шалина, сс. 384 (Москва, Металлургия 1995).
2. Э.В. Галиева, Н.В. Батаев, В.А. Валитов, Р.Я. Лутфуллин, Фундаментальные проблемы современного материаловедения. Т. 14, № 4, с. 507-512 (2017).

© Тагирова А.А., Галиева Э.В., Классман Е.Ю., Валитов В.А., 2024

МЕХАНИЗМЫ ДЕФОРМАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛА Ni С КОМПОЗИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ ГРАФЕН/Ni ПРИ ОДНООСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Сегодня активно ведутся исследования в области разработки композитных материалов с новой архитектурой, которые обладают улучшенными физико-механическими свойствами [1]. В работе [2] был предложен способ получения композита графен/металл, состоящей из графеновой сетки, заполненной наночастицами Ni, который демонстрирует высокую прочность и пластичность. За счет сочетания уникальных механических свойств, композит графен/Ni может стать одним из эффективных упрочняющих и защитных нанопокровов, применяемых в авиационной промышленности и машиностроении. В связи с этим целью данной работы является исследование методом молекулярной динамики механизмов деформации и упрочнения монокристалла Ni с композитным покрытием графен/Ni разной толщины при одноосном нагружении.

В результате моделирования выявлено, что композитное нанопокров демонстрирует прочную связь с поверхностью монокристалла Ni. Показано, что разрушение исследуемых структур начинается с разрыва композитного нанопокров графен/Ni независимо от толщины. Деформация композитного покров протекает за счет разрыва и трансформации углеродных связей в графеновой сетке. Установлено, что чем больше толщина нанопокров тем выше предел текучести, модуль Юнга и предел прочности на растяжение, но ниже пластичность структур. Результаты исследования показывают, что композит графен/Ni является перспективным нанопокровом для никелевых поверхностей.

Литература

1. Baimova, J.A., Shcherbinin, S.A. Metal/Graphene Composites: A Review on the Simulation of Fabrication and Study of Mechanical Properties. // Materials, 2023, v. 16, pp. 202.
2. Safina, L.R., Krylova, K.A., Baimova, J.A. Molecular dynamics study of the mechanical properties and deformation behavior of graphene/metal composites. // Mater. Today Phys., 2022, v. 28, pp. 100851.

МИКРОСТРУКТУРА И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА СИСТЕМЫ NI-MN-GA В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ

Интерметаллидные сплавы, именуемые сплавами Гейслера, имеют множество функциональных эффектов, таких как магнитокалорический эффект [1] и ферромагнитный эффект памяти формы [2]. Наличие этих эффектов позволяет отнести сплавы семейства Гейслера к классу функциональных материалов. Также данные сплавы подвержены снижению эксплуатационных свойств при многоциклических фазовых превращениях вследствие накопления дефектов.

В данной работе представлены результаты исследования структуры и дифференциальной сканирующей калориметрии сплава Гейслера системы Ni-Mn-Ga.

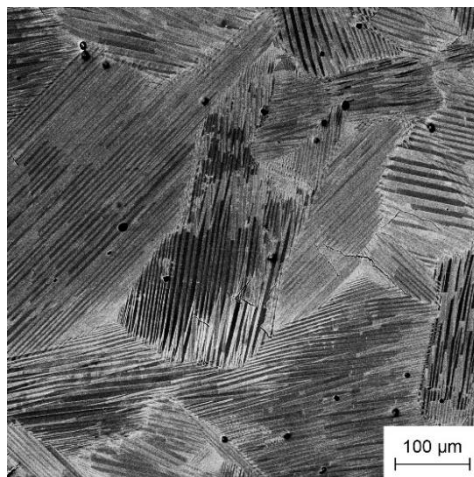


Рис. 1. Микроструктура сплава Гейслера системы Ni-Mn-Ga

Анализируя полученные снимки микроструктуры, можно сделать вывод о формировании в сплаве равноосных мартенситных колоний. Исследование результатов дифференциальной сканирующей калориметрии показало, что температура начала аустенитного

превращения $A_s \approx 77$ °С, а температура окончания мартенситного превращения M_f приблизительно равна 66 °С.

Литература

1. Yu.S. Koshkidko, E.T. Dilmieva, A.P. Kamantsev, J. Cwik, K. Rogacki, A.V. Mashirov, V.V. Khovaylo, C. Salazar Mejia, M.A. Zagrebin, V.V. Sokolovskiy, V.D. Buchelnikov, P. Ari-Gur, P. Bhale, V.G. Shavrov, V.V. Koledov. Magnetocaloric effect and magnetic phase diagram of Ni-Mn-Ga Heusler alloy in steady and pulsed magnetic fields - J.Alloys and Comp., 904, 164051 (2022). DOI:10.1016/j.jallcom. 2022.164051.

2. R. Chulist, E. Pagounis, P. Czaja, N. Schell, H.-G. Brokmeier. The example of texture influence in stress analysis - Adv. Eng. Mater., 23, 2100131 (2021). DOI:10.1002/adem.202100131.

© Кириллук К.К., Мусабилов И.И., 2024

Галиев Л.Р.,
инженер, г. Уфа
Ибатуллина А.В.,
студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук-ли: 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 И ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ СПЛАВА $\text{Ag}_{0.15}\text{Cu}_{1.81}\text{Se}$

В последнее время к халькогенидам меди наблюдается повышенный интерес в связи с перспективностью применения в термоэлектрических устройствах, солнечных элементах, катализаторах, аккумуляторах и топливных элементах [1-4]. Важным методом повышения полезных характеристик материала является допирование подходящими добавками [5-7]. Так, введение примеси приводит к снижению теплопроводности k , что повышает безразмерную термоэлектрическую эффективность материала $ZT = \alpha^2 \sigma T / k$. Проблемой при этом становится сохранение высокой проводимости σ сплава [5]. Целью данной работы является изучение теплопроводности и электронной проводимости сильно легированного серебром селенида меди.

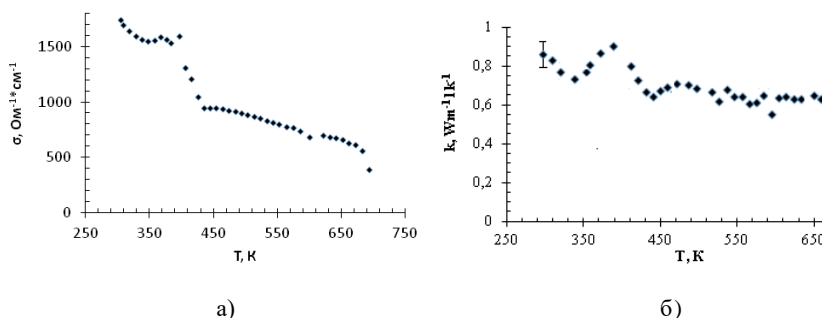


Рис. 1. Температурная зависимость эффект электронной проводимости (а) и коэффициента теплопроводности (б) сплава $\text{Ag}_{0.15}\text{Cu}_{1.81}\text{Se}$

В данной работе синтезирован методом твердотельного синтеза в аргоне и исследован селенид меди, допированный серебром, с составом $\text{Ag}_{0.15}\text{Cu}_{1.81}\text{Se}$. Для измерений готовили образцы в виде параллелепипедов размерами $2 \times 5 \times 20 \text{ мм}^3$ прессованием под давлением 2-3 т/см². Полученные

таблетки отжигали в среде аргона при 400 °С в течение 8 часов. Для измерений электропроводности использовался четырехзондовый метод измерений на постоянном токе. Теплопроводность измеряли методом сравнения с эталоном из пластинки плавленого кварца.

Результаты измерений приведены на рис. 1 и 2. Легирование серебром привело к значительному снижению теплопроводности селенида меди, не снижая электропроводности.

По результатам измерений была рассчитана основная характеристика термоэлектрика - безразмерная термоэлектрическая добротность материала ZT. Материал демонстрирует высокое значение $ZT = 0.77$ при 586 К.

Литература

1. Zhao, K.; Qiu, P.; Shi, X.; Chen, L. Recent advances in liquid-like thermoelectric materials. *Adv. Funct. Mater.* 2020, 30, 1903867
2. Kubenova M.M., Kuterbekov K.A., Balapanov M.Kh. 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., Ahmad Z., Touati F. Low-toxic, earth-abundant nanostructured materials for thermoelectric applications // *Nanomaterials*. – 2021. – V. 11. - P. 895.
4. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Кутербеков К.А., Кубенова М.М., Даниленко В.Н., Назаров К.С., Якшибаев Р.А. Термоэлектрические и тепловые свойства суперионных сплавов $Ag_xCu_{2-x}Se$ ($x=0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.25$). // «Письма о материалах», 2016. Т.6, Вып.4. с.360-365
5. Basit A., Xin J., Murtaza G., Wei L., Hameed A., Guoyu W., Dai J.Y. Recent advances, challenges, and perspective of copper-based liquid-like thermoelectric chalcogenides: A review. *EcoMat.* 2023, 5, e12391.
6. Balapanov, M.Kh.; Ishembetov, R.Kh. ; Ishembetov, S.R.; Kubenova, M.M.; Kuterbekov, K.A.; Nazarov, K.S.; Yakshibaev, R.A. Electronic and Ionic Zeebeck Coefficients in Mixed Conductors of $Ag_{0.25-\delta}Cu_{1.75}Se$, $Ag_{1.2-\delta}Cu_{0.8}Se$. *Russ. J. Electrochem.* 2017, 53 (8), 859–865.
7. М.М. Kubenova, M.Kh. Balapanov, R.Kh. Ishembetov, K.A. Kuterbekov, R.F. Almukhametov, K.Zh. Bekmyrza, A.M. Kabyshev, R.Sh. Palymbetov, L.U. Taimuratova. Thermal conductivity of new nanocomposite superionic semiconductors $K_{0.01}Cu_{1.96}S$, $K_{0.02}Cu_{1.95}S$, $K_{0.03}Cu_{1.94}S$, $K_{0.04}Cu_{1.93}S$, $K_{0.05}Cu_{1.94}S$ // *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*. – 2023. – Vol. 7 (3). – P. 197-206.

© Галиев Л.Р., Ибатуллина А.В., Ишембетов Р.Х.,
Балапанов М. Х., 2024

Аккубеков Ш.А.,
 студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Ахметгалиев Б.М.,
 асс. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
 Палымбетов Р.Ш.,
 докторант PhD ЕНУ, г. Нур-Султан
 Науч. рук-ль: Балапанов М.Х.,
 д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕРМО-Э.Д.С. НАНОКОМПОЗИТНОГО СПЛАВА $K_{0.01}Cu_{1.96}S$

В последнее время к халькогенидам меди наблюдается повышенный интерес в связи с перспективностью применения в термоэлектрических устройствах [1-4]. Важным методом повышения полезных характеристик материала является допирование подходящими добавками [5]. Так, введение примеси приводит к снижению теплопроводности k , что повышает безразмерную термоэлектрическую эффективность материала $ZT = \alpha^2 \sigma T / k$. Проблемой при этом становится сохранение высокой проводимости σ сплава [5].

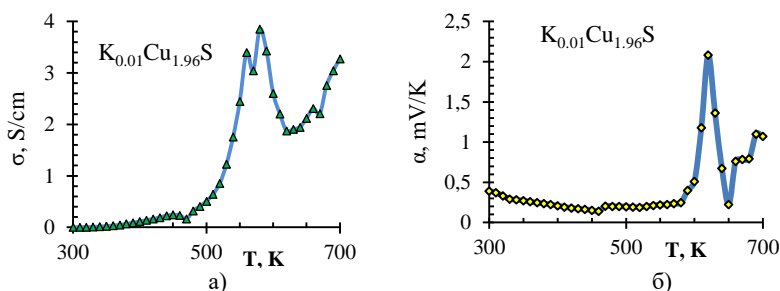


Рис. 1. Температурная зависимость эффект электронной проводимости (а) и коэффициента электронной термо-э.д.с. (б) сплава $K_{0.01}Cu_{1.96}S$

В данной работе получен методом синтеза в расплаве смеси $NaOH-KOH$ и исследован сульфид меди, допированный калием, с составом $K_{0.01}Cu_{1.96}S$. Согласно рентгенофазовому анализу, образец $K_{0.01}Cu_{1.96}S$ при комнатной температуре состоит из смеси фаз моноклинного халькоцита Cu_2S (82%), джарлеита $Cu_{1.96}S$ (12%), анилита $Cu_{1.75}S$ (6%) [4, 6, 7]. Вычисленные из полуширины рентгеновских линий размеры кристаллитов лежат в интервале от 10 - 64 нм у $K_{0.01}Cu_{1.96}S$ [6].

Для измерений электропроводности использовался четырехзондовый метод измерений на постоянном токе. Термо-э.д.с. измеряли в той же ячейке в отсутствие тока через образец. Градиент температуры составлял 10 К/см. Для исключения влияния термо-э.д.с. на результат измерений проводимости производилось два измерения при противоположных направлениях тока.

Результаты измерений приведены на рис. 1 и 2. Легирование калием привело к сильному снижению проводимости сульфида меди, в то же время повысив коэффициент термо-э.д.с. При 620 К наблюдается максимум термоэлектрической мощности образца $P = \alpha^2 \sigma$ в $8.1 \text{ мкВт} \cdot \text{м}^{-1} \text{К}^{-2}$. С учетом теплопроводности $k = 0.53 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \text{К}^{-1}$ [7] при 620 К сплав демонстрирует в максимуме высокую безразмерную термоэлектрическую эффективность $ZT = \alpha^2 \sigma T / k = 0.95$.

Литература

1. Li, X., Hu C., Kang X., Len Q., Xi Y., Zhang K. and Liu H. Introducing potassium into copper sulfide for the enhancement of thermoelectric properties // *J. Mater. Chem. A*. 2013. V.1. P. 13721- 13726.
2. Kubenova M.M., Kuterbekov K.A., Balapanov M.Kh. 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., Ahmad Z., Touati F. Low-toxic, earth-abundant nanostructured materials for thermoelectric applications // *Nanomaterials*. – 2021. – V. 11. - P. 895.
4. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Кубенова М.М. и др. Рентгенофазовый анализ, дифференциально-сканирующая калориметрия и термоэлектрические свойства нанокристаллических сульфидов меди $K_xCu_{1.97-x}S$ // *Вестник Башкирского университета*. 2021. Т. 26. № 4. С. 961-964.
5. Basit A., Xin J., Murtaza G., Wei L., Nameed A., Guoyu W., Dai J.Y. Recent advances, challenges, and perspective of copper-based liquid-like thermoelectric chalcogenides: A review. *EcoMat*. 2023, 5, e12391.
6. Ахметгалиев Б.М., Палымбетов Р. Ш., Сахабаева С.М., Балапанов М.Х. Рентгенофазовый анализ и дифференциальная сканирующая калориметрия нанокристаллических сульфидов меди $K_xCu_{1.97}S$ ($0 < x < 0.05$) // *Тез. XII Междунар. школы-конф. «Фундаментальная математика и её приложения в естествознании»*. г. Уфа, 6–9 октября 2021 г. С.162-163.
7. M.M. Kubenova, M.Kh. Balapanov, R.Kh. Ishembetov 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. of Physics and Funct. Mater.* , 2023. V. 7 (3). P. 197-206.

© Аккубеков Ш.А., Ахметгалиев Б.М.,
Палымбетов Р.Ш., Балапанов М.Х., 2024

**ВЛИЯНИЕ ВСЕСТОРОННЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ КОВКИ НА
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТИПА «ОЖЕРЕЛЬЕ» В СПЛАВЕ
ГЕЙСЛЕРА СИСТЕМЫ Ni-Mn-Ga-Cu**

Сплавы Гейслера на основе системы Ni-Mn привлекают широкое внимание исследователей благодаря наличию ферромагнитного эффекта памяти формы (ФЭПФ), магнитокалорического эффекта (МКЭ), эластокалорического эффекта (ЭКЭ) и др. Наиболее актуальным является магнитокалорический эффект как наиболее перспективный с точки зрения практического применения сплавов в качестве твердотельного хладагента в холодильных установках. Но основным препятствием для практической реализации таких установок является очень низкая механическая прочность сплавов Гейслера. При термоциклировании в интервале температур мартенситного превращения под действием напряжений образец сплава разрушается. Известно, что повышение механических свойств материала наиболее эффективно достигается за счет деформационно-термической обработки (ДТО). Однако в случае со сплавами Гейслера необходимо учитывать, что обработка может значительно уменьшить величину функциональных эффектов. Поэтому структура сплава после ДТО должна отличаться не только повышенной прочностью, но и достаточной величиной функционального эффекта. Ранее авторами уже было показано значительное увеличение циклической прочности сплава системы Ni-Mn-Ga-Si [1].

В данной работе представлены результаты исследования микроструктуры в поликристаллическом сплаве Гейслера $Ni_{50}Mn_{18.5}Ga_{25}Cu_{6.5}$ в исходном литом состоянии и после ДТО методом всесторонней изотермической ковки (ВИК) при $700^{\circ}C$ и степени деформации $\epsilon=2,59$.

На рис. 1 представлена микроструктура сплава в исходном литом и ковном состоянии. Съемка структуры выполнена при комнатной температуре в режиме ориентационного контраста.

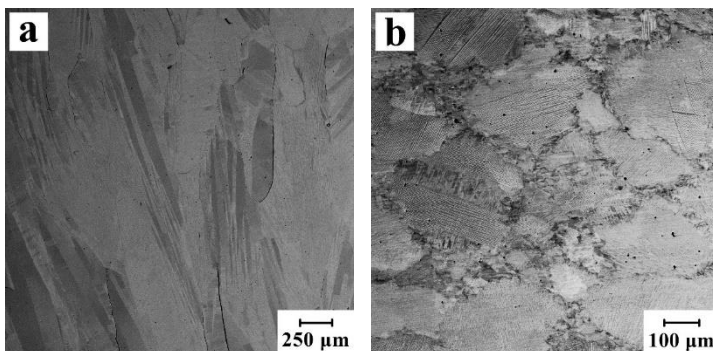


Рис. 1. Микроструктура сплава $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{18.5}\text{Ga}_{25}\text{Cu}_{6.5}$ в исходном литом (а) и кованном состоянии (b)

Как видно из рис. 1а, структура сплава после аргоно-дуговой выплавки на медном водоохлаждаемом тигле характеризуется крупными вытянутыми кристаллами размерами порядка 1 мм, в теле которых наблюдаются контрастные полосы, которые представляют собой мартенситные пластины. Следовательно, мартенситное превращение в сплаве протекает выше комнатной температуры.

В результате ДТО исходная микроструктура трансформируется в двухкомпонентную микроструктуру типа «ожерелье», в которой крупные зерна размером порядка 200-300 μm окружены прослойкой мелкозернистой микроструктуры с размерами фрагментов около 20-30 μm (рис. 1б). В теле как крупных, так и мелких зерен наблюдаются мартенситные пластины, что свидетельствует о том, что во все объеме образца после ВИК при 700°C реализуется мартенситное превращение.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПСМ РАН.

Литература

1. Musabirov I.I., Safarov I.M., Galejev R.M., Afonichev D.D., Gaifullin R.Y., Kalashnikov V.S., Dilmieva E.T., Koledov V.V., Taskaev S.V., Mulyukov R.R. Trans. Indian. Inst. Met. 74, 2481 (2021). DOI:10.1007/s12666-021-02349-9

© Гайфуллин Р.Ю., Мусабилов И.И., 2024

СТРУКТУРНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КОБАЛЬТЕ, ПОЛУЧЕННОМ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Нанокристаллические материалы представляют большой научный и практический интерес из-за их необычных физических свойств [1]. Несмотря на многочисленные исследования, природа процессов, протекающих в нанокристаллических материалах, изучена недостаточно. В данной работе проведены рентгеновские, электронно-микроскопические исследования, а также исследования твердости нанокристаллического кобальта. Образцы получены методом интенсивной пластической деформации на наковальнях Бриджмена под давлением 7 ГПа при комнатной температуре поворотом бойка на 5 оборотов.

Рентгеновским методом и методом электронной микроскопии исследованы размеры кристаллитов и величина микродеформаций в зависимости от температуры отжига. Установлено, что отжиг при температурах от комнатной до 350-450 °С приводит к незначительному росту размеров кристаллитов (от 25 нм до 50 нм). Микродеформации в этом интервале уменьшаются значительно от $3 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-4}$. Отжиг при температурах выше 450 °С сопровождается скачкообразным ростом размеров кристаллитов и незначительным изменением микродеформаций [2]. На основании рентгеновских, электронно-микроскопических исследований и исследований твердости сделано заключение о том, что отжиг при температурах до ~450 °С сопровождается возвратом, а выше этой температуры – рекристаллизацией. Установлено, что пластическая деформация приводит к задержке перехода высокотемпературной ГЦК фазы кобальта в низкотемпературную ГПУ фазу при его охлаждении ниже температуры фазового перехода. Показано, что задержка фазового перехода связано с уменьшением размеров кристаллитов при пластической деформации ниже критического размера зародыша новой фазы [3-5].

Установлено, что ширина рентгеновских линий (W) в зависимости от температуры отжига описывается функцией Аррениуса. На зависимостях $\ln W = f(1/T)$ наблюдаются два прямолинейных участка, соответствующие возврату и рекристаллизации. При температуре $T \sim 300^\circ\text{C}$

на графиках $\ln W = f(1/T)$ происходит скачкообразное изменение угла наклона, связанное с началом рекристаллизации. Предложено теоретическое объяснение наблюдаемых экспериментальных зависимостей $\ln W = f(1/T)$. На основе рентгеновских данных нами были определены значения энергии активации наблюдаемых процессов. В области возврата наши данные значительно меньше, чем энергия активации зернограницной диффузии в металлах. В литературе также имеются заниженные значения энергии активации диффузии, полученные разными методами для нанокристаллических материалов. Мы полагаем, что возможной причиной этого является высокая дефектность образцов, полученных методом интенсивной пластической деформации. Наши данные близки с энергией активации поверхностной диффузии кобальта, найденной для тонких пленок $Q=0.14$ эВ [6]. Для области рекристаллизации наши данные значительно меньше энергии активации самодиффузии в крупнокристаллических металлах и кобальте (2.69 эВ) [7]. Причиной этого также является высокая концентрация дефектов в образце.

Литература

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 272 с. (2000).
2. Альмухаметов Р.Ф., Габдрахманова Л.А. // ФТТ. 2013. Т. 55. № 1. С. 7-9.
R.F. Almukhametov, L.A. Gabdrakhmanova, I.Z. Sharipov, I.I. Musabirov, R.Kh. Khisamov. New X-ray approach to the study of structural transformation in nanocrystalline cobalt // Вестник Башкирского университета. – 2014. – Т. 19. – № 2. – С. 385-389.
3. Almukhametov R. Structural studies of plastically deformed cobalt / R. Almukhametov, L. Gabdrakhmanova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. Vol. 447 – P.012081.
4. L.A. Gabdrakhmanova, K.M. Mukashev, A.D. Muradov, F.F. Umarov, G.Sh. Yar-Mukhamedova. Intensive Plastic Deformation Influence on Phase Relations of Cobalt Nanocrystals // J. Nano- Electron. Phys. – 2020. Vol. 12, № 1 – P.01010-1 – 01010-6.
5. L.A. Gabdrakhmanova, K.M. Mukashev, F.F. Umarov, A.D. Muradov, G.Sh. Yar-Mukhamedova. Evolution of a nanocrystalline structure of the cobalt metal in annealing // J. Nano- Electron. Phys. – 2020. Vol. 12, № 6 – P.06027-1 – 06027-6.
6. Prasad J.J.B., Reddy K.V. // Bull. Mater. Sci. 1985. V. 7. P. 15-20.
7. Бокштейн С.З. Диффузия и структура металлов. – М.: Металлургия, 208 с. (1973).

© Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф., 2024

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА AL-Ti

В различных видах промышленности идет тенденция на увеличение использования композиционных материалов. Данная тенденция обусловлена их физическими свойствами. Композиты имеют хорошие эксплуатационные свойства: такие как высокая прочность при высокой пластичности, сохранение эксплуатационных свойств при меньшем удельном весе и др.

Мы считаем, что получение композита методом интенсивной пластической деформации, является одним из самых удобных, так как не имеет многих недостатков, проявляющихся при других методах. Они не страдают от высокой пористости получающийся при порошковом методе изготовления композитов, неравномерным распределением композита как при литейном методе.

В качестве матрицы композита был выбран алюминий. Так как он часто используется в качестве легкого конструкционного материала, более того композиты на основе алюминия легче получать, из-за его свойств при взаимодействии с другими металлами, а именно их низкой растворимости в нём, что дает нам гетерогенность матрицы и упрочнителя – основное условие существования композита.

Титан был выбран из-за его физических свойств и повсеместном использовании в разных видах промышленности от медицинской до военной.

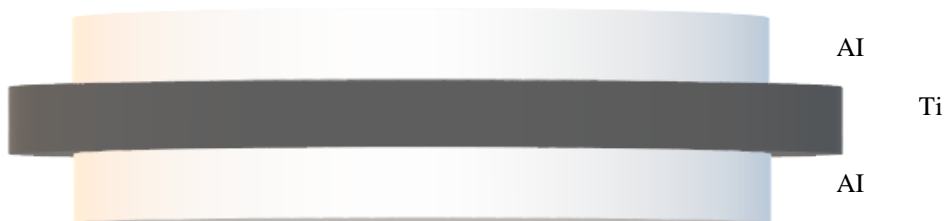


Рис. 1. Пример упаковки пластинок Al-Ti-Al

Получение композита: с помощью электроэрозионного станка АРТА 120 нарезали заготовки Al и Ti диаметром 10 и 12 мм соответственно.

После этого полученные заготовки подвергали шлифовке на наждачной бумаге с зернистостью 600. Отшлифованные заготовки укладывали на наковальню Бриджмена схемой Al-Ti-Al, затем заготовки сдавливали под высоким давлением и одну из наковален приводили во вращение. Давление было равно 1200kN. А количество и скорость оборотов 50 и 3об/мин соответственно.

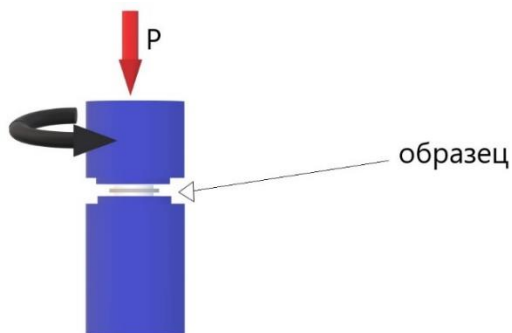


Рис. 2. Принципиальная схема работы прессы

В дальнейшем мы планируем узнать механические свойства композита Al-Ti и сравнить их с табличными данными исходных Al и Ti

Литература

1. Золоторевский, В.С. Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский. – М.: МИСИС. 1998
2. Назаров К. С. и др. Ионное распыление металломатричного композита Al-Cu полученного деформацией методом сдвига под давлением //Взаимодействие ионов с поверхностью ВИП-2019. – 2019. – С. 106-109.

© Ибрагимов М.Р., Назаров К.С., 2024

Гатауллина Я.Р.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Латыпова О.Э., м.н.с., ИПСМ РАН, г. Уфа
Автокротова Е.В., к.т.н., с.н.с., ИПСМ РАН, г. Уфа
Маркушев М.В., д.т.н., зав лаб. ИПСМ РАН г. Уфа
Науч. рук. Ситдииков О.Ш.,
к.ф.-м.н., с.н.с. ИПСМ РАН, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ ВСЕСТОРОННЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ КОВКИ НА СТРУКТУРУ И СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ Al-Mg-Sc-Zr СПЛАВА

Актуальной задачей материаловедения алюминиевых сплавов является повышение их технологической пластичности, в особенности труднодеформируемых сложнолегированных сплавов. Одним из способов ее решения является перевод сплавов в состояние сверхпластичности (СП) путем придания им ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры [1].

Цель исследования - оценить структуру и характеристики СП сплава 1570С (Al-5Mg-0,18Mn-0,2Sc-0,08Zr-0,01Si-0,01Fe (вес. %)), подвергнутого всесторонней изотермической ковке (ВИК), а также установить оптимальные температурно-скоростные режимы СП и обеспечивающие их структурные факторы.

Установлено, что в результате ВИК при температуре 325°C до степени деформации $\epsilon=12$, в сплаве формируется однородная УМЗ структура, на 90% состоящая из мелких зерен размером 2,2 мкм, и с долей высокоугловых границ около 80%. Испытания на растяжение показали, что сплав с такой структурой проявляет высокие сверхпластические свойства в диапазоне температур 400-500°C и скоростей деформации 10^{-3} - 10^{-1} с⁻¹ с удлинениями более 500% (рис. 1а) и коэффициентом скоростной чувствительности напряжений течения m до 0,6 (рис. 1б). Максимальные удлинения достигали почти 2800 % и были зафиксированы при температуре 450°C и скорости $5,6 \times 10^{-3}$ с⁻¹. Основной причиной уникально высоких сверхпластических удлинений являлась высокая термическая стабильность УМЗ структуры, обусловленная наличием в матрице сплава высокой плотности наноразмерных выделений Al₃(Sc,Zr).

В процессе растяжения в сплаве формировалась динамически рекристаллизованная структура с зернами той же дисперсности, но с большей долей высокоугловых границ и большим средним углом разориентировки межкристаллитных границ. При этом зерна также увеличивались в размере и вытягивались в направлении растяжения. К моменту разрушения коэффициент формы зерен достигал типичного для

сверхпластической деформации значения - 1,7 [1]. Было показано, что основной причиной разрушения сплава при растяжении было связано с порообразованием.

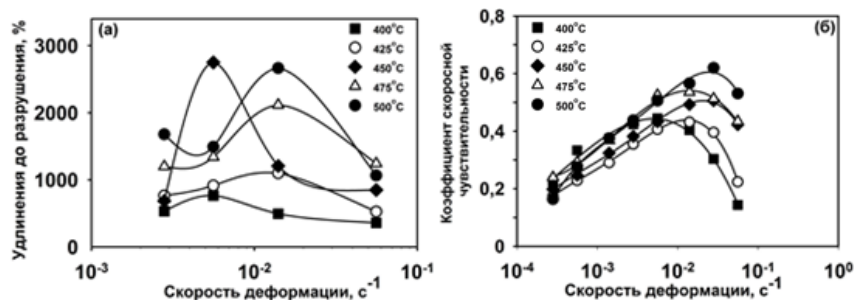


Рис. 1. Зависимости удлинений (а) и коэффициента скоростной чувствительности (б) от скорости деформации ВИК сплава 1570С

Сделан вывод о том, что ВИК, как метод измельчения зерен, обладает значительным потенциалом для перевода сплавов типа 1570С в состояние СП с проявлением высоких удлинений в чрезвычайно широком диапазоне скоростей и температур деформирования. Этот результат обеспечивается высокой термической стабильностью получаемой УМЗ структуры и активным зернограничным проскальзыванием.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с государственным заданием ИПСМ РАН.

Литература

1. Мулюков Р.Р., Имаев Р.М. и др.; под ред. Мулюков Р.Р., Имаев Р.М., Назарова А.А., Имаев В.М., Имаев М.Ф. Сверхпластичность ультрамелкозернистых сплавов: Эксперимент, теория, технологии. Москва: Наука, 284 с., (2014).

© Гатауллина Я.Р., Латыпова О.Э., Автократова Е.В., Маркушев М.В., Ситдииков О.Ш., 2024

Адельгареева И.И.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Ситдииков О.Ш.,
к.ф.-м.н., с.н.с. ИПСМ РАН, г. Уфа
Маркушев М.В.,
д.т.н., зав. лаб. ИПСМ РАН, г. Уфа
Науч. рук.: Автократова Е.В.,
к.т.н., с.н.с. ИПСМ РАН, г. Уфа

МИКРОСТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ ХОЛОДНОКАТАНОГО УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО СПЛАВА 1570С ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

Исследовали влияние нагартовки и последующей обработки короткими импульсами электрического тока высокой плотности на микроструктуру и твердость ультрамелкозернистого (УМЗ) алюминиевого сплава 1570С, содержащего наноразмерные дисперсоиды $Al_3(Sc,Zr)$. УМЗ структуру с размером зерен 2,3 мкм получали тепловой всесторонней изотермической ковкой слитка. Заготовки, вырезанные из поковки, подвергали прокатке до общей степени обжатия $\sim 80\%$ при комнатной температуре. Электроимпульсную обработку (ЭИО) проводили на образцах с размерами рабочей части $6 \times 3 \times 2$ мм³. Длительность импульса составляла ~ 100 мкс при интегральной плотности тока в диапазоне от 0,34 до $1,23 \times 10^5$ А²с/мм⁴.

При холодной прокатке УМЗ сплав нагартовывался, что приводило к росту его твердости со 105 до 150 НВ (рис. 1). При последующей же электроимпульсной обработке сплав разупрочнялся за счет активации статических процессов возврата и рекристаллизации. Так после ЭИО

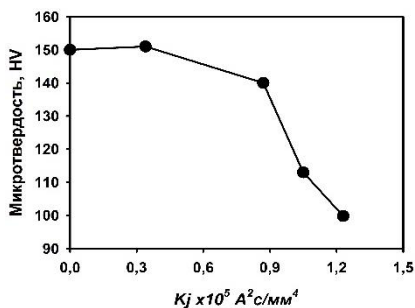


Рис. 1. Зависимость микротвердости холоднокатаного УМЗ сплава 1570С от интегральной плотности тока при ЭИО

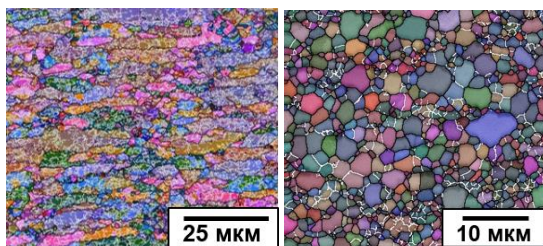


Рис. 2. Структура ультрамелкозернистого сплава 1570С после холодной прокатки (а) и последующей электроимпульсной обработки с $K_j=1,23 \times 10^5 \text{ A}^2\text{c}/\text{мм}^4$ (б)

с плотностью тока $0,87 \times 10^5 \text{ A}^2\text{c}/\text{мм}^4$ твердость сплава снизилась до 140 НV, а структура, хотя и оставалась преимущественно нагартованной с высокой плотностью дислокаций, содержала и отдельные новые зерна размером 100-200 нм. С дальнейшим повышением энергии импульса твердость сплава снижалась интенсивнее до исходной (рис. 1). Такое поведение сплава было обусловлено повышением доли рекристаллизованной структуры до 60%, состоящей преимущественно из ультрамелких зерен со средним размером около 1,5 мкм (рис. 2).

Сделано заключение о том, что обработка, основанная на сочетании холодной прокатки и последующей однократной ЭИО короткими импульсами тока высокой плотности, является эффективным способом измельчения субзерен и зерен вплоть до нанодиапазона, и имеет высокий промышленный потенциал для изготовления листов с контролируемой степенью гетерогенности (бимодальности) структуры матрицы дисперсно-упрочняемых алюминиевых сплавов, комплексно легированных переходными металлами.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в соответствии с государственным заданием ИПСМ РАН.

© Адельгареева И.И., Ситдииков О.Ш.,
Маркушев М.В., Автократова Е.В., 2024

ЗОННАЯ СТРУКТУРА Cu_2S

Халькогениды меди проявляют высокую ионную проводимость наряду с преобладающей электронной проводимостью, что обуславливает их широкое применение в качестве рабочих элементов различных полупроводниковых устройств (термогенераторы, катодные материалы и т.д.).

Расчет зонной структуры Cu_2S в тетрагональной фазе $I\bar{4}2d$ был выполнен с помощью программы BIOVIA Materials Studio DMol³, которая основана на применении теории функционала электронной плотности [1]. При расчете данные для кристаллической структуры были использованы из базы данных Materials Project [2].

Анализ полученных результатов расчета зонной структуры (рис. 1) и плотности состояний (рис. 2) показывает сложный гибридный характер энергетических уровней. Уровень Ферми соответствует 0 эВ. Наибольшая плотность энергетических уровней наблюдается для интервала от -6,5 до -2 эВ, в которую преимущественный вклад оказывают d-состояния катионов меди. Около уровня Ферми с наибольшей вероятностью расположены p-электроны серы и d-электроны меди.

На основе расчета зонной структуры сульфида меди Cu_2S можно сделать вывод, что данное соединение имеет зонную структуру, характерную для металлов.

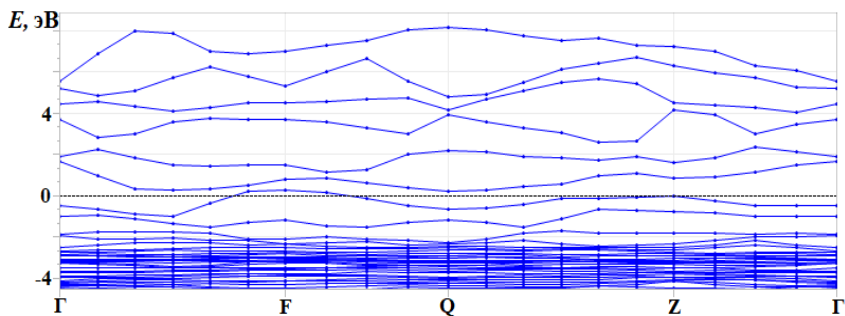


Рис. 1. Зонная структура Cu_2S

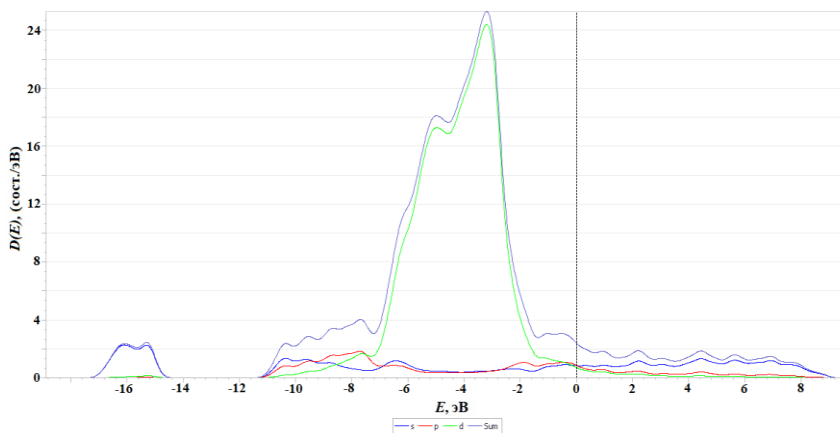


Рис. 2. Плотность электронных состояний Cu_2S

Литература

1. <https://biovia-materials-studio-2017.updatestar.com/>
2. <https://materialsproject.org/>

© Латыпова А.Р., Давлетшина А.Д., 2024

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА И БИОФИЗИКА»

УДК 53

Хасанова И.Я.,
студ. 1 к. педиатрического фак. БГМУ, г. Уфа
Кутлуева А.И.,
студ. 1 к. педиатрического фак. БГМУ, г. Уфа
Науч. рук.: Зелеев М.Х.,
к.ф.-м.н., доц. БГМУ г. Уфа

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА

Ультразвуковая диагностика (УЗИ) — это широко распространенный метод исследования, использующий звуковые волны высокой частоты, уровень отражения которых отличается от тканей организма разной плотности. С помощью ультразвукового аппарата можно получить информацию о локализации, форме, размерах, структуре и двигательной активности внутренних органов. Это один из относительно простых в исполнении, доступных и достоверных способов диагностики. Он безопасный, безболезненный, не оказывает отрицательного влияния на организм.

УЗИ используется во многих направлениях медицины. Это исследование относится к стандартным скрининговым методам для обнаружения различных патологий и заболеваний.

В качестве высокоточного способа диагностики УЗИ применяется с целью обнаружения заболеваний органов брюшной полости, забрюшинного пространства, женской и мужской репродуктивной системы, молочных желез, сердца, сосудов, плода. В связи с технической простотой и быстротой исполнения метод востребован и для диагностики экстренных состояний, являющихся показанием к оперативному лечению, в частности при остром воспалительном процессе желчного пузыря, поджелудочной железы, тромбозе сосудов.

Современные технологии УЗИ превзошли все ожидания пользователей. По сравнению с первыми диагностическими устройствами они отличаются:

- Многофункциональностью. Ультразвуковые системы экспертного класса позволяют исследовать практически весь организм пациента и обнаруживать любые заболевания на самых ранних стадиях развития. Новые УЗИ-аппараты оснащены множеством полезных функций, которые существенно облегчают задачи врача-диагноста и обеспечивают экспертное обследование, максимально достоверные результаты.

- Использование продвинутой технологии. Для качественной диагностики и визуализации системы оснащены новейшим программным обеспечением, которое постоянно совершенствуется и обновляется.
- Возможностью использовать большое количество датчиков.
- Высоким качеством визуализации. Для более высокого качества визуализации мелких деталей современные ультразвуковые сканеры оснащены высококачественным монитором, где можно увидеть малейшие изменения тканей исследуемого органа.

Анализ проведенных данных УЗИ исследований в России за последние 10 лет приведены на рис. 1.

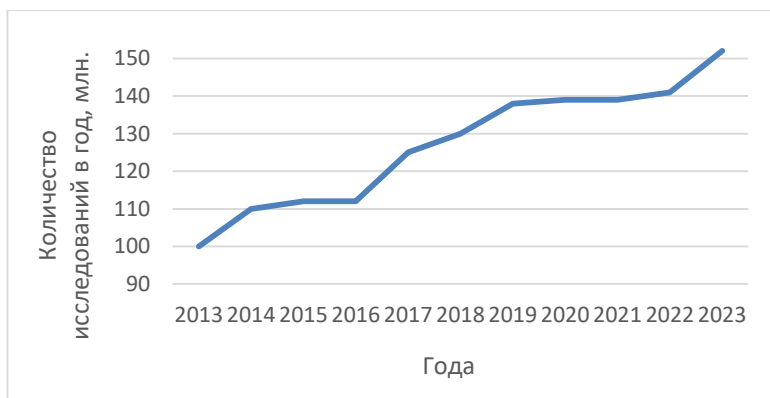


Рис. 1. Показатели статистики УЗИ исследований в России за последние 10 лет

Согласно графику, количество исследований увеличивалось с каждым годом. В 2013 году количество исследований составляло 100 млн., за 2023 год – 152 млн. В процентном соотношении увеличение за 10 лет составляет 52%.

Таким образом, в настоящее время ультразвуковой метод нашел широкое диагностическое применение и стал неотъемлемой частью клинического обследования больных за счёт своей простоты, хорошей информативности, дешевизны и безопасности использования относительно других методов лучевой диагностики (даже для беременных и детей).

Литература

1. Клиническая ультразвуковая диагностика. Мухарлямов Н.М., Беленков Ю.Н., Атьков О.Ю. Изд. Медицина, 1987.

© Хасанова И.Я., Кутлуева А.И., Зелеев М.Х., 2024

Губачева О.Н.,
студ. 1 к. педиатрического фак. БГМУ, г. Уфа
Фазылов Д.И.,
студ. 1 к. педиатрического фак. БГМУ, г. Уфа
Науч. рук.: Зелеев М.Х.,
к.ф.-м.н., доц. БГМУ, г. Уфа

АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ ПОЛИПОВ ЭНДОМЕТРИЯ

Полип эндометрия, известный как полип в матке - доброкачественное образование, которое образуется из-за избыточного роста слизистой оболочки органа. Размеры полипов могут варьироваться от 1-2 мм до 10-80 мм. Чаще всего заболевание протекает бессимптомно и обнаруживается при проведении профилактического осмотра.

Факторы, которые способствуют образованию полипов эндометрия:

1. Начало менструации в раннем возрасте (до 12 лет);
2. Позднее наступление менопаузы (после 50 лет);
3. Увеличение количества эндокринных заболеваний (сахарный диабет 2 типа, избыточная масса тела, различные патологии щитовидной железы, неоднократные выскабливания полости матки.

Клинические проявления полипов эндометрия:

1. Нарушения менструального цикла;
2. Кровянистые выделения до и после менструации;
3. Боли схваткообразного характера внизу живота [1].

Для выявления полипов эндометрия проводят ультразвуковое исследование органов малого таза. Если возникают характерные изменения, врач назначает гидросонографию (рис. 1).

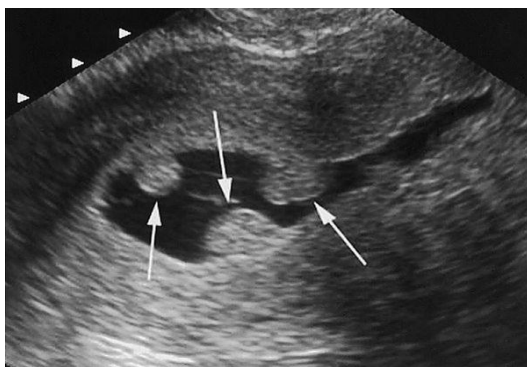


Рис. 1. Гидросонография. Полипы эндометрия

Гистерорезектоскопия – это удаление миом, полипов и других новообразований полости матки с использованием современного эндоскопического оборудования. В процедуре используется эндоскопическая трубка с источником света, видеокамерой и миниатюрным электрохирургическим инструментом, что позволяет провести диагностику и лечение заболевания в одной процедуре [2].

Противопоказания для проведения гистерорезектоскопии:

- Острые или хронические воспалительные заболевания половых органов (кольпит, эндометрит, цервицит и другие);
- Онкологические заболевания половой системы на последних стадиях, метастазы в органах малого таза;
- Обильное маточное кровотечение.

В рамках исследований, мы предлагаем следующий алгоритм контроля эффективности лечения:

- Каждые три месяца в течение года проводить ультразвуковое исследование органов малого таза.
- При необходимости выполнять аспирационную биопсию эндометрия, а также проводить контрольную гистероскопию и взятие образца эндометрия для гистологического исследования.
- В течение года наблюдать за пациентом.

Профилактика полипов эндометрия:

1. При возникновении жалоб (нарушение менструального цикла, боли схваткообразного характера внизу живота, кровянистые выделения до и после менструации т.д.) обратиться к врачу акушер-гинекологу.
2. Своевременное лечение воспалительных заболеваний половых органов.
3. Если у вас нет жалоб, рекомендуется посещать акушер-гинеколога ежегодно и проходить ультразвуковое исследования женских половых органов с 18 лет.

Литература

2. Берека Дж. Гинекология по Эмилю Новаку / Дж. Берека, И. Адаши, П. Хиллард. – М.: Практика, 2002.
3. Вишневская Е.Е. Предопухольные заболевания и злокачественные опухоли женских половых органов. – Минск: Вышэйшая школа, 2012.

© Губачева О.Н., Фазылов Д.И., Зелеев М.Х., 2024

СЕКЦИЯ «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

УДК 539.23

Юмалин Т.Т.,
асп. 3-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ГАЗОВЫЙ СЕНСОР

Композиты на основе органических материалов получили распространение благодаря своим уникальным свойствам и частичной биоразлагаемости, особенно в качестве чувствительных материалов или сенсоров для обнаружения различных газов [1-4]. Одним из таких представляющих интерес газов является окись углерода (СО). Вдыхание даже небольших концентраций угарного газа (до 1000 мг/м^3) приводит к появлению таких симптомов, как головная боль, головокружение, тошнота, приятное чувство эйфории, выводящих из строя лиц, не имеющих возможности своевременно покинуть зону поражения. Длительное воздействие (2–3 месяца) СО в концентрациях $10\text{--}50 \text{ мг/м}^3$ может привести к хроническому отравлению угарным газом.

Целью данного исследования является разработка высокочувствительного электронного датчика газа для обнаружения угарного газа при комнатной температуре. Пленки были изготовлены из раствора полимера, содержащего оксид графена и углеродные нанотрубки. Исследована морфология поверхности тонких полимерных пленок и проведен спектрально-химический анализ. Измерены вольтамперные характеристики датчиков и разработано решение Интернета вещей (IoT) для удаленного мониторинга. На основе полимера с добавками УНТ и оксида графена были изготовлены образцы резистивных тонкопленочных структур и измерены вольтамперные характеристики (ВАХ). Также была изучена зависимость тока, проходящего через образец (напряжение на контактах 5 В), от концентрации окиси углерода, как показано на рисунке 1. Изготовленные датчики помещались в контролируемую среду с варьирующейся концентрацией СО (от 1 ppm до 1000 частей на миллион). Электрическое сопротивление датчиков измерялось подходящей методикой (метод одиночного зонда с контрольным датчиком) при воздействии СО различных концентраций. Изменение сопротивления отражает взаимодействие между молекулами СО и материалом датчика, что позволяет обнаруживать СО.

Датчик показал повышенную чувствительность, отличную воспроизводимость, длительную стабильность, хорошую селективность и

высокую чувствительность к угарному газу, вредному для организма человека газу, вызывающему необходимость контроля концентрации в окружающей среде из-за отсутствия запаха и бесцветности, представляющего угрозу для здоровья человека.

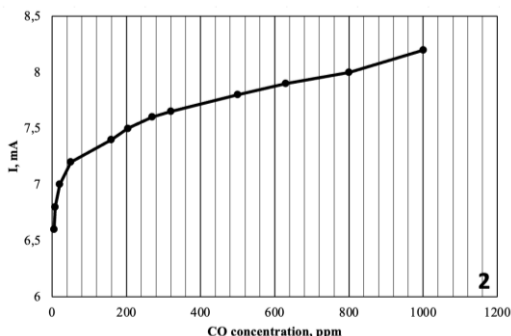


Рис. 1. Вольтамперная характеристика оксида графена (1), зависимость тока, протекающего через пленки, от концентрации угарного газа (2), при $U=5В$ и при комнатной температуре

Литература

1. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller / R. B. Salikhov, V. Kh. Abdrakhmanov, T. T. Yumalin // International Ural Conference on Electrical Power Engineering : Proceedings – 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2021, Magnitogorsk, 24–26 сентября 2021 года. – Magnitogorsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2021. – P. 229-233.

2. Юмалин, Т. Т. Исследование сенсорных свойств производных полианилинов UG-114 и UG-115 // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах : материалы VIII Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Уфа, 22–23 апреля 2022 года. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2022. – С. 86-87.

3. 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.

4. Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Mullagaliev, I. N., Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, 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.

© Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., 2024

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОИНТЕРКАЛИРОВАННЫХ ГРАФИНОВЫХ СЛОЕВ

Углеродные материалы в зависимости от кристаллографической размерности могут быть нульмерными, одномерными, двумерными и трехмерными [1]. Представителями группы двумерных углеродных материалов являются алмазоподобные бислои [2,3] и графеноподобные соединения, в частности графиновые слои [3]. С модельной точки зрения графиновые соединения представляют собой слои графена, в которые внедрены фрагменты карбиновых цепочек с четным числом sp-гибридизированных атомов углерода. Благодаря наличию линейных звеньев, структура графинов является пористой, что позволяет модельно построить на их основе углеродные соединения с ковалентно-ван-дер-ваальсовым типом связей, состоящие из взаимопроникающих слоев. Такие соединения называются автоинтеркалированными [4]. Данная работа посвящена теоретическому исследованию структуры автоинтеркалированных графиновых слоев.

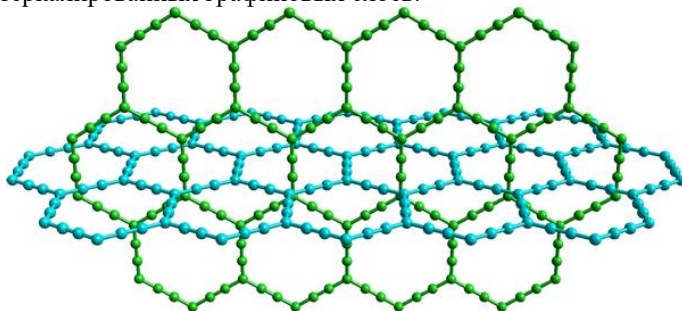


Рис. 1. Фрагмент структуры одномерного автоинтеркалированного соединения, построенный на основе слоев α -графина-1 (зеленым и синим цветами показаны атомы соседних графиновых слоев)

Модельное построение одномерных автоинтеркалированных (АИ) соединений осуществлялось посредством взаимного проникновения кристаллических решеток двух аналогичных графиновых слоев-предшественников под углом 90° (рис. 1). В зависимости от направления оси взаимного проникновения графиновых слоев, АИ-соединения могут быть двух типов. В структурах I типа слои проникают друг в друга вдоль примитивного вектора их кристаллических решеток, в соединениях II типа

– перпендикулярно этому вектору. Геометрическая оптимизация структуры соединений из взаимопроникающих графитовых слоев осуществлялась с помощью полуэмпирического квантово-механического метода PM7 [5]. Установлено, что графитовые слои в структуре одномерных АИ-соединений имеют плоскую форму (рис. 2). Параметры трансляции автоинтеркалированных графитов близки к соответствующим параметрам исходных слоев, так как среднее отклонение в их значениях составляет 0.3 %. Анализ энергетических характеристик показал, что наиболее устойчивым должен быть АИ α -графин-1 I типа, поскольку разность его полной энергии и энергии изолированных слоев-предшественников в пересчете на единицу длины АИ-соединения составляет -0.16 ккал-моль/Å.

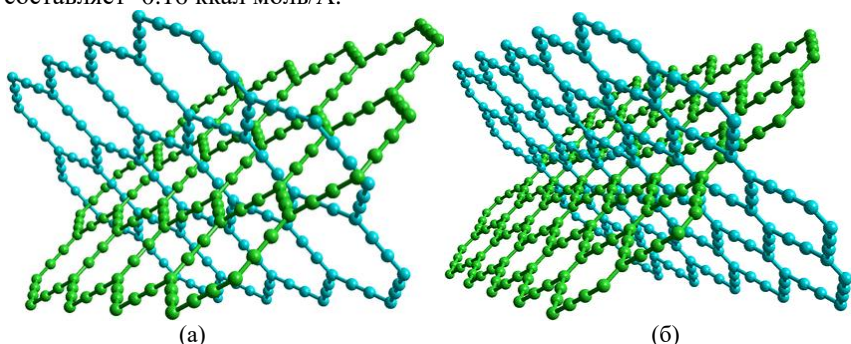


Рис. 2. Геометрически оптимизированная структура автоинтеркалированных соединений: (а) α -графин-1 I типа, (б) β 2-графин-1 I типа

Литература

1. Беленков Е.А., Грешняков В.А. Классификация структурных разновидностей углерода // ФТТ, 2013. Т. 55. С. 1640-1650.
2. Грешняков В.А., Беленков Е.А. Структура, электронные свойства и устойчивость углеродных бислоев из атомов в sp^3 -гибридизированных состояниях // ЖЭТФ, 2021. Т. 160. С. 873-884.
3. Belenkov E.A., Greshnyakov V.A., Mavrinskii V.V. Ab initio calculations of layered compounds consisting of sp^3 or $sp+sp^2$ hybridized carbon atoms // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics, 2021, V. 12. PP. 672-679.
4. Greshnyakov V.A., Pavlik V.V. Calculations of the structure and properties of autointercalated graphyne layers // Lett. Mater., 2023, V. 13. PP. 323-328.
5. Stewart J. J. P. Optimization of parameters for semiempirical methods VI: More modifications to the NDDO approximations and re-optimization of parameters // J. Mol. Model., 2013, V. 19. PP. 1-32.

© Павлик В.В., Грешняков В.А., 2024

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ПОРИСТОСТЬЮ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ ТРИПТОФАНА

Триптофан или β - (β -индолил)- α -аминопропионовая кислота является одной из жизненно важных аминокислот для организма человека. Существует в виде 2 форм: L- и D-энантиомеры, которые различаются по своим биохимическим свойствам. Недостаток L-Тгвв организме может вызывать нарушение сна, выпадение зубов, сильное похудение и ряда негативных последствий [1].

Среди методов определения энантиомеров в настоящее время все большую популярность приобретают вольтамперометрические методы, в частности энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры (ЭС) [2-3]. В отличие от классических методов распознавания энантиомеров, ЭС обладают такими преимуществами, как высокая селективность и чувствительность, низкая себестоимость, отсутствие длительной пробоподготовки, а также экспрессное обнаружение энантиомеров биологически активных веществ.

Чтобы появилась возможность распознать энантиомеры, ЭС необходимо модифицировать хиральными селекторами, которых в настоящее время насчитывают огромное количество. В данном исследовании был разработан и изучен новый энантиоселективный вольтамперометрический сенсор на основе пастового электрода из графитированной термической сажи CarboBlack C и цеолита Nano-MFI [4-5] для распознавания энантиомеров триптофана (Тгв). Были изучены электрохимические и аналитические характеристики предложенного сенсора. Рассчитаны сопротивление переноса заряда ($R_{et} = 15.5 \pm 0.2 \text{ k}\Omega$) и площадь эффективной поверхности электрода ($A = 7.8 \pm 0.2 \text{ мм}^2$). Также рассчитаны пределы обнаружения $4.98 \cdot 10^{-7}$ и $3.20 \cdot 10^{-7}$ и нижние границы определяемых концентраций $1.66 \cdot 10^{-6}$ и $1.07 \cdot 10^{-6}$ для L- и для D-энантиомеров триптофана соответственно. Установлено, что при определении энантиомеров триптофана линейная зависимость сохраняется в концентрационном диапазоне от $5 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ М. Данные, полученные методом дифференциально-импульсной вольтамперометрии, показывают, что на «голом» пастовом электроде (ПЭ) разница в аналитических сигналах энантиомеров Тгв отсутствует. При использовании ПЭ/Nano-MFI

появляется разница в аналитических сигналах, что связано с различием в энергиях взаимодействия энантиомеров с хиральным селектором. Так, коэффициент энантиоселективности (i_pD/i_pL) составил 1.58, разность потенциалов достигает 20 мВ. (Рис.1)

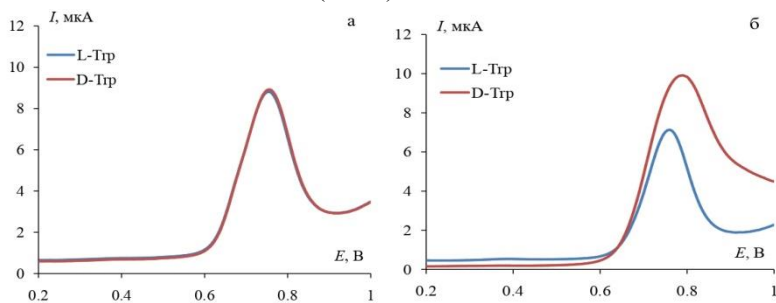


Рис. 1. Дифференциально-импульсные вольтамперограммы 1мМ растворов энантиомеров Трп на фоне фосфатного буферного раствора с рН 6.86 на ПЭ (а) и ПЭ/Nano-MFI (б) при скорости сканирования потенциала 20 мВ/с

Предложенный сенсор был успешно апробирован для определения энантиомеров Трп в биологических жидкостях, таких как урина и плазма крови человека. Относительное стандартное отклонение во всех случаях не превышает 4.2%. Правильность определения не ниже 97%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-73-00119, <https://rscf.ru/project/23-73-00119/>).

Литература

1. Modoux M., Rolhion N., Mani S., Sokol H. // Tryptophan Metabolism as a Pharmacological Target. Trends in Pharmacological Sciences, 2021, v. 42, pp. 60-73.
2. Майстренко В.Н., Евтюгин Г.А., Зильберг Р.А. // Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры. Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. 189 с.
3. Maistrenko V. N., Zilberg R. A. // Enantioselective Voltammetric Sensors on the Basis of Chiral Materials. J. Anal. Chem., 2020, v. 75, no. 12, pp. 1514-1526.
4. Zilberg R., Teres Yu., Agliulin M. [et al.] // Chiral voltammetric sensor on the basis of nanosized MFI zeolite for recognition and determination of tryptophan enantiomers // Electroanalysis, 2024, pp. e202300375.
5. Homochiral zeolites as chiral modifier for voltammetry sensors with high enantioselectivity / I.V. Vakulin, R.A. Zilberg, I.I. Galimov, M.A. Sycheva // Chirality, 2023. v. 36, no., pp. 23635.

© Сычева М.А., Зильберг Р.А., 2024

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ФОТОТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ (2-ЭТИЛ-3-МЕТИЛИНДОЛ)

Новые фототранзисторы для ячеек памяти разрабатываются с использованием многослойных полимерных тонкопленочных материалов. Развитие органической электроники в ближайшем будущем может привести к появлению широкого спектра новых устройств (дисплеев, интегральных схем, датчиков и т.д.). Эти устройства будут ультратонкими, легкими, гибкими и прозрачными, что откроет новые области применения, недоступные для традиционной электроники на основе кремния. Одним из перспективных устройств для органической электроники является органический транзистор (OFET) с транспортным слоем толщиной не более десяти нанометров, в котором управление носителями заряда осуществляется путем изменения плотности заряда в электрическом поле [1-5].

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

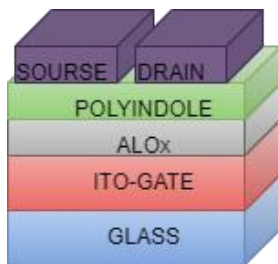


Рис. 1. Структура фототранзистора

Для исследования фотопроводимости измеряли ВАХ в условиях ультрафиолетового излучения при длине волны излучения 350 нм. Темновой ток полииндольных пленок порядка 1 нА. При УФ-облучении значение фототока на три порядка превышает темновое значение. Энергия УФ-квантов составляет 3,4 эВ, что сравнимо с шириной запрещенной зоны. Это вызывает образование электронно-дырочных пар, а проводимость тонких пленок МРIn увеличивается.

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

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

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

Литература

1. Latypova, L.R., Andriianova, A.N., Salikhov, S.M., Mullagaliev, I.N., Salikhov, R.B., Abdrakhmanov, I. B., & Mustafin, A. G. Synthesis and physicochemical properties of poly [2-(2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl) aniline] obtained with various dopants // Polymer International. 2020. v. 69(9). Pp. 804-812.
2. Tuktarov, A.R., Salikhov, R.B., Khuzin, A.A., Safargalin, I.N., Mullagaliev, I.N., Venidiktova, O.V., Valova T.M., Barachevsky V.A., Dzhemilev, U.M. Optically controlled field effect transistors based on photochromic spiropyran and fullerene C60 films //Mendelevov Communications. 2019. v. 29(2). Pp. 160-162.
3. Sadretdinova, Z. R., Akhmetov, A. R., Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., & Salikhov, T. R. 1, 2, 3-Triazolylfullerene-based n-type semiconductor materials for organic field-effect transistors //Mendelevov Communications. – 2023. v. 33(3). Pp. 320-322.
4. Tuktarov, A.R., Salikhov, R.B., Khuzin, A.A., Popod'ko, N.R., Safargalin, I.N., Mullagaliev, I.N., & Dzhemilev, U.M. Photocontrolled organic field effect transistors based on the fullerene C 60 and spiropyran hybrid molecule //RSC advances. 2019. v. 9(13). Pp. 7505-7508.
5. 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. v. 11. № 2. Pp. 140-145.

© Гильманов Д.Р., Салихов Р.Б., 2024

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК НА СЕНСОРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИАНИЛИНА К ПАРАМ АММИАКА

Полианилин (ПАНИ), общеизвестный проводящий полимер, стал потенциальным претендентом для различных электронных устройств, из-за своей проводимости, стабильности, отличной устойчивостью к воздействию окружающей среде, простоте переработки и низкой стоимости сырья и синтеза [1-8]. Предполагается, что полианилин (ПАНИ) имеет широкие перспективы развития для сенсоров NH_3 . В данной работе рассматриваются вновь синтезированные производные полианилина (1 и 2), отличающиеся достаточно высокой растворимостью и хорошими пленкообразующими свойствами. На основе тонких пленок этих производных полианилина изготовлены датчики паров аммиака и измерены их характеристики.

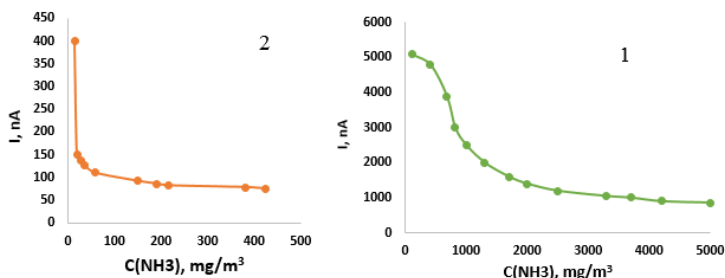


Рис. 1. Зависимости протекающего тока через пленки P1 и P2 от концентрации паров аммиака, при $U_{\text{обр}}=30\text{В}$ и комнатной температуре 25°C

Пленки производных полианилина реагируют на присутствие паров аммиака в окружающей среде уменьшением протекающего тока (рис.1). Полученные результаты объясняются протонированием/депротонированием полимерной цепи. Увеличение концентрации аммиака в среде приводит к снижению степени легирования. Предполагается, что при взаимодействии полимера с NH_3 молекулы аммиака поглощают протоны из ПАНИ, образуя энергетически выгодный аммоний (NH_4^+), в результате чего происходит ПАНИ депротонирование и проводимость снижается.

Пленки 1 лучше реагируют на присутствие паров аммиака в воздухе, их чувствительность на порядок выше. При этом следует отметить, что тонкие пленки 2 проявляют гораздо большее изменение чувствительности к парам аммиака по сравнению с пленками 1, поэтому возможное использование таких плёнок в датчиках по обнаружению сверхмалых концентраций.

Литература

1. Mustafin, A.G., Latypova, L.R., Andriianova, A.N., Mullagaliev, I.N., Salikhov, S.M., Salikhov, R.B., & Usmanova, G.S. (2021). Polymerization of new aniline derivatives: synthesis, characterization and application as sensors. *RSC advances*, 11(34), 21006-21016.
2. Salikhov, R.B., Zilberg, R.A., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R., & Teres, Y.B. (2022). Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers. *Mendeleev Communications*, 32(4), 520-522.
3. Andriianova, A.N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*, 6(14), 3435-3445.
4. 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.
5. Latypova, L.R., Andriianova, A.N., Salikhov, S.M., Mullagaliev, I.N., Salikhov, R.B., Abdrakhmanov, 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.
6. Latypova, L.R., Andriianova, A.N., Salikhov, S.M., Mullagaliev, I.N., Salikhov, R.B., Abdrakhmanov, 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.
7. Mustafin, A.G., Latypova, L.R., Andriianova, A.N., Salikhov, S.M., Sattarova, A.F., Mullagaliev, I.N., ... & Abdrakhmanov, I.B. (2020). Synthesis and Physicochemical Properties of Poly (2-ethyl-3-methylindole). *Macromolecules*, 53(18), 8050-8059.
8. 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.

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПЛЕНОК НА СЕНСОРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИАНИЛИНА К ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Полианилин (ПАНИ), общеизвестный проводящий полимер, стал потенциальным претендентом для различных электронных устройств, из-за своей проводимости, стабильности, отличной устойчивостью к воздействию окружающей среде, простоте переработки и низкой стоимости сырья и синтеза [1-6]. Различные материалы, такие как органические полимеры, неорганические композитные материалы и керамика широко используются для сенсорных датчиков, например, для датчиков влажности воздуха и разных газов. Датчик влажности является важным классом химических датчиков и широко используется в мониторинге окружающей среды, упаковке пищевых продуктов, электронике, для создания человеческого комфорта и др. В данной работе рассматриваются вновь синтезированные производные полианилина (1 и 2), отличающиеся достаточно высокой растворимостью и хорошими пленкообразующими свойствами. На основе тонких пленок этих производных полианилина изготовлены датчики влажности воздуха и измерены их характеристики.

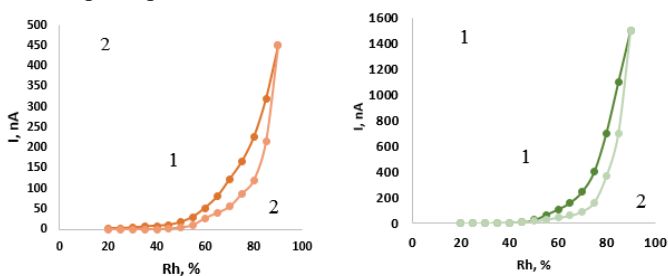


Рис. 1. Зависимость протекающего через пленки P2 и P1 тока от относительной влажности воздуха в объеме воздуха

По результатам измерений были построены зависимости тока, протекающего через пленки ПАНИ от влажности (рис. 1), где участок 1 — это данные снятые при увеличении влажности в камере стенда, а участок 2 — данные при уменьшении влажности. На рисунке мы видим корреляцию структуры вещества и значений токов через пленки сенсорных образцов. P2 начинает реагировать на влажность уже при 30% благодаря своей

пористой структуре. Рост тока у образцов с P1 начинается только при 50%, для него характерно резкое увеличение тока, причем максимальное значение в 3 раза превышает соответствующее значение для образцов с P2. По данным видно, что пленка образца P1 обладает наибольшей проводимостью (проводимость пропорциональна величине тока, так как прикладываемое напряжение было фиксированным) при тех же значениях относительной влажности воздуха (участок 1). Более высокую проводимость пленки образца P1 можно объяснить различием полярных свойств заместителей, находящихся в орто-положении и связанных с большим дипольным моментом образца P1, чем у образца P2. Так же можно отметить малый гистерезис у датчика P2 (участок 2). У образца P2 гистерезис по току составляет от 0 до 105 нА, у P1 от 0 до 400 нА.

Чувствительность пленок 1 к влажности воздуха в 3 раза выше, по сравнению с пленками 2, что подтверждается значениями тока, протекающего через образец.

Литература

1. Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Mullagaliev, I. N., Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, 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.
2. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важадаев К.В., Мунтянова Т.Д. Беспроводная система контроля качества окружающей среды // Нефтегазовое дело. - 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
3. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Sattarova, A. F., Mullagaliev, I. N., ... & Abdrakhmanov, I. B. (2020). Synthesis and Physicochemical Properties of Poly (2-ethyl-3-methylindole). *Macromolecules*, 53(18), 8050-8059.
4. 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.
5. Andriianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*, 6(14), 3435-3445.
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.

© Остальцова А.Д., Салихов Р.Б., 2024

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА С ОДНОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ К ПАРАМ АММИАКА

Получение новых материалов, обладающих сенсорными свойствами, и создание на их основе датчиков контроля токсичных и экологически вредных газов является актуальной задачей аналитического приборостроения [1-6].

На основе тонких пленок ПЭК с УНТ были получены многослойные структуры резистивных сенсоров (рис.1). В резистивных датчиках в качестве подложки использовалось ситалловая подложка. На ситалловую 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 ПЭК с УНТ. Омический характер контактов был доказан путем измерения их вольтамперных характеристик. Полученный слой подвергался термическому отжигу для удаления остатков растворителя путем нагрева до 150°C в течение 20-25 мин.



Рис. 1. Структура тонкопленочного резистивного датчика

Исследование поверхности наноконкомпозитной структуры ПЭК с УНТ с помощью СЭМ показало, что на ней присутствуют образования в виде нитей, сформированные углеродными нанотрубками.

Пленки производных ПЭК с УНТ реагируют на присутствие паров аммиака в окружающей среде уменьшением протекающего тока (рис. 2). Ток уменьшается от значения 260 мкА практически до 140 мкА при изменении концентрации паров аммиака от 0 до 1000 мг/м³. ПДК аммиака равна 20 мг/м³. Характеристика является нелинейной: до концентраций 200 мг/м³ ток снижается довольно быстро, далее скорость уменьшения тока резко падает.

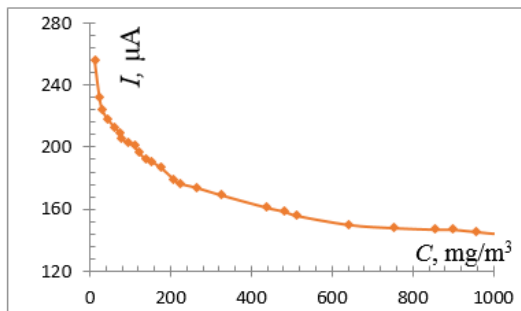


Рис. 2. Зависимости протекающего тока через пленки ПЭК с УНТ

На основе данных нанокompозитных материалов были приготовлены образцы резистивных тонкопленочных структур, измерены зависимости протекающего тока от величины концентрации паров аммиака.

Литература

1. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Mullagaliev, I. N., Salikhov, S. M., Salikhov, R. B., & Usmanova, G. S. (2021). Polymerization of new aniline derivatives: synthesis, characterization and application as sensors. *RSC advances*, 11(34), 21006-21016.
2. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Teres, Y. B. (2022). Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers. *Mendeleev Communications*, 32(4), 520-522.
3. Andriianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*, 6(14), 3435-3445.
4. 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.
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. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Sattarova, A. F., Mullagaliev, I. N., ... & Abdrakhmanov, I. B. (2020). Synthesis and Physicochemical Properties of Poly (2-ethyl-3-methylindole). *Macromolecules*, 53(18), 8050-8059.

© Остальцова А.Д., Салихов Р.Б., 2024

Фахрисламова Д.У.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Остальцова А.Д.,
асп. 1-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА С ОДНОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ К ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

В настоящее время все еще существует множество проблем, связанных с изготовлением гибких датчиков влажности с необходимыми свойствами при крупносерийном производстве [1-5].

На основе тонких пленок ПЭК с УНТ были получены многослойные структуры резистивных сенсоров (рис.1). В резистивных датчиках в качестве подложки использовалось ситалловая подложка. На ситалловую 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 ПЭК с УНТ. Омический характер контактов был доказан путем измерения их вольтамперных характеристик. Полученный слой подвергался термическому отжигу для удаления остатков растворителя путем нагрева до 150°C в течение 20-25 мин.



Рис. 1. Структура тонкопленочного резистивного датчика

Исследование поверхности нанокompозитной структуры ПЭК с УНТ с помощью СЭМ показало, что на ней присутствуют образования в виде нитей, сформированные углеродными нанотрубками.

На основе предложенного нанокompозита ПЭК с УНТ разработан датчик определения влажности воздуха. На рис. 2 представлены графики зависимости протекающего через пленки ПЭК с УНТ тока от относительной влажности воздуха в объеме воздуха.

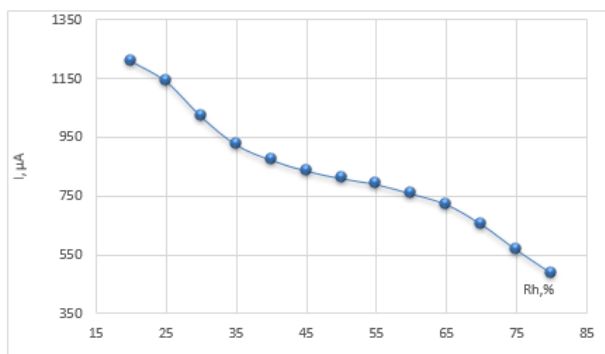


Рис. 2. Зависимости протекающего тока через пленки ПЭК с УНТ

На основе данных нанокompозитных материалов были приготовлены образцы резистивных тонкопленочных структур, измерены зависимости протекающего тока от величины относительной влажности воздуха.

Литература

1. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Mullagaliev, I. N., Salikhov, S. M., Salikhov, R. B., & Usmanova, G. S. (2021). Polymerization of new aniline derivatives: synthesis, characterization and application as sensors. *RSC advances*, 11(34), 21006-21016.
2. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Teres, Y. B. (2022). Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers. *Mendeleev Communications*, 32(4), 520-522.
3. Andriianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*, 6(14), 3435-3445.
4. 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.
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.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СЕНСОРЫ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПАНИ и С60

Точность в измерениях влажности имеет важное значение для эффективного функционирования и поддержания качества продукции в нескольких секторах, включая фармацевтику, пищевую промышленность, медицину и производство электроники. Некоторые датчики влажности используют принцип обратимого взаимодействия между материалом и парами воды, функционируя аналогично датчикам газа. Методы измерения влажности включают использование оптических, гравиметрических, емкостных, резистивных, пьезорезистивных и магнитоупругих свойств материалов. Недавно сообщалось, что использование наноструктур, таких как наночастицы, нанопроволоки, нанотрубки и полимерные нанокомпозиты, в качестве материалов, чувствительных к влажности, может значительно улучшить характеристики датчиков влажности. Для этих наноструктурированных материалов поверхностный эффект становится доминирующим из-за их большого отношения поверхности к объему, что полезно для создания датчиков влажности и датчиков газа [1-4].

В работе исследованы тонкие пленки органических материалов — фуллеренов (С60), полианилинов (ПАНИ) и полиимида.

В резистивных датчиках в качестве подложки использовалось стекло.

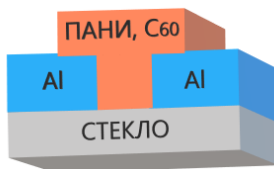


Рис. 1. Структурная схема резистивного датчика

По результатам измерений были построены графики зависимости тока от влияния внешней среды. На рисунке 2 представлены зависимости тока от влажности и времени при резком уменьшении влажности воздуха для резистивных датчиков на основе тонких пленок полианилина и фуллерена С60. Полученные на основе С60 резистивные датчики при изменении влажности имеют большие значения тока по сравнению с датчиками на пленках ПАНИ (рисунок 2, а).

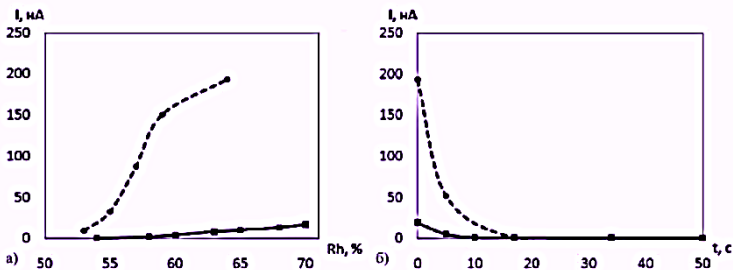


Рис. 2. Характеристики резистивных датчиков (пунктирная линия — пленка С60; сплошная линия — пленка ПАНИ): зависимости тока от влажности воздуха (а), зависимости тока от времени при резком уменьшении влажности воздуха (б)

Результаты по определению быстродействия датчиков относительной влажности воздуха приведены на рисунке 2, б. Время срабатывания датчиков составляет не более 2-3 с, что является хорошим показателем для электронных гигрометров.

Полученные на основе С60 резистивные датчики при изменении влажности имеют большее увеличение тока по сравнению с ПАНИ. К положительным характеристикам полученных абсорбционных датчиков влажности воздуха на основе полиимидных пленок следует отнести линейную зависимость емкости от относительной влажности, малый гистерезис (не более 1-2 %), высокую крутизну характеристик и небольшую постоянную времени.

Литература

1. 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.
2. Salikhov R. B. et al. 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.
3. 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.
4. Mustafin A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Mullagaliev, I. N., Salikhov, S. M., Salikhov, R. B., & Usmanova, G. S. Polymerization of new aniline derivatives: synthesis, characterization and application as sensors //RSC advances. – 2021. – Т. 11. – №. 34. – С. 21006-21016.

© Сагидуллина А.Р., Салихов Р.Б., 2024

УМНАЯ ФЕРМА С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ LoRaWAN

Цифровизация сельского хозяйства делает невозможное реальным: с одной стороны повышает урожайность, с другой – уменьшает издержки. Одним из проблем цифровизации сельского хозяйства в России является интернет и связь, а точнее их отсутствие. Далеко не на всех полях есть сотовая связь, не говоря уже о покрытии интернетом. Приходится ездить по полям и использовать рации для оперативной связи с работниками. В таких условиях можно забыть об использовании данных с устройств в режиме реального времени, а точное земледелие становится практически невозможным [1-4]. Для решения таких проблем, мы предлагаем умную ферму на беспроводной технологии передачи данных LoRaWAN.

LoRaWAN – это беспроводная технология, получившая значительное распространение в последние годы, в первую очередь благодаря своей способности обеспечивать связь между устройствами IoT на большом расстоянии и низкому энергопотреблению. Технология основана на протоколе LoRaWAN, который оптимизирован для устройств с батарейным питанием и предназначен для работы в нелицензируемом промышленном, научном и медицинском диапазоне [5].

Почему именно LoRa?

1. LoRa – это открытый стандарт.
 2. LoRa имеет хороший радиус действия, она может принимать информацию от устройств в подвале дома или в километре от базовой станции. На самом деле, может принять информацию и от датчика в 4 километрах городских условий.
 3. Датчики LoRa живут от батарейки минимум год. А то и больше. Тут есть зависимость от класса датчика (А, В или С). Самый живучий – А-класс – может продержаться около 10 лет.
 4. Обслуживание до нескольких тысяч устройств с помощью одной базовой станции;
 5. Высокая устойчивость к помехам;
- Наша «умная ферма» состоит из:
1. Малопотребляющий GPS- трекер для отслеживания перемещение домашних животных на пастбищах, контролировать их состояние и здоровье.
 2. Умная теплица;

3. Умный контроль роста грибов с фотодатчиками, датчиками температуры и влажности;

4. Устройство сигнализации превышения уровня метана, аммиака, CO и CO₂;

5. Удаленный контроль протечки трубопровода;

6. Мониторинг температуры, влажности и положения дверцы холодильной камеры, контроль токов двигателей компрессоров холодильных установок;

7. Умный замок;

8. Контроль дверей с датчиками Холла;

9. Сканер устройств iBeacon для контроля персонала, ценных грузов и домашних животных внутри помещений;

Информация считывается и передается через беспроводную сеть LoRaWAN в облачную платформу интернета вещей Rightech IoT Cloud, которая играет ключевую роль в разработке IoT-решений различной сложности [6]. В Rightech реализована логика мониторинга и уведомлений для фермеров об изменениях. Уведомления поступают через Telegram-бот сообщения, указывая на различные события, такие как удаление объекта, нормальная температура или повышенный уровень CO и другие.

Литература

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

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

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

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

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

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

© Бурханова А.Д., Абдрахманов В.Х., 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ДОПИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Одним из важных параметров при исследовании допированных пленок полиметилметакрилата (ПММА) является ширина запрещенной зоны. [1-3].

Ширину запрещенной зоны вычислялась методами Тауца и методом подгонки спектров поглощения. В данных методах используют спектры оптического пропускания и поглощения. [4]

В работе были изготовлены тонкие пленки ПММА, ПММА допированная фенолфталеином (ФФ) и ПММА допированная 3-бензолиденфталидом (БФ).

Измерение спектров оптического пропускания и поглощения проводились на спектрофотометре Shimadzu UV-1800.

Для вычисления ширины запрещенной зоны необходимо знать толщину получаемой пленки. Измерение толщины допированных пленок полиметилметакрилата производилось методом Свейнпола.

Из данных коэффициента пропускания (T) и согласно соотношению Тауца наиболее удовлетворительное представление получается путем построения графика величины $(ahv)^2$ как функции (hv) . График зависимости $(ahv)^2$ от hv для различных образцов (рис. 1). Наблюдаемое поведение свидетельствует о разрешенном прямом переходе для аморфного материала. Значения оптической энергетической щели $E_{opt}^{Тауца}$

представлены табл.1, полученные путем экстраполяции линейного участка зависимости $(ahv)^2=f(hv)$ до пересечения с осью энергии hv (рис. 1). Низкомолекулярные соединения влияет ширину запрещенной зоны. В случае допирования ФФ и БФ уменьшается на 0,20 и 1,94 эВ соответственно.

Также ширину запрещенной зоны можно определить без использования толщины пленок (рис. 1.). Данный метод называется, как подгонка спектра поглощения (ASF). Этот метод основан на результатах поглощения без учета толщины полимера.

Полученные значений ширины запрещенной зоны занесены в таблицу 1. Значения метода Тауца близки с методом математической подгонки, что свидетельствует о высокой точности методов.

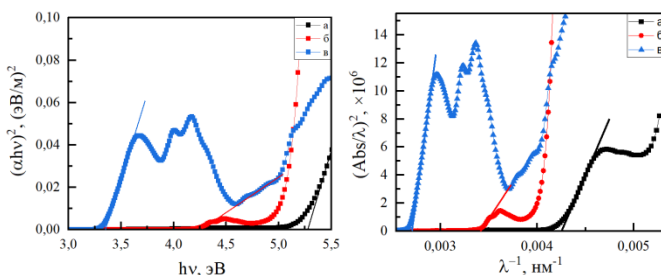


Рис. 1. Зависимость $(\alpha hv)^2$ от энергии (слева) фотонов и зависимость $(Abs/\lambda)^2$ от энергии фотонов (справа) для: а) ПММА, б) ПММА допированный фенолфталеином, в) ПММА допированный 3-бензилиденфталидом

Табл. 1. Ширины запрещенной зоны, определенная методом Тауца и ASF

| Образец | E_{opt}^{Tauc} , эВ | E_{opt}^{ASF} , эВ |
|---------|-----------------------|----------------------|
| ПММА | 5,29 | 5,28 |
| ПММА+ФФ | 4,27 | 4,24 |
| ПММА+БФ | 3,35 | 3,34 |

Таким образом, в работе приведены исследования спектров пропускания оптически прозрачных субмикронных пленок ПММА с различными допантами. Результаты показывают, что метод Тауца и подгонки спектров поглощения подходят для вычисления ширины запрещенной зоны. Получены следующие значения для ПММА – 5,29 эВ, ПММА с ФФ – 4,27 эВ, ПММА с БФ – 3,35 эВ.

Литература

1. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Teres, Y. B. (2022). Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers. *Mendelevov Communications*, 32(4), 520-522.
2. Andriianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*, 6(14), 3435-3445.
3. Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Mullagaliev, I. N., Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, 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.
4. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важдасев К.В., Мунтянова Т.Д. Беспроводная система контроля качества окружающей среды // Нефтегазовое дело. – 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.

© Айдагулов А.А., Салихов Р.Б., 2024

МОНИТОРИНГ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА LoRaWAN С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ТОКА НА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ КОМПРЕССОРОВ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Интернет вещей (IoT) представляет собой интегрированную систему, которая объединяет устройства в сеть, позволяя им собирать, анализировать, обрабатывать и передавать данные другим объектам с использованием программного обеспечения, приложений или технических устройств.

Появление технологии маломощной глобальной сети (LoRaWAN) произвело революцию в сфере промышленного мониторинга, предложив многообещающее решение этих проблем. Путем интеграции LoRaWAN с датчиками тока, расположенными на электродвигателях холодильных компрессоров, можно создать надежную и эффективную систему мониторинга. Использование датчика тока и модели LoRa для мониторинга холодильного оборудования позволяет повысить эффективность работы оборудования, сократить операционные расходы и улучшить общий уровень сервиса [1-5].

Для мониторинга холодильного оборудования мы устанавливаем датчик тока на проводку, который измеряет энергопотребление и предоставляет информацию о состоянии и эффективности оборудования. Полученные данные передаются через сеть LoRa в центральную систему мониторинга. Технология LoRa обеспечивает передачу данных на большие расстояния с низким энергопотреблением, что идеально подходит для крупных площадей, таких как склады. Мы отслеживаем энергопотребление, анализируем эффективность и прогнозируем возможные поломки. Это позволяет сократить затраты и предотвратить потери продукции. Использование датчика тока и технологии LoRa улучшает эффективность, снижает расходы и повышает качество обслуживания. В настоящее время на рынке представлен широкий выбор моделей с различными характеристиками, таких как беспроводная система точечного мониторинга Wi-Fi Anemone, GSM Телемат и беспроводная система мониторинга морозильников ZigBee, что позволяет потребителям выбрать наиболее подходящее решение с применением дистанционных технологий. Эти системы повышают эффективность работы предприятия.

Я создала схему устройства на сайте easyeda.com. Использовала микроконтроллер STM32L1, модуль LoRa RAK811, для пробуждения устройства использовала часы реального времени (RTC). Устройство работает следующим образом: пробуждается, данные с датчика тока обрабатываются и подают сигнал о потреблении энергии, такой мониторинг позволяет проводить анализ эффективности. Данные с датчиков передаются на LoRaWAN, что позволяет передавать данные на большие расстояния с низким энергопотреблением [6]. На рисунке 1 представлен разработанная печатная плата и верхний слой печатной платы.

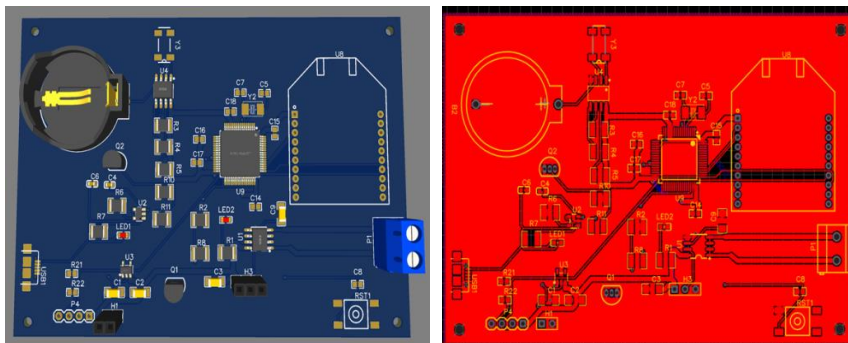


Рис. 1. Разработанная печатная плата и верхний слой печатной платы

Литература

1. Нгуен, Д.К. Разработка метода взаимодействия узлов сети LPWAN на базе ячеистой топологии / Д.К. Нгуен, Р.В. Киричек // Интернет вещей и 5G. – 2016. – С. 42-46.
2. Воркунов, О.В. Сравнение LPWAN технологий «Стриж» и «Lora» / О.В. Воркунов, Р.П. Мансуров // Theory and practice of scientific research. – 2019. – С. 89-90.
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – С. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – С. 2096.
5. Abdrakhmanov, V. Kh., Salikhov, R. B., Vazhdaev, K. V. (2018, October). Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects. In Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2018 15th International Scientific-Technical Conference on (Vol. 1, pp. 170-173). IEEE.
6. Righttech IoT Cloud. Режим доступа: <https://righttech.io/5>.

© Поищенко К.Е., Абдрахманов В.Х., 2024

ТРЕКЕР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ GPS, BLE И LORAWAN

Современный мир требует непрерывного развития технологий, особенно в области отслеживания местоположения, что делает этот проект весьма актуальным и значимым. Вот несколько основных аспектов актуальности данного проекта: повышенный интерес к умным решениям для безопасности и необходимость улучшения процессов логистики и управления ресурсами. Общие недостатки аналогов: ограниченная функциональность, ограниченный диапазон действия, зависимость от энергопитания, огромная цена, закрытая экосистема и габариты [1-5].

В своей разработке для позиционирования в открытом пространстве я использую технологию связи LoRaWAN, что позволяет снизить энергопотребление и сделать переносное устройство для контроля местоположения. Преимущества моего трекера является то, что она имеет низкую себестоимость. На территории предприятия предполагается развернуть сеть LoRaWAN т.к. в городских условиях технологию связи LoRaWAN может принять информацию от датчика на расстоянии в 4 километра, а на открытых пространствах до десятков километров. Мы предполагаем передавать данные о местоположения от GPS. Но это устройство может обеспечить отслеживание и внутри помещений благодаря BLE-маячкам, где GPS может быть недоступен или неэффективен. Внутри помещения будут размещены BLE-сканеры, которые могут точно отслеживать местоположение сотрудника.

Я разработал устройство работающий на стандартном батарейном питании ВН-18650 с форм фактором АА (рис.1). Использовал микроконтроллер STM32L151, GPS модуль NEO-M8N-0-10 и BLE HM-10. В процессе разработки написали код на С++ и протестировали работоспособность. Благодаря энергоэффективным компонентам устройство может работать от батареи достаточно долго. Также внутри помещений предполагается разместить BLE-сканер для более точного позиционирования сотрудников или же активов производства.

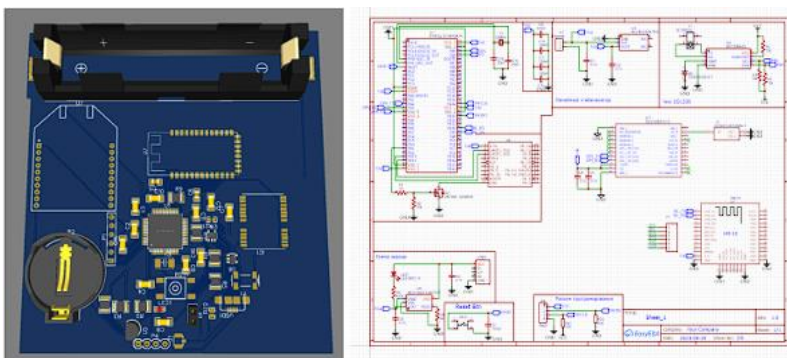


Рис. 1. 3D вид и схема

Такое устройство может точно определять местоположение человека в реальном времени, используя GPS. Это особенно полезно в случаях потери или поиска человека в большом пространстве. Также это полезно для больших зданий, торговых центров, больниц и других мест, где GPS не работает надежно. Эти устройства могут быть использованы для мониторинга рабочих процессов, контроля за перемещением сотрудников в определенных зонах.

Литература

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

© Биканасов Б.У., Абдрахманов В.Х., 2024

РАЗРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОТРАНЗИСТОРОВ

В современном мире активно ведется разработка органических тонкопленочных фототранзисторов с целью создания более эффективных и перспективных устройств для области нанoeлектроники. Органические материалы перспективны для использования в электронике, изучаются тонкие пленки фуллерена и спиропиранов для создания фототранзисторов [1]. Определенные электроды и активные слои улучшают инжекцию носителей, передачу заряда, а также существуют конструкции или прокладки для обеспечения удержания фотонов [2].

Органический фототранзистор - это полупроводниковое устройство на основе органических материалов, которое реагирует на свет, усиливая сигнал. Он обладает высокой чувствительностью и меньшим уровнем шума, объединяя функции захвата света и усиления сигнала [3]. Сегодня фототранзисторы на основе неорганических полупроводников обладают высокой подвижностью носителей заряда и стабильностью. С развитием органических материалов мобильность органических полупроводников растет. Органические полупроводники превосходят поликремний в подвижности, соответствуя требованиям промышленности [4]. Органические тонкопленочные фототранзисторы — это класс устройств, преобразующих свет в электрический сигнал из органических материалов. Они гибкие, дешевы и могут покрывать большие площади. Разработаны фототранзисторы на основе спиропирана и фуллерена C60. Производство органических тонкопленочных фототранзисторов включает нанесение тонких пленок полимерных материалов, таких как полианилины и фуллереновые производные, на подложки с использованием центрифугирования и вакуумного напыления. Эти пленки служат транспортным слоем в структуре органического полевого транзистора [5].

В данной работе исследованы тонкие пленки фуллерена и спиропирана в полевым фототранзисторе. Структура состоит из стеклянной подложки с пленкой оксида индия и олова, диэлектрика из оксида алюминия, пленки производного спиропирана, пленки фуллерена и контактных площадок в виде алюминиевых пленок. Пленки были созданы путем центрифугирования и термического распыления в вакууме. Длина волны излучения - 350 нм. Вольт-амперные характеристики (рис. 1) при постоянном напряжении $U_{DS}=5$ В, $U_G=5$ В, измеренные при комнатной температуре на открытом воздухе. В ходе исследования было выявлено,

что в данном образце фототранзистора при длительном воздействии ультрафиолета уменьшается фототок.

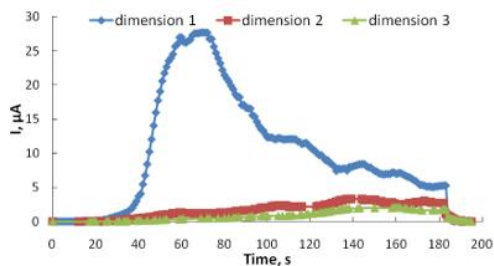


Рис. 1. Зависимость силы тока от времени воздействия ультрафиолета

После трех циклов облучения по три минуты каждый деградация прекратилась. Эти материалы, фуллерен и спиропиран обладают хорошей светочувствительностью и генерируют фототок в микроамперах, что делает их перспективными материалами для фототранзисторов. Однако необходимо решить проблему деградации пленки путем использования новых производных этих веществ. Фототранзистор выходит на рабочий ток за 12 секунд и восстанавливается за 3 секунды, что подходит для применения в оптронах.

Применение органических соединений в создании электронных компонентов в наше время является очень актуальным по всему миру и играет значительную роль в развитии современных технологий.

Литература

1. Tuktarov A. R., Salikhov R. B., Khuzin A. A., Safargalin I. N., Mullagaliev I. N., Venidiktova O. V., Valova T. M., Barachevsky V. A., Dzhemilev U. M. *Mendelev Communications*. 2019. V. 29. № 2. С. 160-162.
2. R. B. Salikhov, I. N. Mullagaliev and T. R. Salikhov. *Mendelev Commun.*, 2023. 33, 320–322,
3. Andriianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*. 6(14), С.3435-3445.
4. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Teres, Y. B. (2022). Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers. *Mendelev Communications*. 32(4), С.520-522.
5. A. R. Tuktarov., R. B. Salikhov., Artur A. Khuzin., N. R. Popod'ko., I. N., Safargalin., I. N. Mullagaliev., Usein M Dzhemilev (2019). Photocontrolled organic field effect transistors based on the fullerene C 60 and spiropyran hybrid molecule, 9(13), С.7505-7508.

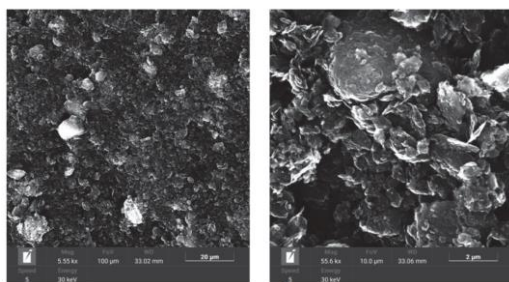
© Гималтдинов А.А., Салихов Р.Б., 2024

РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ 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], полученных из раствора полимера с добавками УНТ и оксида графена методом полива на подложки (рис. 1).



а)

б)

Рис. 1. СЭМ изображения микроструктур образцов пленок.
Размер участка сканирования образца (толщина пленки 700 нм)
а) 100 мкм; б) 10 мкм

В настоящем исследовании был продемонстрирован тонкопленочный датчик с чувствительным слоем из полимера с добавками УНТ и оксида

графена для определения концентрации угарного газа [5]. Получен суммарный химический спектральный состав полимера с УНТ и оксидом графена [6]. Исследованный датчик показал высокую чувствительность, отличную воспроизводимость, долговременную стабильность, хорошую селективность и высокое быстродействие [7].

Композит полимер-УНТ-оксид графена можно рассматривать как перспективный композиционный материал для обнаружения угарного газа в режиме реального времени [8].

Литература

1. Салихов Р.Б., Сафаргалин И.Н., Бадретдинов Б.Р., Салихов Т.Р., Важаев К.В. Тонкопленочные датчики угарного газа на основе нанокompозитного материала. // Нефтегазовое дело. 2023. Т 21, № 4. С. 154-165.

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

3. Andriianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*, 6(14), 3435-3445.

4. 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.

5. Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Mullagaliev, I. N., Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, 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.

6. Абдрахманов В.Х., Важаев К.В., Салихов Р.Б. Информационно-измерительная система дистанционного контроля параметров микроклимата. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016, Т. 12. № 3, 91-99..

7. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Sattarova, A. F., Mullagaliev, I. N., ... & Abdrakhmanov, I. B. (2020). Synthesis and Physicochemical Properties of Poly (2-ethyl-3-methylindole). *Macromolecules*, 53(18), 8050-8059.

8. 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.

© Куньисбаев И.А., Салихов Р.Б., 2024

Айдагулов А.А., маг. 1-го г. об. 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

КОНТРОЛЬ ЖИВОТНЫХ НА УМНОЙ ФЕРМЕ С ПОМОЩЬЮ LORAWAN

Развитие технологий промышленного интернета вещей (IoT) позволяет создавать различные устройства с использованием этой технологии [1-3]. Контроль животных на ферме играет важную роль в обеспечении эффективного и успешного производства сельскохозяйственной продукции. Традиционная технология контроля животных предполагает установку электропастуха на территории. Имеет свои изъяны, такие как животные могут убежать, сломав электро-ограду. Тогда поиск становится сложным. Наше устройство позволяет отслеживать животное на территории фермы и в области ее, что позволяет быстро их найти в случае потери животных. Так же можем контролировать активность животного и фиксировать малую активность. От состояния и благополучия животных зависит не только качество и количество произведенной продукции, но и общее хозяйственное благосостояние.

На рынке представлены различные устройства с применением технологий GPS. Такие устройства как X-Pet 3, GPS-ошейник Smart Pet Tracker, Ufin GPS-трекера для коров. Недостатки устройств: высокое энергопотребление, дороговизна в связи использованием отдельной сим карты для каждого устройства. Высокое энергопотребление устройства предполагает частое подзарядку аккумуляторов устройства.

На территории фермы планируется развернуть сеть LoRaWAN, что дает покрытие на расстоянии до десятков километров. Это нужно для экономии трафика, в отличие от конкурентов, где к каждому устройству нужно оплачивать отдельный трафик мобильной сети [4-5].

Предлагается использовать GPS модуль GNSS GN-802, который использует интегрированный модуль с антенной и геомагнитным датчиком на микросхеме HMC5883L. Этот модуль представляет собой полноценную систему спутникового позиционирования GNSS с широким функционалом, отвечающую на профессиональные и потребительские потребности. Был реализован макет устройства, на нем проверена работоспособность – координаты посылаются в облачный сервис Rightech.io [8] и отображаются там на карте (рис. 1.). В настоящее время разрабатывается схема и печатная плата конечного устройства с малопотребляющим микроконтроллером STM32L151, GPS модулем GNSS GN-802 и акселерометром MMA8452QT. Работает данное устройство с

батарейным отсеком ВН-18650. Акселерометр позволил устройству просыпаться и засыпать в неактивный период. Использование акселерометра и геомагнитного компаса с GPS повышает точность определения координат.

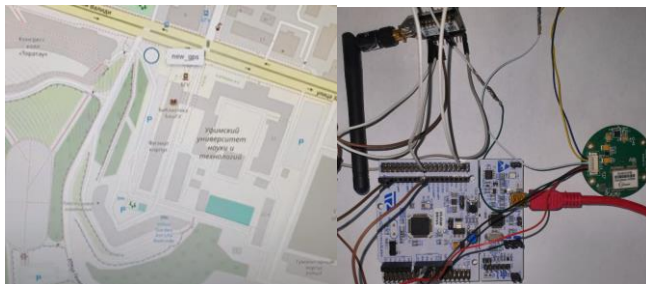


Рис. 1. Отображение на карте перемещения макета устройства в облачном сервисе Rightech.io(слева) и макет устройства (справа)

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – №. 1. – P. 012109
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 229-233.
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – №. 1. – P. 012098.
5. Experience of using Bluetooth Low Energy to develop a sensor data exchange system based on the NRF52832 microcontroller. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.Kh., Yumalin T.T. В сборнике: International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2021. 2021. P. 229-233.
7. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
8. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io>

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА НА ПОДСТАНЦИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ

С течением времени энергетические компании всё больше стремятся к совершенствованию своих процессов и улучшению качества предоставляемых услуг [1-4]. Важным элементом в этом стремлении является использование передовых технологий, которые позволяют оптимизировать работу с электроэнергией. В настоящее время одной из самых актуальных технологий считается LoRaWAN - протокол передачи данных, который открывает новые возможности для сотовых сетей интернета вещей (IoT). В контексте энергетической отрасли, LoRaWAN может быть использован для создания эффективной системы мониторинга и управления потреблением электроэнергии. Одним из ключевых компонентов этой системы является датчик открытия дверей, специально разработанный для энергетических компаний. Позволяя эффективно управлять потреблением электроэнергии и предупреждать потенциальные угрозы, этот умный датчик помогает оптимизировать работу энергетических компаний и повысить их конкурентоспособность на рынке. Этот датчик обнаруживает и мониторит состояние входных дверей, силовых шкафов, предоставляя информацию в облачный сервис [5].

Я провел поиск аналогов моего проекта. Рассмотрим несколько аналогов:

1) Xiaomi Aqara Smart Door and Window Sensor. Этот датчик открытия дверей основан также на Zigbee и предназначен для использования с системами безопасности и автоматизации дома [6]. Он может отправлять уведомления на мобильные устройства, когда дверь открыта или закрыта. (8790 руб.)

2) Samsung SmartThings Multipurpose Sensor. Помимо поддержки Zigbee, этот сенсор также доступен в версии с подключением по Wi-Fi. Он предоставляет информацию о состоянии двери и других датчиках, а также может сигнализировать об открытии или закрытии дверей через сеть Wi-Fi. Цена: (4790 руб.)

3) SmartThings Multipurpose Sensor. Этот датчик поддерживает протокол Zigbee и предоставляет информацию о состоянии двери, такой как открыта или закрыта. Он также обладает дополнительными функциями, например, измерение температуры и влажности внутри помещения [7]. (14990 руб.)

Для проверки работы системы на LoRaWaN я собрал макет на STM32 Nucleo (рис.1). В макете был использован герконовый магнитный датчик. Устройство было проверено на работоспособность, устройство подключается через модуль RAK811 и отправляет снятые с датчика данные в облачную платформу Righthtech. Я также разработал в онлайн среде EasyEDA печатную плату устройства, использовал STM32L151R8T6ATR малопотребляющей серии, датчик Холла DRV5032-SOT23-3, модуль LoRaWaN позволяющий получить доступ к облачному хранилищу. Конечная стоимость нашего же устройства составляет 3 300 руб, что значительно дешевле аналогов на Zegbee.

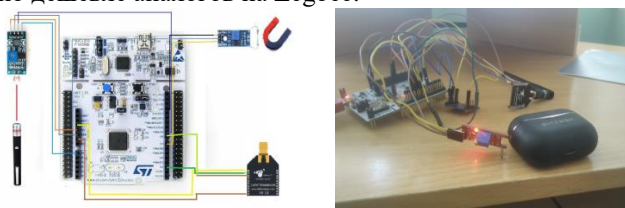


Рис. 1. Структурная схема и фото макета устройства на STM32 Nucleo

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – №. 1. – P. 012109
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 229-233.
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – №. 1. – P. 012098.
5. Experience of using Bluetooth Low Energy to develop a sensor data exchange system based on the NRF52832 microcontroller. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.Kh., Yumalin T.T. - 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2021. 2021. P. 229-233.
7. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.

© Кунысбаев И.А., Салихов Р.Б., 2024

Давлетшин Т.Ю., маг. 1-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа;
Абдрахманов В.Х.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б.,
д.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ ТРУДА

Мониторинг условий труда неоспорим в современном мире, где забота о здоровье и безопасности работников становится все более приоритетной [1-5]. Сложные условия труда, стрессы, физические и психологические нагрузки требуют системного подхода к их мониторингу и регулярному анализу. Это не только помогает предотвращать профессиональные заболевания и несчастные случаи на работе, но и способствует повышению эффективности труда и улучшению общего качества жизни работающего населения.

Изучая данную тему, я обнаружил на следующие готовые решения: серия Vega Smart для мониторинга окружающей среды включает в себя все необходимые датчики для контроля условий в офисах, торговых залах или складских помещениях: датчик влажности; датчик температуры; датчик уровня освещенности; датчик уровня шума; датчик концентрации CO₂; датчик концентрации частиц. Датчики серии Vega Smart легко монтируются на плоскую поверхность благодаря конструкции корпуса с монтажной платформой [6].

Также я нашел аналог - Goodwin monitoring system [7]. Это система микросотовой связи с функциями охраны труда, мониторинга местонахождения персонала, мониторинга состояния окружающей среды. Возможно использование GSM, LTE, NB IoT, DECT, BLE, GNSS, WiFi. Можно использовать в составе комплексного решения существующих систем видеонаблюдения, безопасности и мониторинга.

Система условий труда представляет собой комплексный подход к оценке и управлению условиями, в которых работники выполняют свою деятельность. В её состав входят физические условия (температура, влажность, освещение, шум, вибрации), химические и биологические факторы (вредные вещества, пыль, микроорганизмы), эргономика рабочего места (минимизация нагрузок и перенапряжений), психосоциальные аспекты (стресс, удовлетворенность работой, социальная поддержка) и профессиональные риски (травмы, отравления и т.д.). Эта система помогает обеспечить безопасность, здоровье и комфорт работников, повышая тем самым производительность и эффективность труда.

Я разработал и проверил макет одного из компонентов системы мониторинга условий труда. Использовались следующие компоненты: микроконтроллер STM32F411RE, модуль связи RAK811 для LoRaWAN, датчик концентрации частиц GP2Y1010AU0F (рис.1). Также для обработки и передачи данных использовался облачный сервис Rightech IoT Cloud - это облачная платформа, предназначенная для разработки и управления системами Интернета вещей (IoT) [8].

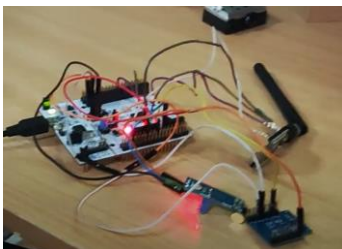


Рис. 1. Макет устройства

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. - Т. 2096. - No. 1. - С. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 229-233. EDN: LAWPLM0
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - №. 1. - С. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Vega Smart for environmental monitoring. Access mode: https://iotvega.com/turnkey_solutions/all/monitoring_um
7. Goodwin monitoring system. Access mode: <https://goodwin-neva.ru/>
8. Rightech IoT Cloud. Access mode: <https://rightech.io/>

© Давлетшин Т.Ю., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., 2024

Резванов Т.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., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

УМНЫЙ КОДОВЫЙ ЗАМОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАКА RIGHTESH И ТЕЛЕГРАММ-БОТА

IoT позволяет различным устройствам взаимодействовать между собой, обмениваться информацией и выполнять различные задачи автоматически, что способствует созданию более удобной и эффективной среды для пользователей [1-4]. Умные кодовые замки с LoraWAN становятся все более популярными среди пользователей, благодаря своей функциональности, безопасности и удобству. Рынок умных кодовых замков с технологией LoraWAN продолжает активно развиваться.

Одни из самых популярных замков на рынке — это модели с возможностью дистанционного управления через мобильное приложение, а также с функцией автоматической блокировки после определенного времени или при отсутствии движения. Также на рынке присутствуют замки с возможностью интеграции в системы умного дома, такие как Yale Assure Lock [6] и Schlage Sense Smart Deadbolt. [7] Это позволяет управлять замком не только через мобильное приложение, но и с помощью голосовых команд. Некоторые производители также предлагают замки с поддержкой видеокamer, которые позволяют просматривать изображение с камеры прямо на мобильном приложении. Аналогов на рынке очень много, Schlage Sense - этот замок имеет сенсорный экран, который позволяет управлять доступом и настройками замка через мобильное приложение. Он также имеет функцию автоматического запираения и поддерживает интеграцию с системами умного дома. Из минусов, данное устройство подключается к сети дома. Yale Assure Lock - этот замок использует технологию LoraWAN для связи с мобильным приложением и удаленного управления доступом. Он также оснащен датчиком движения и может автоматически запирается после определенного времени без движения. Из недостатков можно выделить высокое энергопотребление устройства. August Smart Lock Pro [8]- этот замок предлагает высокую степень безопасности благодаря использованию технологии Bluetooth Low Energy вместо Wi-Fi. Он также поддерживает интеграцию с Amazon Alexa и Google Assistant. Общим недостатком является очень высокая рыночная цена. Я в свою очередь предлагаю бюджетную версию умного замка.

На основе идеи была реализован макет устройства и проверена его работоспособность. Макет состоит из NucleoF411RE, реле, приемопередатчика RAK811 позволяющего получить доступ к облачному хранилищу, содержащему логику контроля доступа на объект и алгоритмы оповещения. Данная логика была разработана в облачном сервисе Rightech[9]. В конечном итоге, реализованные в облаке алгоритмы обрабатывают данные, поступающие с микроконтроллера, и формируют сообщение телеграмм-боту с информацией о состоянии замка (дверь открыта или закрыта). Путём введения правильного пароля открывается дверь, с последующим оповещением телеграмм-боте.

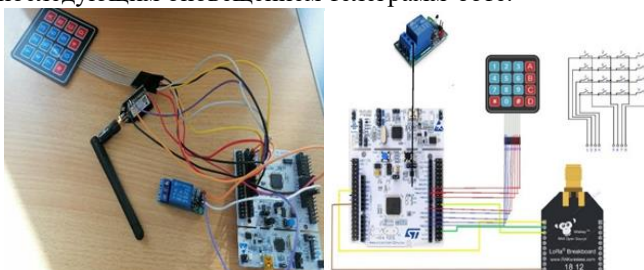


Рис. 1. Схема и фото макета устройства

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. - Т. 2096. - No. 1. - С. 012109.

2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 229-233. EDN: LAWPLM0

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

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

6. Yale Assure Lock Режим доступа: <https://shopyalehome.com>

7. Schlage Sense Smart Deadbolt Режим доступа: <https://www.schlage.com>

8. August Smart Lock Режим доступа: <https://august.com>

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

© Резванов Т.Р., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., 2024

РАЗРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОРЕЗИСТОРОВ

Органические тонкопленочные фоторезисторы (ОТФР) представляют собой устройства, способные преобразовывать световой сигнал в электрический сигнал. Они состоят из активного слоя, который обладает свойством изменять свою электрическую проводимость под воздействием света, и электродов для подачи электрического напряжения и сбора сигнала [1].

Органические тонкопленочные фоторезисторы (ОТФР) изучаются в контексте использования полимеров, таких как поли(3-гексилтиофен) (РЗНТ), в качестве активного слоя. Эти полимеры обеспечивают гибкость, легкость и возможность производства на больших площадях, что открывает новые перспективы для применения ОТФР в различных областях. Совершенствование материалов и технологий производства играет ключевую роль в повышении конкурентоспособности этих устройств. Исследования по синтезу новых полимеров с улучшенными свойствами и оптимизации процессов нанесения пленок имеют большое значение для развития данного направления [2].

Также, применение наночастиц и наноструктур, таких как квантовые точки или нанотрубки, в активном слое фоторезисторов способствует улучшению эффективности и чувствительности к свету устройств. Это открывает новые перспективы для создания высокоэффективных органических тонкопленочных фоторезисторов с широким спектром применения. Для того чтобы органические тонкопленочные фоторезисторы стали конкурентоспособными по сравнению с традиционными неорганическими фоторезисторами, необходимо постоянное совершенствование материалов и технологий производства, включая синтез новых полимеров и оптимизацию процессов нанесения и обработки пленок [3-4].

В ходе исследования оптопроводящих свойств тонких пленок на основе полимера poly-2-(1-methylbut-2-en-1-yl)aniline с различными допирующими и окисляющими агентами было установлено, что синтез нового полимера с использованием $FeCl_3$ как окислителя приводит к наивысшей интенсивности флуоресценции и квантовому выходу. Полученные данные свидетельствуют о потенциале этого полимера для

создания органических тонкопленочных фоторезисторов с высокой чувствительностью к свету. Анализ фотопроводящих характеристик показал, что изученные образцы демонстрируют значительное увеличение фотопроводимости под воздействием ультрафиолетового излучения с длиной волны 350 нм, что подтверждает их потенциал для применения в высокочувствительных фоторезисторах [5].

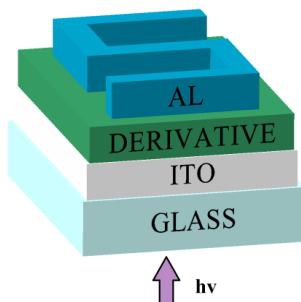


Рис. 1. Структура фоторезистора с пленкой производного полианилина

В целом, разработка органических тонкопленочных фоторезисторов представляет собой актуальное направление исследований, которое имеет большой потенциал для применения в различных областях, от электроники и оптимизации до медицины и биотехнологий. Дальнейшее развитие этой технологии будет способствовать созданию новых инновационных устройств и систем, повышая эффективность и функциональность современных технологий.

Литература

1. Andrianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*, 16(14), 13435-3445.
2. Nesterov V.A., Pavlova M.D., Zorin I.A. (2023) Investigation of the influence of technological parameters of P3HT layer formation: pcbm on spectral and electrical characteristics of photosensitive structures
3. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andrianova, A. N., Mullagaliev, I. N., Salikhov, S. M., Salikhov, R. B., & Usmanova, G. S. (2021). Polymerization of new aniline derivatives: synthesis, characterization and application as sensors. *IRSC1 advances*, 111(34), 121006-21016.
4. Salikhov R.B., Biglova Yu.N., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Mustafin A.G. // *Letters on Materials*, 2021, V. 11 (2), pp. 140-145.
5. Salikhov R. B., Andrianova A. N., Petrov I. S., Mullagaliev I. N., Salikhov T. R., Mustafin A.G. (2023) Fluorescence and photoconductivity of thin films based on poly-2-(1-methylbut-2-en-1-yl)aniline.

© Резванов Т.Р., Салихов Р.Б., 2024

РАЗРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Органическая электроника – это современная область материальной науки, связанная с созданием электронных устройств с использованием проводников и полупроводников построенных из органических (основанных на углероде) молекул или полимеров. На основе органических электронных устройств разрабатываются новые поколения интегральных микросхем, солнечных батарей, сенсоров [1]. Тонкие пленки полианилинов (PANI), C60 и фуллеренпроизводных активно используются в качестве транспортного слоя в органических полевых транзисторах [2].

Разработка органических тонкопленочных полевых транзисторов (рис. 1) является активным направлением в области современной электроники, обусловленным потребностью в эффективных и экологически чистых полупроводниковых устройствах. Тонкопленочные структуры транзисторов формируются на стеклянных пластинах с омическим контактом в виде ИТО. Подзатворные диэлектрики наносятся методом центрифугирования. Kontakтами сток-исток в изготовленных транзисторах плёнки алюминия и серебра, нанесенные методом термического распыления в вакуумной камере на установке ВУП 5. Зазор между контактами создавался благодаря теневой маске. В область зазора между электродами шириной 50 мкм наносилась пленка C60 и полианилина и их производных методом центрифугирования из раствора, в том случае когда использовался диэлектрический слой из полиимида. Когда диэлектриком был полистирол для напыления плёнки C60 или полианилина применялся метод термического напыления в вакуумной камере из ячейки Кнудсена [3-4].

Были измерены и проанализированы выходные и передаточные вольтамперные характеристики. Электрические характеристики полученных структур, были измерены при комнатной температуре по схеме с общим истоком. Зависимости имеют нелинейный характер во всем диапазоне приложенных к затвору напряжений. Ток стока увеличивается при отрицательном потенциале на затворе из C60 и положительном из PANI, это означает, что полученные пленки имеют проводимость n- и p-типа соответственно. Следует отметить, что отсутствует типичный для большинства полевых транзисторов участок насыщения тока. Полученные

зависимости характерны для нормально открытого полевого транзистора, т.е. канал проводимости, формируется изначально в процессе изготовления образца. [5].

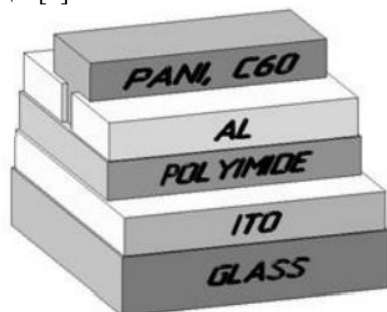


Рис. 1. Структурная схема транзистора

Таким образом использование органических материалов позволяет создавать тонкие, гибкие и легкие транзисторы с высокой подвижностью носителей заряда. Эти устройства имеют широкий спектр потенциальных применений, включая гибкие дисплеи, биосенсоры, электронные книги и другие инновационные устройства. Исследования в этой области направлены на улучшение стабильности, эффективности и масштабируемости органических тонкопленочных полевых транзисторов для создания нового поколения электроники с улучшенными характеристиками и функциональностью.

Литература

1. Tuktarov A. R., Salikhov R. B., Khuzin A. A., Safargalin I. N., Mullagaliev I. N., Venidiktova O. V., Valova T. M., Barachevsky V. A., Dzhemilev U. M. *Mendelev Communications*. 2019. V. 29. № 2. С. 160-162.
2. R. B. Salikhov, I. N. Mullagaliev and T. R. Salikhov. *Mendelev Commun.*, 2023. 33, 320–322,
3. Andriianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*. 6(14), С.3435-3445.
4. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Teres, Y. B. (2022). Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers. *Mendelev Communications*. 32(4), С.520-522.
5. A. R. Tuktarov., R. B. Salikhov., Artur A. Khuzin., N. R. Popod'ko., I. N., Safargalin., I. N. Mullagaliev., Usein M Dzhemilev (2019). Photocontrolled organic field effect transistors based on the fullerene C 60 and spiropyran hybrid molecule, 9(13), С.7505-7508.

© Хусаинова А.Э., Салихов Р.Б., 2024

РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

В современном мире синтетические материалы заменили натуральные материалы во многих сферах жизнедеятельности человека. деятельности, получившие широкое распространение благодаря более низкой стоимости и широкому разнообразию свойств. Еще одним важным преимуществом синтетических материалов является возможность дальнейшего совершенствования существующих, создание новых материалов и технологий их производства путем выбора сырья, их соотношение в сырьевой смеси, называемое составом, и технологические параметры [1].

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 [2].

Для достижения поставленной цели в работе используется комбинация методов синтеза органических материалов, нанотехнологий и физико-химических анализов. В качестве основы для датчиков используются тонкие плёнки органических материалов с высокой чувствительностью к влажности. Экспериментальные исследования проводятся с использованием специализированного оборудования для измерения электрических характеристик датчиков при различных уровнях влажности, а также с использованием сервиса для передачи данных [3].

Проведённые исследования показали, что разработанные тонкоплёночные органические датчики обладают высокой чувствительностью и точностью при измерении относительной влажности воздуха, а также успешно интегрируются для передачи данных. Оптимизация структуры и состава плёнок позволила улучшить динамические характеристики датчиков и повысить их стабильность в различных условиях эксплуатации [4].

Разработка тонкоплёночных органических датчиков относительной влажности воздуха представляет собой перспективное направление исследований, которое может привести к созданию более эффективных и универсальных датчиков для контроля и мониторинга влажности в различных сферах применения. Дальнейшие исследования в этой области позволят улучшить характеристики датчиков, расширить их функциональность и повысить их конкурентоспособность на рынке сенсорных устройств [5].

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 [6].

Литература

1. 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, 234-238.
2. М.К. Сокольская, А.С. Колосова, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Фундаментальные исследования, 2017, 10 (2), 290.
3. 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 Communications, 2022, 32(4), 520-522.
4. Абдрахманов В.Х., Важаев К.В., Салихов Р.Б. Информационно-измерительная система дистанционного контроля параметров микроклимата. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016, Т. 12. № 3, 91-99.
5. Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Mullagaliev, I. N., Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, I. B., & Mustafin, A. G. Synthesis and physicochemical properties of poly [2-(2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl) aniline] obtained with various dopants. // Polymer International, 2020, 69(9), 804-812.
6. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Conference Series. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller // Journal of Physics: – IOP Publishing, 2021, Т. 2096. №. 1. 765-780.

© Лазарев Н.А., Салихов Р.Б., 2024

РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПАРОВ АММИАКА

Постоянно растущие проблемы, связанные с качеством воздуха внутри и снаружи помещений, утечкой промышленного газа требуют датчиков газа с превосходной чувствительностью, стабильностью, низким энергопотреблением и длительным сроком службы. Органические сенсоры открывают большие перспективы для изготовления различных устройств для различных приложений, включая мониторинг газов в окружающей среде. Развитие технологий датчиков, таких как микроэлектромеханические системы (МЭМС), встроенные системы, распределенная обработка и приложения для беспроводных датчиков, способствовали значительным изменениям в беспроводной сенсорной сети (wireless sensors network- WSN). Мониторинг окружающей среды стал важной областью контроля и защиты, обеспечивая систему в реальном времени и связь управления с физическим миром. В роли сенсоров предлагается 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. Активным сенсорным слоем являются тонкие пленки растворимых форм полианилинов, полииндолов, фуллеренов, РСВМ, а также полимерных композитов с углеродными нанотрубкам и оксидами графена [1].

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 [2]. Органические материалы для создания датчиков обладают рядом преимуществ, включая низкую стоимость производства, легкость формирования тонкопленочных структур, возможность интеграции с различными платформами и высокую чувствительность к целевому газу. Тонкопленочные органические датчики также могут быть устойчивы к условиям окружающей среды и обладать длительным сроком службы [3].

В настоящее время активно ведутся исследования по совершенствованию тонкопленочных органических датчиков паров

аммиака, включая оптимизацию материалов, структур и методов диагностики. Задачей исследователей является создание датчиков с повышенной чувствительностью, надежностью и скоростью отклика, а также разработка методов калибровки и масштабирования для широкого промышленного применения [4-5]. Разработка тонкопленочных органических датчиков паров аммиака имеет потенциал для применения в различных областях, включая промышленность, сельское хозяйство, медицину и экологию. Эти датчики могут быть использованы для контроля качества воздуха, безопасности производства, управления процессами удобрения и других задач, где важно точное и быстрое обнаружение аммиака [6-7].

Литература

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

2. Остальцова А.Д., Салихов Т.Р. В сборнике: Современные технологии композиционных материалов. Материалы VIII Всероссийской научно-практической молодежной конференции с международным участием. Отв. редактор У.Ш. Шаяхметов. Нанокompозитные тонкопленочные структуры на основе полиэлектролитного комплекса с нанотрубками. 2023. С. 222-224.

3. Муллагалиев И.Н., Сафаргалин И.Н., Салихов Р.Б. Химические датчики на основе тонких полимерных пленок. Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. Т. 13. № 3. С. 86-91.

4. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Teres, Y. B. (2022). Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers. *Mendeleev Communications*, 32(4), 520-522.

5. Yumalin T.T., Salikhov R.B., Salikhov T.R. Integrating wireless sensor networks with organic polymers for sustainable. В сборнике: Hydraulic and Civil Engineering Technology VIII. Proceedings of the 8th International Technical Conference on Frontiers of HCET 2023. 2023. С. 1118-1123.

6. Салихов Т.Р., Остальцова А.Д. Сенсорная чувствительность нанокompозитных и полимерных тонких пленок на пары аммиака в воздухе. *Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy series*. 2023. V. 145. № 4. С. 17-25.

7. Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Mullagaliev, I. N., Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, I. B., & Mustafin, A. G. Synthesis and physicochemical properties of poly [2-(2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl) aniline] obtained with various dopants. // *Polymer International*, 2020, 69(9), 804-812.

© Фролов В.В., Салихов Р.Б., 2024

КОНТРОЛЬ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN

Современное сельское хозяйство требует эффективного управления водными ресурсами, особенно учитывая глобальные климатические изменения и растущий дефицит воды в аграрном секторе. Чтобы повысить эффективность и устойчивость сельскохозяйственного производства, необходимо активно внедрять инновационные технологии [1-5]. Моим текущим проектом является разработки автоматизированного устройства для эффективного управления водными ресурсами в аграрной сфере с использованием технологии LoRaWAN. Я выбрал эту технологию из-за ее способности обеспечивать надежную беспроводную передачу данных на большие расстояния при минимальном энергопотреблении и высокой устойчивости к помехам. В настоящее время я создал и протестировал макетный образец системы контроля запасов воды в сельском хозяйстве. Принцип работы устройства основан на использовании отладочной платы STM32Nucleo, приемопередатчика Wi-Fi ESP 8266 и магнитного датчика Холла для измерения уровня воды в резервуаре и реле для коммутации насоса (рис. 1).

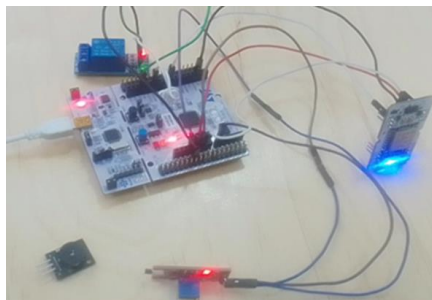


Рис. 1. Собранный работоспособный макет устройства

Это обеспечивает постоянный мониторинг водных запасов с возможностью автоматического управления подачей воды в соответствии с текущими потребностями. Я решил сделать макет на технологии Wi-Fi для отработки навыков программирования, сборки и проверки работы облачного сервиса. Для дальнейшей разработки конечного устройства я сейчас переделываю на другую более подходящую технологию LoRaWAN. Важным аспектом является также возможность передачи

данных в облачное хранилище Rightech IoT Cloud [6], что обеспечивает владельцам теплицы оперативный доступ к информации о водных ресурсах через телеграмм-бот. Здесь автоматическое открытие или закрытие вентиля крана зависит от магнитного датчика Холла. Устройство работает следующим образом: если количество запаса воды уменьшится, магнит (перемещается в соответствии с изменением количества запаса воды) отойдет от магнитного датчика Холла и кран откроется автоматически. Если запаса воды достаточно, магнит приблизится к магнитному датчику Холла и кран автоматически закроется. Одновременно эта информация также отправляется владельцу.

Поскольку выбор в качестве технология связи Wi-Fi не удачен из-за не высокий дальности связи ненадежности и высокого энергопотребления, настоящие время разрабатываю систему работающую по технологии LoRaWAN. Таким образом, разрабатываемое мной устройство будет представлять собой инновационное и эффективное решение для управления водными ресурсами в сельском хозяйстве, а технология LoRaWAN придаст ему преимущества в сравнении с аналогами [7].

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – №. 1. – P. 012109
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 229-233.
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – №. 1. – P. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.П., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>
7. 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.

© Кушбоков Н.А., Остальцова А.Д., Абдрахманов В.Х., 2024

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN

«Система мониторинга персонала» представляет собой комплекс автоматизированных средств и технологий, разработанный для контроля и отслеживания трудовой деятельностью персонала в режиме реального времени. Она основана на передовых системах и технологиях, которые значительно упрощают процессы контроля и управления работой сотрудников, снижая при этом необходимость вручную осуществлять данные функции.

Такая система мониторинга, основанная на принципах интернета вещей (IoT) [1-4], направлена на повышение эффективности труда сотрудников, оптимизацию процессов управления ресурсами и обеспечение их безопасности. Ее функционал позволяет передавать информацию о местоположении сотрудников экстренным службам в случае чрезвычайных ситуаций или аварий. Более того, система способна предотвращать несанкционированный доступ к определенным зонам, предупреждая центр мониторинга и самих сотрудников о попытке проникновения в запретные или опасные территории.

Особое внимание следует обратить на использование технологии LoRaWAN в "Системе мониторинга персонала". Эта сеть, обладающая низким энергопотреблением и высокой стабильностью передачи данных, оказывается особенно эффективной в областях, где существует риск возникновения аварий или опасных рабочих зон для здоровья человека. Поэтому использование данной технологии становится оптимальным выбором для создания подобных систем мониторинга, обеспечивая надежную и эффективную защиту работников.

Система мониторинга персонала, основанная по такой технологии, может успешно решить ряд проблем, связанных с контролем над персоналом:

1. Отслеживание местоположения в реальном времени: Компаниям позволяет точно определять местоположение своих сотрудников в отраслях, где требуется постоянный мониторинг перемещений персонала.
2. Мониторинг производительности и эффективности работы: Система позволяет анализировать производительность и эффективность работы персонала для выявления слабых мест и оптимизации производственных процессов.

3. Обеспечение безопасности труда и контроль условий труда: помогает обеспечивать безопасность труда сотрудников через мониторинг условий работы.

4. Оптимизация рабочих процессов и распределение ресурсов: Анализ данных позволяет оптимизировать рабочие процессы и распределить ресурсы более эффективно.

5. Гибкое управление доступом и строгий контроль рабочего времени: обеспечивает гибкое управление доступом сотрудников и строгий контроль рабочего времени.

Система мониторинга функционирует по следующему принципу: информация считывается с устройства и передается через беспроводную сеть LoRaWAN в облачную платформу Rightech IoT Cloud[5]. Этот инструмент хранит данные о местонахождении и активности сотрудников, предоставляя пользователю удобный интерфейс для наблюдения и управления информацией. Встроенная логика контроля доступа и алгоритмы оповещения делают облачное хранилище современным и мощным инструментом для мониторинга персонала. Использование технологии LoRaWAN в системе мониторинга персонала способствует повышению эффективности управления персоналом, улучшению условий труда и снижению рисков для сотрудников, что в конечном итоге приводит к росту производительности и конкурентоспособности компании.

Литература

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

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

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

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

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

Халитов Т.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

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА ПРИ ПОМОЩИ ИИ

Разрабатываемая мной универсальная система контроля доступа, основанная на технологии распознавания объектов с применением искусственного интеллекта, я надеюсь будет инновационным решением, способным обеспечить высокий уровень безопасности и эффективного контроля доступа в различных сферах деятельности [1-5]. Благодаря использованию передовых алгоритмов машинного обучения и компьютерного зрения, данная система будет способна автоматически распознавать и классифицировать объекты, обеспечивая точную и быструю идентификацию лиц, автомобилей, предметов и других элементов. В целом, универсальная система контроля доступа при помощи распознавания объектов искусственным интеллектом является многообещающим инструментом для обеспечения безопасности и эффективности в различных сферах. Ее применение может привести к снижению рисков и повышению эффективности работы и автоматизации, что является важным фактором в современном мире.

В настоящее время я проанализировал актуальность темы, рассмотрел имеющиеся аналоги, подобрал компоненты системы -микроконтроллер, датчики, средства связи, разработал первый черновой вариант схемы и печатной платы, оценил стоимость комплектующих и сборки устройства.

Основными исполнительными устройствами будут камера OV7670 FIFO, микроконтроллер Nucleo-F411RE, доплеровский датчик движения RCWL-0516, приемпередатчик LPWAN RAK811, базовая станция LoraWaN, турникет и шлагбаум. Более подробно со схемой и печатной платой устройства можно ознакомиться на рисунке 1-2. Разрабатываемая система в отличии от аналогов работает по технологии LoraWaN, что позволит работать на стационарном питании в случае потребления большого трафика, а при малом трафике на батарейном питании. Устройство будет находиться в спящем режиме и может пробуждаться от часов реального времени либо от внешнего сигнала прерывания от малопотребляющего датчика. Система потребует минимального контроля со стороны персонала охраны, также может записывать на камеру любые

движущиеся объекты, обеспечивает круглосуточное наблюдение за обстановкой на КПП, а также позволяет вести архивную видеозапись событий. Также предполагается возможность загружать фото авто/человека в облако для дальнейшего пропуска авто/человека в охраняемый объект.

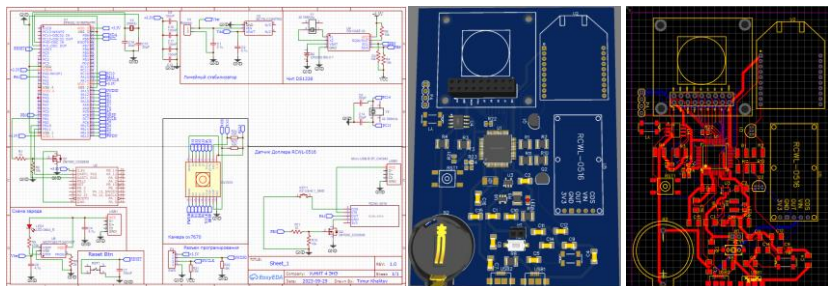


Рис. 1. Разработанный первый черновой вариант схемы и печатной платы

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – С. 229-233.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – No. 1. – С. 012109
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – С. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – T. 2096. – №. 1. – С. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Righttech IoT Cloud. Режим доступа: <https://righttech.io/>

© Халитов.Т.А., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., 2024

ГАЗОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АММИАКА В ВОЗДУХЕ

На сегодняшний день темпы развития промышленности и сельского хозяйства в мире достаточно велики. Сложно переоценить роль данных отраслей экономики, однако существует ряд проблем, напрямую связанных с их развитием, а именно неудовлетворительное качество воздуха на производственных площадках предприятий и в помещениях, непосредственно влияющее на здоровье людей и экологию. В почти каждом современном технологическом процессе используются датчики загазованности. Важными параметрами датчиков считаются чувствительность, воспроизводимость, гистерезис, время реакции, точность, срок службы и стоимость. Перспективными материалами для создания датчиков с такими параметрами являются тонкие пленки органических веществ [1].

Полупроводниковые и проводящие полимеры могут образовывать селективные слои, в которых взаимодействие между анализируемым веществом и полимером приводит к изменению такого физического параметра, как проводимость [2].

Органический резистивный датчик — это полупроводниковое устройство на основе органических материалов, которое реагирует на концентрацию анализируемого вещества, изменяя проводимость. Такие датчики дешевы, многие процессы их изготовления выполняются при комнатных температурах, а используемые технологии становятся все более простыми [3]. Созданы органические резисторы на основе тонких пленок, в которых полианилины (PANI), C60 и фуллеренпроизводные активно используются в качестве транспортного слоя [4].

В данной работе исследованы возможности использования органического резистора в качестве сенсора. На зазор алюминиевых контактов, находящихся на стекле методом центрифугирования наносилась пленка полианилина [5]. В других образцах осаждалась пленка фуллерена методом термического распыления из ячейки Кнудсена (рис. 1). Толщина полученных полимерных пленок достигала 300 нм.

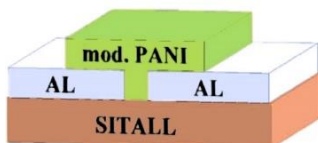


Рис. 1. Структурная схема резистивного датчика

На рис. 2 представлено быстродействие датчиков паров NH_3 , его характеризует кривая на рисунке 2, а, и оно составляет 2–3 с. Относительно медленное нарастание сигнала (рисунок 2, б) связано с установлением равновесной концентрации паров NH_3 в испытательной камере после внесения в нее небольшой капли аммиачного раствора. Пары аммиака не оказали влияния на проводимость пленок С60 [6].

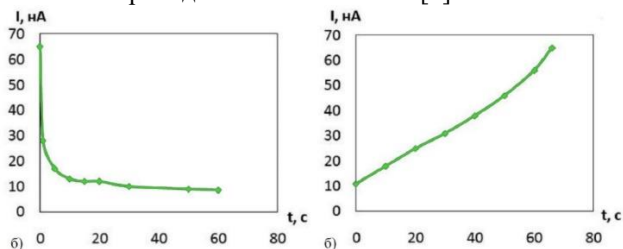


Рис. 2. Характеристики резистивного датчика на основе пленки ПАНИ: зависимость тока от времени при резком уменьшении концентрации паров NH_3 (а), зависимость тока от времени при резком уменьшении концентрации паров NH_3 (б) зависимость тока от времени нахождения в среде с парами NH_3 (б)

Литература

1. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Mullagaliev, I. N., Salikhov, S. M., Salikhov, R. B., & Usmanova, G. S. (2021). Polymerization of new aniline derivatives: synthesis, characterization and application as sensors. *RSC advances*, 11(34), 21006-21016.
2. R. B. Salikhov, I. N. Mullagaliev and T. R. Salikhov. *Mendelevov Commun.*, 2023. 33, 320–322,
3. Andriianova, A. N., Salikhov, R. B., Latypova, L. R., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Mustafin, A. G. (2022). The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives. *Sustainable Energy & Fuels*. 6(14), C.3435-3445.
4. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., & Teres, Y. B. (2022). Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers. *Mendelevov Communications*. 32(4), C.520-522.
5. A. R. Tuktarov., R. B. Salikhov., Artur A. Khuzin., N. R. Popod'ko., I. N., Safargalin., I. N. Mullagaliev., Usein M Dzhemilev (2019). Photocontrolled organic field effect transistors based on the fullerene C 60 and spiropyran hybrid molecule, 9(13), C.7505-7508.
6. 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.

© Рогашев Е.А., Салихов Р.Б., 2024

Сагидуллина А.Р., маг. 1-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Сафаргалин И.Н., к.ф.-м.н., асс. 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

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В ПОМЕЩЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ RFID С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IOT

В настоящее время популярность продуктов умного устройств контроля доступа постоянно растет [1-5]. При нарастающем разнообразии потенциальных угроз особое внимание уделяется обеспечению безопасности на различных объектах – от учебных учреждений и офисов до крупных бизнес-центров и предприятий. Помимо обычных сотрудников охраны, осуществляющих контроль, широко применяются технические устройства и системы, которые существенно улучшают функциональность службы безопасности. Одной из задач является разработка программно-аппаратного комплекса для реализации системы контроля доступа в помещении с использованием телеграмм-бота. Автономные системы с базовым набором функций применяются на небольших объектах, где нет необходимости объединять контролируемые объекты в единый комплекс с централизованным управлением. Комплектация таких систем включает в себя исполнительный элемент, считыватель и контроллер. Недорогие комплексы, состоящие из нескольких контроллеров, позволяют обрабатывать большое количество информации и обслуживать большое количество пользователей. Программирование, сбор и анализ информации, создание отчетов и отслеживание ситуации на объекте осуществляются с помощью компьютера для повышения эффективности работы системы. Лучшие многоуровневые сетевые комплексы для масштабирования с контроллерами, объединёнными в локальные сети, от ведущих производителей

В данном проекте мы предлагаем бюджетную версию, более удобную для всех пользователей. На основе идеи был собран и проверен на работоспособность макетный образец устройства на Nucleo F401RE, модуль считывания/записи RFID меток RFID-RC522, реле, Wifi-модуля ESP8266, позволяющий получить доступ к облачному хранилищу, содержащему логику контроля доступа на объект и алгоритмы оповещения. Данная логика была разработана в облачном сервисе Rightech [6]. В конечном итоге, реализованные в облаке алгоритмы обрабатывают данные, поступающие со считывателя, и формируют сообщение телеграмм-боту с информацией о состоянии замка установленного на двери (дверь открыта или дверь закрыта). Идея проекта заключается в

создании устройства контроля доступа, которое открывает доступ в помещение и отправляет оповещения телеграмм-боту.

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

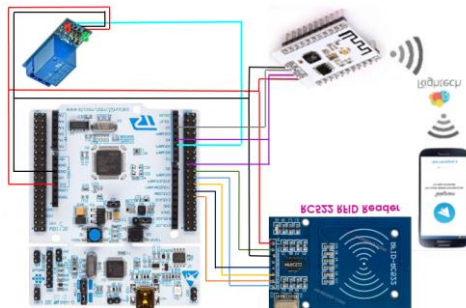


Рис. 1. Структурная схема макета устройства

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. – Т. 2096. – No. 1. – С. 012109.

2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – С. 229-233. EDN: LAWPLM0

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

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

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

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

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

Гильманов Д.Р., маг. 1-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Сафаргалин И.Н., к.ф.-м.н., асс. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Салихов Р.Б., д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Абдрахманов В.Х., к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОСВЕЩЕНИЕ, АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ С ПОМОЩЬЮ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА RIGHTECH И ТЕЛЕГРАММ-БОТА

В настоящее время интерес к продуктам умного освещения постоянно возрастает, причем рынок умного света является самым быстрорастущим сегментом в индустрии, занимающейся производством осветительного оборудования. Основной целью является разработка комплексной программно-аппаратной системы, предназначенной для реализации умного освещения в помещении с использованием телеграмм-бота. Данный проект направлен на создание инновационной системы освещения, которая обеспечивает удобство управления освещением в помещении с помощью мобильного устройства и обладает потенциалом для улучшения энергоэффективности и комфорта пользователей [1-5].

Известно много аналогов, от умных ламп Rubitek RL-3101 за 500 рублей до умных световых панелей Yeelight Motion Sensor Closet Light за 2400 рублей. Из минусов данных приборов: лампы подключаются каждая отдельно к Wi-fi сети, что лишний раз нагружает сеть и создает «помехи». Использование Wi-Fi лампочек оправданно только в небольшом количестве, как правило в отдельно стоящих светильниках. Предлагается бюджетная версия с более гибким дизайном.

Был собран и проверен на работоспособность макетный образец устройства на Nucleo F401RE, датчик KY-032, реле, Wifi-модуля ESP8266 (рис. 1). Логика разработана в облачном сервисе Rightech [6]. Устройство включается при приближении руки к датчику препятствия и отправляет информацию телеграмм-боту о состоянии освещения. Проект способствует экономии электроэнергии, так как оно активируется только при обнаружении присутствия людей в помещении, что снижает излишние расходы электричества. Важно учесть, что для обеспечения наилучшей производительности устройства необходимо наличие Wi-Fi роутера в рабочем помещении.

Мое устройство предназначено для установки в любом помещении, будь то квартира или офис, и представляет собой более доступный по цене вариант в сравнении с существующими аналогами. Оно оснащено функцией мониторинга уровня освещенности в помещении и может предоставлять уведомления о состоянии освещения в телеграмм-боте. Помимо этого, управление устройством настолько просто, что им может

воспользоваться любой, включая младенцев, так как для включения автоматического освещения достаточно просто провести рукой около встроенного датчика. Как недостаток можно отметить, что для оптимальной работы устройства необходимо наличие Wi-Fi роутера в помещении, где оно будет использоваться.

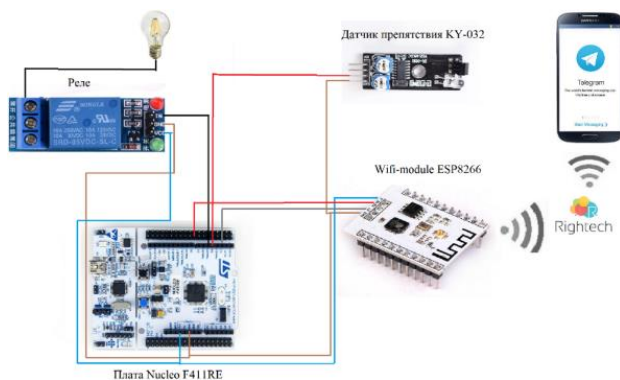


Рис. 1. Структурная схема макетного образца устройства

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. - Т. 2096. - No. 1. - С. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 229-233. EDN: LAWPLM0
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - № 1. - С. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Righttech IoT Cloud. Режим доступа: <https://righttech.io/>

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

Лазарев Н.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

УДАЛЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ НА УМНОЙ ФЕРМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ЗВУКА, ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

В данное время существует огромное количество различных IoT устройств, способных мониторить множество параметров окружающей их среды [1-5]. Я разработал свой проект Умная ферма на LoRaWAN с использованием датчиков звука, температуры и влажности. Он выделяется на фоне других тем, что имеет следующие преимущества: надёжная связь устройства и владельца с помощью LoRaWAN (маломощная беспроводная сеть для передачи данных) и бота работающего через Telegram, энергоэффективность: устройство может работать от батареи и затрачивает меньше энергии за счёт спящего режима, который действует до тех пор, пока устройство не начнет улавливать скачки отслеживаемого параметра, большое расстояние работы устройства, которое осуществляется за счёт модуля RAK-811 LoRaWAN, на которых работает устройство, это намного лучше сети Wi-Fi, которая имеет малый радиус действия и высокое энергопотребление, и в результате может требовать проведения кабельного питания для модема в труднодоступные места.

Работоспособность устройства проверена на макете с использованием STM32 Nucleo, датчиков, модуля RAK-811, облачного сервиса Rightech.io [6] и Telegram-бота. На рис. 1 приведены отображение данных с датчиков в Rightech.io и макет устройства.

Что касается принципа работы устройства: микроконтроллер, который запитан от батареи, находится на ферме, которая может не иметь какой-либо круглосуточной охраны, и находится в спящем режиме, от часов реального времени периодически просыпается и считывает параметры, также может применяться режим пробуждения при резком повышении уровня звука если животные забеспокоились, превышение температуры или влажности в помещении устройство с помощью модуля LoRaWAN отправляет параметры на сервер Rightech.io, который их обрабатывает через алгоритмы логики и далее отправляет оповещение в Telegram владельца, через специального бота, которого мы запрограммировали ранее. Поскольку устройство имеет датчик влажность и температуры

SHT30 то оно способен работать подобным образом для растений, измеряя температуру, влажность и давление воздуха внутри теплиц. При превышенных параметрах окружающей среды растений, владелец будет получать оповещение в Telegram о скачках параметров, например как: «повышенная температура», «повышенная влажность», «низкая температура» и т.д. [6].



Рис. 1. Отображение данных с датчиков в Righttech.io и макет 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. - Т. 2096. - No. 1. - С. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 229-233. EDN: LAWPLM0
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - № 1. - С. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Righttech IoT Cloud. Режим доступа: <https://righttech.io/>

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

Фролов 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

КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN

Технический прогресс не стоит на месте, и нужды человека в удобстве продвигают его вперед. Интернет вещей (IoT) объединяет устройства в компьютерную сеть и позволяет им собирать, анализировать, обрабатывать и передавать данные другим объектам через программное обеспечение, приложения или технические устройства [1-5]. Беспроводными решениями, наиболее подходящими для IoT, являются сети с низким энергопотреблением, такие как LoRaWAN, которые наиболее подходят для автоматизации в сельском хозяйстве и в районах с плохим покрытием сотовой связи. Поскольку эта сеть не получила широкого распространения в России, для ее развертывания потребуется базовая станция. LoRaWAN характеризуется низкой степенью защищенности. Чипы LoRa запатентованы Semtech. Однако обладатель патентов не против того, чтобы оборудование производилось несколькими компаниями. Кроме того, конечные устройства производят несколько десятков сторонних производителей. В результате пользователю доступно множество экономичных и эффективных вариантов построения IoT-решений на базе LoRa. Аналоги моего устройства я нашел следующие: LJ8A3-1-Z-BX - индуктивный датчик металла, датчик приближения малой квадратной индуктивности SZ04-AC, Gate-Sensor-Metal - сенсор металла.

Работоспособность устройства проверена на макете с использованием STM32 Nucleo, датчика касания металла KY-036, модуля RAK-811, облачного сервиса Rightech.io [6] и Telegram-бота. На рис. 1 приведены макет устройства и логика работы в Rightech IoT Cloud. Принцип работы устройства прост: датчик касания прикрепляется в месте соприкосновения металлических конструкций. При приближении металла он срабатывает. Устройство подключается и отправляет снятые с датчика данные в облачную платформу Rightech IoT Cloud, где настраиваются значения, при которых срабатывает датчик и облако пришлет сообщение «Металл!» в Telegram бот.

Программный продукт Rightech IoT Cloud от компании-разработчика КОМНЭТ является фреймворк-инструментом и предназначен для быстрого создания разработчиками приложений интернета вещей.

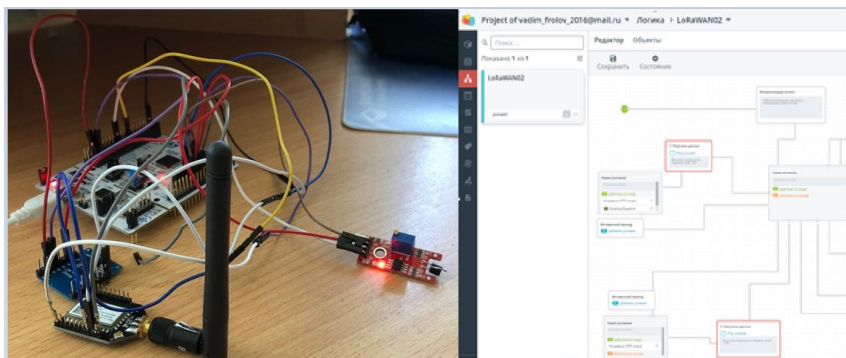


Рис. 1. Макет устройства и логика работы в Rightech IoT Cloud

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - No. 1. - С. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 229-233. EDN: LAWPLM0
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - №. 1. - С. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>

© Фролов В.В., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., 2024

Валиев В.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

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ NBІОТ

С появлением интернета вещей (IoT), особенно с применением технологии NBІoT, системы мониторинга персонала стали более эффективными и доступными, что способствует упрощению процесса контроля и управления работниками. Внедрение NBІoT позволяет осуществлять более надежную и дальнюю связь, обеспечивая более точное отслеживание перемещений персонала и оперативную реакцию на чрезвычайные ситуации. [1-5]

На рынке существует несколько аналогов персональных трекеров, таких как "ГдеМоиS20" и "Minifinder Pico v.2", оборудованных датчиками удара и тревожными кнопками. Однако их основным недостатком является использование LTE для передачи данных о местоположении, что ограничивает их функциональность и эффективность. Также автономность, у "ГдеМоиS20" она составляет 250 часов при частоте один раз в час при ёмкости аккумулятора 1200 mAh, а у "Minifinder Pico v.2" 160 часов при частоте отправки один раз в час при ёмкости аккумулятора 800 mAh. В отличие от LTE, технология NBІoT обеспечивает более надежную и дальнюю связь. И имеет более низкое энергопотребление, например при ёмкости аккумулятора 1600 mAh и частоте отправки данных один раз в час, автономность составит примерно 360 часов, что намного больше, нежели, у аналогов. Таким образом, устройство на базе NBІoT предлагает более передовые возможности мониторинга и безопасности персонала [6].

С учетом вышеперечисленных преимуществ, разработан персональный трекер, использующий технологию NBІoT для более надежного и эффективного мониторинга персонала. Для начала проектирования выбран микроконтроллер STM32L151R8T6ATR, обеспечивающий низкое энергопотребление для длительной автономной работы. Затем использован модуль GPS CN-802G/B для точной локализации персонала. Все данные передаются в облачную платформу Rightech [7], где осуществляется их обработка и анализ. После этого, через SSH запросы, информация передается на Telegram бота, обеспечивая оперативное уведомление о местоположении и состоянии персонала.

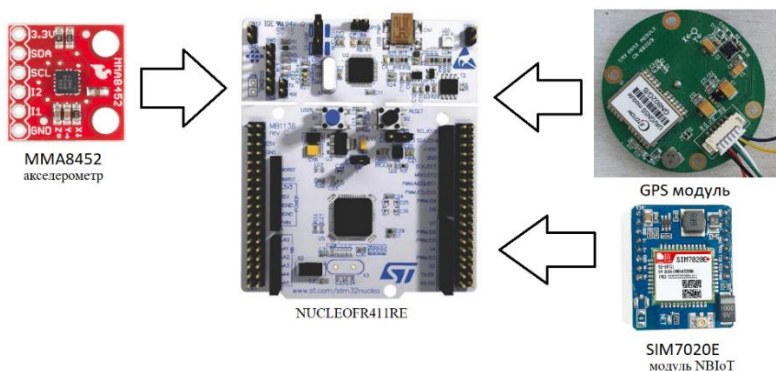


Рис. 1. Схема макета устройства с NUCLEOF411RE

Таким образом был разработан работоспособный макет с использованием NUCLEOF411RE, GPS модулем CN-802G/B, акселерометром MMA8452Q и модулем NB-IoT SIM7020E.

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – No. 1. – P. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 229-233.
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2021. – P. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 2096. – No. 1. – P. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Персональные GPS трекеры «Где мои». Режим доступа: <https://www.gdemoi.ru/gps-treker/s20/>
7. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>

© Валиев В.Р., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б., 2024

УДАЛЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОТЕЧКИ ТРУБОПРОВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN

Технологический прогресс постоянно развивается, и потребности людей в удобстве стимулируют этот прогресс. Интернет вещей (IoT) объединяет устройства в сеть, позволяя им собирать, анализировать и передавать данные другим объектам через программное обеспечение, приложения или технические устройства [1-5]. Датчик протечки - устройство, предназначенное для определения влажности от датчика до объекта. Упрощённо, принцип работы данного датчика можно представить следующим образом. При протечке он срабатывает. Устройство, которое устанавливается на трубопроводах и отправляет снятые с датчика данные в облачную платформу Rightech IoT Cloud [6], где устанавливаются значения, при которых срабатывает датчик. Если значения равно или больше порогового, то это значит, что произошла протечка и в облако отправляет сообщение «Вода!!» в Telegram бот. Специфика моего устройства в том, что оно может быть сделано малопотребляющим на батарейном питании, поскольку выбрана технология связи LoRaWAN. Предполагается что устройство будет находиться все время в спящем режиме, периодически пробуждаясь от часов реального времени. Также важное преимущество в том что LoRaWAN позволяет передавать из малодоступных мест, например подвалов, колодцев итд. и еще - может быть установлено в взрывоопасных зонах где нужно низковольтное питание.

На данный момент существуют аналоги моего устройства такие как: SM-NN002 [7], REXANT GS-243 [8], Нептун SW 005 [9]. Недостатки этих аналогов в том, что они проводные, а мой проект является беспроводным. Для проверки работоспособности устройства был собран макет (рис. 1), для создания макета были выбраны: STM32Nucleo, модуль приемопередатчика LoRaWAN, среда программирования: Mbed OS, облачный сервис Rightech IoT Cloud. Принцип работы проекта состоит в следующем: датчик протечки считывает состояние влажности на поверхности, данные посылаются в облачную платформу Rightech, где обрабатываются, и результат отправляется в телеграм-бот, откуда доходит до пользователя.

Rightech IoT Cloud — это бескодовая (no-code) IoT-платформа для быстрого создания прикладных проектов интернета вещей [6]. Программный продукт Rightech IoT Cloud от компании-разработчика КОМНЭТ является фреймворк-инструментом и предназначен для быстрого создания разработчиками приложений интернета вещей (ИВ). Платформа RIC реализована на принципах универсализации и имеет низкую зависимость от конкретного оборудования и протоколов, что позволяет легко объединять

разнородные устройства в едином разрабатываемом на платформе решении. Применяя инструменты платформы Райтек разработчики могут создавать ИВ-решения с малым количеством кода и с использованием готовых компонентов, повторно используя до 90% решений и запуская аналогичные кейсы.

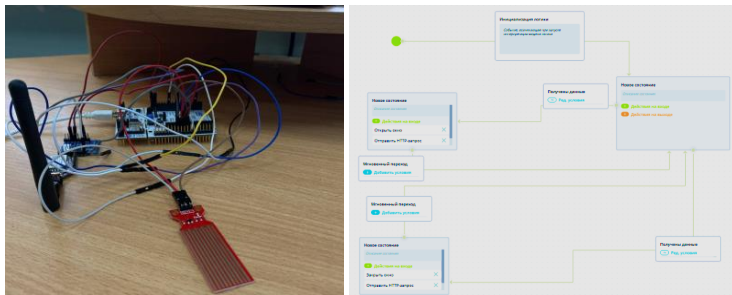


Рис. 1. Макет устройства и логика работы облачной части проекта

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - No. 1. - С. 012109.
2. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Yumalin T. T. Experience of Using Bluetooth Low Energy to Develop a Sensor Data Exchange System Based on the NRF52832 Microcontroller //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 229-233.
3. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology //2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). - IEEE, 2021. - С. 234-238.
4. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Popov S. A. Experience of Using EasyEDA to Develop Training Boards on the PIC16f887 Microcontroller //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2021. - Т. 2096. - No. 1. - С. 012098.
5. Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Салихов Т.Р., Важаев К.В., Мунтянова Т.Д. Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. № 3. С. 232-242.
6. Rightech IoT Cloud. Режим доступа: <https://rightech.io/>
7. SM-НН002. Режим доступа: <https://viropt.ru>
8. GS-115 REXANT. Режим доступа: <https://42unita.ru>
9. Neptun SW005. Режим доступа: <https://lunda.ru/>

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

Мухаметдинов Ч.Р.,
 маг. 1-го г. об. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа
 Терес Ю.Б., асп. 2-го г. об. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа
 Науч. рук.: Зильберг Р.А.,
 к.х.н., доц. ИХЗЧС УУНиТ, г. Уфа

ХИРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ СО (III) КАК МОДИФИКАТОРЫ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОМЕРОВ

Селективное, качественное и что не менее важно – доступное распознавание и обнаружение оптических изомеров лекарственных средств, биологически активных соединений и добавок, является актуальной задачей современной аналитической химии. Исследования в области электроаналитической химии представляют большой интерес в решении данной задачи. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры, модифицированные хиральными селекторами [1] удовлетворяют всем вышеизложенным требованиям.

Так как непосредственно голый сенсор не обладает способностью распознавать и определять оптические изомеры, а необходимые свойства приобретает посредством хирального селектора, таким образом предметом исследования являются хиральные селекторы, используемые для модифицирования сенсоров. В текущей работе были исследованы следующие модификаторы: $\Lambda(R,R)$ -Co-Cl, $\Lambda(R,R)$ -Co-PF₆, $\Delta(S,S)$ -Co-Cl, (1R,2R)-диаминоциклогексан, (1S,2S)-диаминоциклогексан (рис. 1).

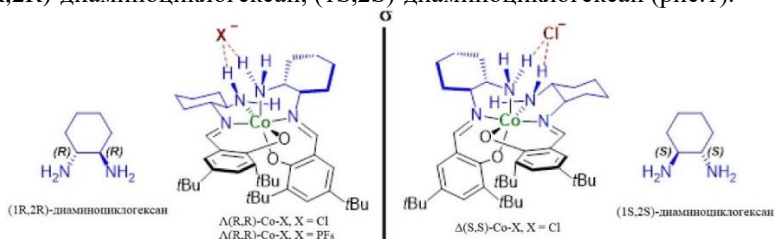


Рис. 2. Структура новых хиральных модификаторов

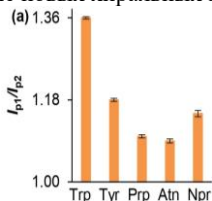


Рис. 3. Коэффициенты селективности различных биологически активных соединений на исследуемом сенсоре

Все измерения были выполнены в стандартной трехэлектродной ячейке, помещенной в клетку Фарадея, для лучшей воспроизводимости результатов.

Наибольшая эффективность наблюдалась на сенсоре модифицированном комплексом кобальта (III) с противоионом хлора (ПЭ/Λ(R,R)-Co-Cl) (табл. 1). Селективность данного модификатора по отношению к энантиомерам различных биологически активных веществ представлена на рисунке 2.

Табл. 1. Характеристики энантиоселективности сенсора, модифицированного новыми хиральными селекторами

| Сенсор | I _i /I _j (mA) | ΔE (mB) |
|------------------------------|-------------------------------------|---------|
| Голый сенсор | 1.02 | 0 |
| ПЭ/Λ(R,R)-Co-Cl | 1.36 | 35 |
| ПЭ/Λ(R,R)-Co-PF ₆ | 1.34 | 35 |
| ПЭ/Δ(S,S)-Co-Cl | 1.28 | 15 |
| (1R,2R)-диаминоциклогексан | 1.17 | 5 |
| (1S,2S)-диаминоциклогексан | 1.23 | 5 |

Сравнивая характеристики энантиоселективности разработанного сенсора и аналитические сигналы сенсоров, описанных в литературе следует вывод о высокой эффективности предложенного сенсора – ПЭ/Λ(R,R)-Co-Cl не уступает по своим характеристикам и даже превосходит сенсоры из литературных данных [2-4].

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (РНФ номер гранта. 23-23-00340; <https://rscf.ru/project/23-23-00340/>).

Литература

1. V. N. Maistrenko, R. A. Zil'berg Enantioselective Voltammetric Sensors on the Basis of Chiral Materials // Journal of Analytical Chemistry, 2020, Vol. 75, No. 12, P. 1514-1526.
2. Y. A. Yarkaeva, E. N. Islamuratova, L. R. Zagitova [et al.] A Sensor for the Recognition and Determination of Tryptophan Enantiomers Based on Carbon-Paste Electrode Modified by Enantiomorphic Crystals of Bromotriphenylmethane // Journal of Analytical Chemistry, 2021, Vol. 76, No. 11, P. 1345-1354.
3. Zagitova, L. R., Maistrenko, V. N., Yarkaeva, Y. A. [et al.] Novel chiral voltammetric sensor for tryptophan enantiomers based on 3-neomenthylindene as recognition element // Journal of Electroanalytical Chemistry, 2021, Vol. 880. – P. 114939.
4. Яркаева Ю. А., Исламуратова Е. Н., Загитова Л. Р. [и др.] Сенсор для распознавания и определения энантиомеров триптофана на основе модифицированного энантиоморфными кристаллами бромтрифенилметана угольно-пастового электрода // Журнал аналитической химии, 2021. Т. 76, № 11. С. 1038-1048.

© Мухаметдинов Ч.Р., Терес Ю.Б., Зильберг Р.А., 2024

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 3D – НАПЕЧАТАННОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6, ПОДВЕРГНУТОГО КВД И ТО

В настоящее время одним из наиболее привлекательных методов 3D-печати металлов и сплавов является проволочная электронно-лучевая аддитивная технология (ЭЛАТ), которая позволяет получать крупногабаритные изделия с высокой производительностью. Метод ЭЛАТ также позволяет получать изделия из труднодеформируемых сплавов, например, ВТ6, который широко используются в промышленности, благодаря своей высокой удельной прочности, коррозионной стойкости и жаростойкости. Однако, сплав ВТ6, полученный методом ЭЛАТ обладает меньшими прочностными характеристиками, чем, тот же сплав полученный традиционными методами [1].

В этой связи, повышение механических свойств 3D-напечатанного титанового сплава ВТ6 является актуальной задачей. Для решения этой задачи в настоящей работе 3D-напечатанный сплав ВТ6 подвергали деформационно–термическим обработкам, включающим интенсивно пластическую деформацию, при различных режимах для формирования в нем высокопрочностного состояния. В качестве деформационной обработки использовали метод кручения под высоким давлением (КВД), который является наиболее эффективным для измельчения зеренной структуры [2]. В качестве термических обработок применяли: закалку + отпуск (ТО1) и отжиг для снятия внутренних напряжений (ТО2).

Микроструктуру сплава после различных деформационно-термических обработок исследовали, используя оптическую микроскопию (ОМ) и просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ).

Механическое поведение материала оценивали посредством измерения микротвердости по Виккерсу и испытаний на одноосное растяжение малых образцов при комнатной температуре со скоростью растяжения 10^{-4} с^{-1} .

Результаты механических испытаний 3D-напечатанного сплава ВТ6 в различных состояниях представлены на рисунке 1. Также, в таблице 1 представлены численные значения механических свойств сплава ВТ6 в различных состояниях.

Полученные результаты демонстрируют, что комбинированная деформационно-термическая обработка: КВД + ТО1+ КВД + ТО2

позволяет формировать в 3D-напечатанном методом ЭЛАТ титановом сплаве ВТ6 высокопрочное состояние с пределом текучести и прочности - 1620 ± 25 и 1705 ± 30 , соответственно. Полученные прочностные свойства обусловлены формированием в объеме материала ультрамелкозернистой структуры с вероятным выделением зернограницных сегрегаций.

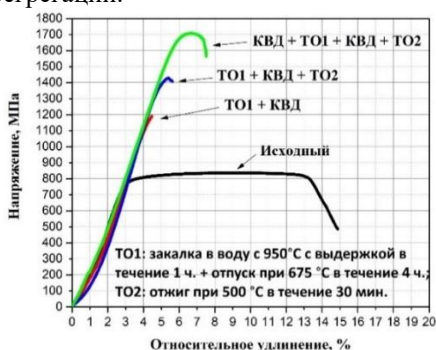


Рис. 4. Кривые растяжения 3D-напечатанного титанового сплава ВТ6 в различных состояниях

Табл. 1. Механические свойства 3D-напечатанного титанового сплава ВТ6 в различных состояниях

| Состояние | Предел прочности σ_B , МПа | Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа | Относительное удлинение δ , % |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Исходный | 825 ± 25 | 750 ± 20 | $13,00 \pm 3,50$ |
| ТО1 + КВД | 1190 ± 25 | 1170 ± 20 | $0,10 \pm 0,05$ |
| ТО1 + КВД + ТО2 | 1420 ± 25 | 1345 ± 25 | $1,00 \pm 0,20$ |
| КВД + ТО1 + КВД + ТО2 | 1705 ± 30 | 1620 ± 25 | $2,70 \pm 0,40$ |

Литература

1. Panin A. V., Kazachenok M. S., Panin S. V., Berto F. Scale levels of quasi-static and dynamic fracture behavior of Ti-6Al-4V parts built by various additive manufacturing methods // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2020. Vol. 110. P. 102781.
2. Valiev R. R., Panin A. V., Usmanov E. I., Savina Y. N., Valiev R. Z. Microstructural Transformation and Enhanced Strength of Wire-Feed Electron-Beam Additive Manufactured Ti-6Al-4V Alloy Induced by High-Pressure Torsion // Advanced Engineering Materials. 2024, Vol. 26, no. 4, P. 2300814.

© Шарафутдинов Д.А., Усманов Э.И., Валиев Р.Р., 2024

ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Молекулы донора-акцептора электронов представляют огромный интерес в молекулярной и органической электронике из-за их внутримолекулярного переноса заряда, управляемого посредством электрического или оптического возбуждения. Важно сохранение их электронного характера в основном состоянии при адсорбции на поверхности. В зависимости от места адсорбции молекула находится либо в практически невозмущенном свободном состоянии, либо в связанном состоянии [1]. Производные полианилина обладают фоточувствительностью [2]. Например, у производных фуллерена поглощение света сосредоточено преимущественно в коротковолновой и ультрафиолетовой области [3].

В данной работе исследованы фуллерен и фоточувствительное вещество и производная полианилина. Из тонких пленок данных веществ были изготовлены фототранзисторы. На рис. 1 представлены вольтамперные характеристики первой пары веществ.

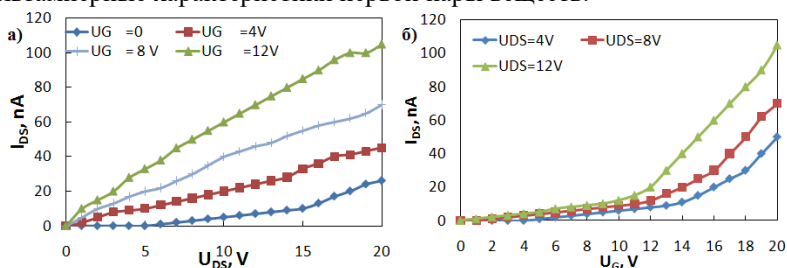


Рис. 1. (А) выходные, (Б) передаточные характеристики отдельных пленок фуллерена и фоточувствительного вещества

Характеристики имеют нелинейный характер. Темновой ток в районе 1 нано ампера, а под облучением ток возрастает в n раз.

На рис. 2. представлены выходные и передаточные характеристики фототранзистора с тонкой пленкой производной полианилина. Под облучением ток возрастает в 1000 раз с 1 нА до 1000 нА. Время нарастания под действием облучения 1 с.

Шероховатость поверхности фуллерена 3 нм, а производной полианилина 24 нм (рис. 3).

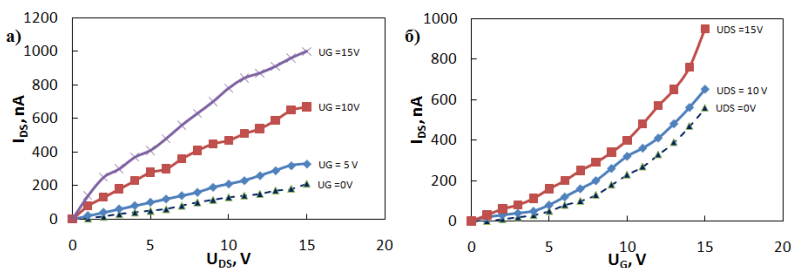


Рис. 2. Выходные и передаточные характеристики фототранзистора с тонкой пленкой производной полианилина

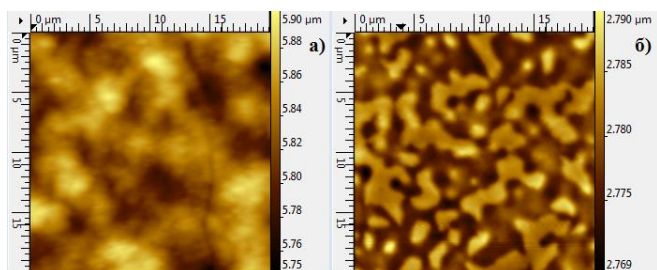


Рис. 3. Морфология поверхности активных слоев (а) производной полианилина и (б) фуллерена

Ток меньше у фуллерена из-за того, что пленка фоточувствительного вещества создана отдельно.

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

Литература

1. Meier, T., Pawlak, R., Kawai, S., Geng, Y., Liu, X., Decurtins, S., Napala, P., Baratoff, A., Shi-Xia Liu, Jelínek, P., Meyer, E., Glatzel, T. Donor–acceptor properties of a single-molecule altered by on-surface complex formation // *ACS nano*, 2017, v. 11, №. 8, pp. 8413-8420.

2. 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., pp. 228.

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

© Мухитова Л.Р., Муллагалиев И.Н., 2024

САМОБАЛАНСИРУЮЩИЙСЯ РОБОТ

Нам кажется, что многие находятся под сильным впечатлением от быстро развивающихся технологий современного мира, одними из таких впечатляющих технологий являются двигатели от RYNO и самобалансирующиеся скутеры от Segway. И нам захотелось создать что-либо подобное. Поэтому в данной работе мы рассмотрим создание DIY (сокращение лозунга «Do it Yourself», который можно перевести как «сделай сам») самобалансирующегося робота на основе платы Arduino [1, 2]. Работает такой робот по принципу обратного маятника (рис. 1).

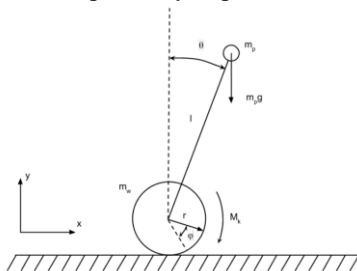


Рис. 1. Система обратного маятника

Маятник - это масса m_p , прикрепленная на конце невесомого стержня длины l . На другой конец стержня прикреплен двигатель, развивающий максимальный момент M_k и передающий его на колесо массой m_w и радиусом r . Задача управления — стабилизировать маятник в вертикальном положении. Помимо этого, мы поставили еще одну задачу: робот должен уметь проходить лабиринт.

Необходимые компоненты:

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 рисунке 2.

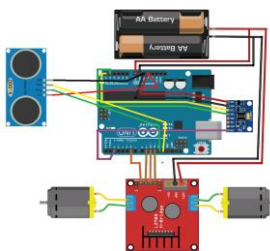


Рис. 2. Структурная схема самобалансирующегося робота

Шасси будущего робота планируем напечатать на 3D-принтере.

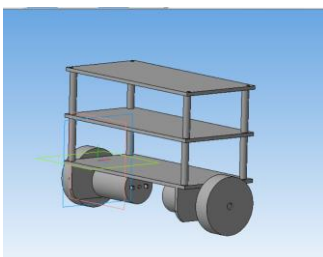


Рис. 3. Примерный макет шасси робота, спроектированный в системе Компас 3D

Далее все напечатанные компоненты будут собраны в шасси. А также будет написан программный код для управления роботом, который будет позволять нашему роботу находить выход из лабиринта.

Литература

1. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ – Петербург, 2015. – 464 с.: ил. – (Электроника).

2. Мочалов А.Н., Вафин Д.А., Валиев Д.А., Шарипов Т.И. Новые способы построения современных роботов. // *Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2023»*: тезисы докладов XIV Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной посвящённой 75-летию юбилею профессоров Я.Т. Султанаева и М.Х. Харрасова. – Уфа: РИЦ УУНИТ, 2023. – С. 79.

© Садыков Р.Р., Шарипов Т.И., 2024

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КАРОТАЖ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Геофизические методы исследования скважин, базирующиеся на современных физических методах исследования горных пород, используются для изучения геологического строения недр по скважинным разрезам, выявления и оценки запасов углеводородного сырья, использования промыслово-геофизической информации при проектировании, контроле и анализе разработки месторождений нефти и газа и технического состояния скважин [1].

В последние годы разработаны новые методы геофизического исследования скважин (ГИС), повсеместно внедряется современная геофизическая аппаратура, позволяющая оперативно производить комплексную обработку и интерпретацию промыслово-геофизической информации с помощью ЭВМ и персональных компьютеров, использующих новейшие средства программного обеспечения.

В настоящее время одним из методов исследования скважин является метод высокочастотного электромагнитного каротажа (ВИКИЗ).

Скважинный прибор работает следующим образом. Переменный ток в генераторной катушке возбуждает в окружающей среде электромагнитное поле. Это поле наводит в измерительных катушках Э.Д.С., зависящую от электрофизических свойств горных пород. Далее усиленные и сформированные сигналы подаются на входы АЦП, который производит измерение амплитуды и разности фаз $\Delta\varphi$ между входными сигналами и их периодами T [2]. Работа всех электронных узлов выполняется по специальной программе.

Полученные экспериментальные данные (рис. 1 или приложения 1) с действующего прибора ВИКИЗ в контрольно-поверочной скважине соответствуют эталонным значениям.

Литература

1. М. Eпов, С. Suhorukova, V. Glinskikh, M. Nikitenko, O. Nechaev, I. Surodina // Effective Electromagnetic Log Data Interpretation in Realistic Reservoir Models // Open Journal of Geology, 2013, с. 81-86.

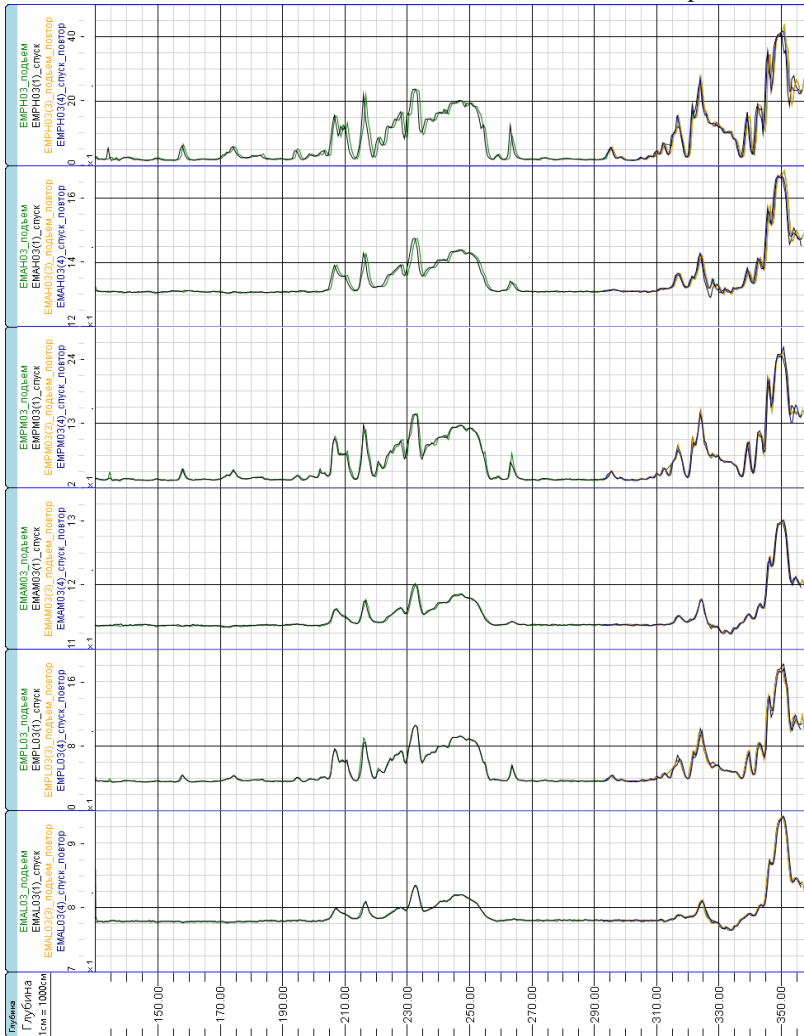


Рис. 1. Результаты исследования в контрольно-поверочной скважине. EMAL03/EMAM03/ EMAN03 – амплитудные затухания на низкой/средней/высокой частотах (dB);
Графики EMPL03/ EPM03/ EMRN03 – фазовые сдвиги на низкой/средней/высокой частотах (град.)

НАБЛЮДЕНИЕ МОЛЕКУЛ ДНК. ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) является важным биополимером, одна из ключевых функций которой заключается в сохранении и передаче наследственной информации при функционировании живых организмов. С динамичным развитием нанотехнологий ДНК все чаще используется в качестве компонента для создания наноразмерных устройств [1-3]. Особенности физико-химические свойства дезоксирибонуклеиновой кислоты такие как: комплементарность цепочек, относительно большая жесткость, высокая плотность заряда позволяют в свою очередь создавать наноструктуры, приводящие к решению задач не только в области биологии и молекулярной медицины, но и нанoeлектроники. В связи с этим немаловажный интерес представляет изучение степени проводимости молекул ДНК.

В настоящее время одним из методов исследования различных микро- и нанообъектов является метод сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

После настройки зондового микроскопа мы сканировали на нем приготовленный образец молекулы ДНК, иммобилизованный на свежем сколе слюды. Для обработки полученных результатов использовалось специальное программное обеспечение NT-MDT Nova Pх.

Для получения четкого изображения характерных для молекул ДНК цепочек мы выбирали разные области сканирования (рис.1). На данном рисунке мы наблюдаем характерную для молекул ДНК цепочку (левый верхний угол).

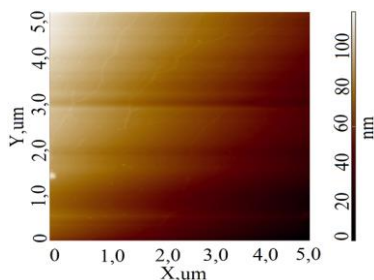


Рис. 1. АСМ-изображение поверхности слюды с нанесенными ДНК

Также для получения более качественного изображения мы применяли сглаживающие фильтры (рис. 2), которые позволяют увидеть более детализированную структуру.

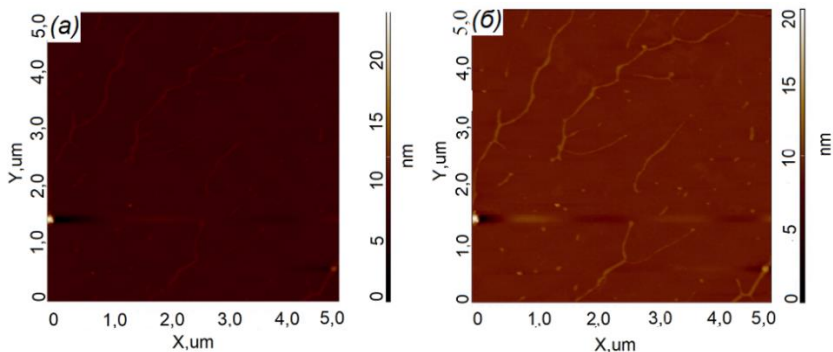


Рис. 2. АСМ-изображение поверхности слюды с нанесенными молекулами ДНК после применения фильтров

В частности, мы можем наблюдать больше цепочек ДНК, нежели на рисунке 1. А также более четко видны все структурные особенности иммобилизованных молекул.

Рисунок 2а получен при применении фильтра Subtraction Average – усредняет полученные значения при вычитании плоскости. Рисунок 2б получен при помощи фильтра Subtraction 3Order – позволяет произвести вычитание плоскости 3-его порядка.

Литература

1. Seeman, N.C// Current Option in Structural Biology. 1996. № 4. P. 519-526.
2. Goodman, R.P., Schaap LAT., Tardin C F et. al. // Science 2005. № 5754. P. 1661-1665.
3. Alivisatos P., Johnsson K. Peng X, et al. // Nature. 1996. № 382. P. 609-611.

© Абдрахимов С.А., Шарипов Т.И., 2024

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-АКУСТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА, КОТОРОЕ ПРЕОБРАЗУЕТ ЗВУКОВОЙ СИГНАЛ FUZZ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЭФФЕКТОМ DELAY

(FUZZ с дополнительным эффектом Delay) – представляет собой высококачественное аудиоустройство, которое предназначено для гитаристов и музыкантов. Основной функционал педали FUZZ с дополнительным эффектом Delay включает в себя насыщенный и динамические звуковые эффекты, который можно настроить в зависимости от предпочтений музыканта. Педаль обладает регуляторами для настройки уровня громкости, тона и уровня искажения или насыщенности звука. Области применения продукции – Продукт электронно акустическое устройство изменяющее звук типа (FUZZ с дополнительным эффектом Delay) может быть использован в широком спектре областей и сфер деятельности.

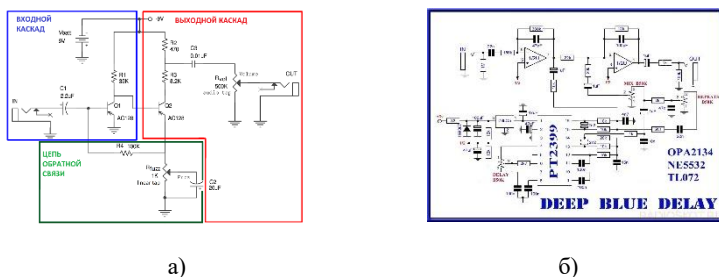


Рис. 1. Схема для Fuzz и Delay эффекта:
а) Схема для Fuzz; б) Схема Delay

На схемах (рис. 1) мы видим два эффекта Fuzz и Delay, которые соединены в одну схему для получения универсального и неповторимого звукового сигнала.

Литература

1. Smith, J., & Jones, R. (2017). Principles of Electronic Music Technology. Publisher.
2. Davis, K. (2015). Analog and Digital Filters: Design and Signal Processing. Publisher.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕБНОЙ АУДИТОРИИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Микроконтроллеры – это маленькие вычислительные устройства, которые используются для управления и контроля различных устройств и систем. В контексте умных классов, микроконтроллеры позволяют автоматически управлять освещением, температурой и другими параметрами класса на основе информации от сенсоров. Они также позволяют взаимодействовать с другими устройствами в классе, такими как планшеты, ноутбуки, интерактивные доски и т.д.

IoT - это концепция, основанная на идее связывания устройств и предметов в единую сеть. В контексте умных классов, IoT позволяет соединять все устройства в классе, такие как микроконтроллеры, сенсоры, устройства управления, планшеты, ноутбуки и т.д., в единую систему. Это позволяет управлять классом, обмениваться информацией и заданиями, а также создавать более интерактивную и динамичную образовательную среду.

Умные классы - это классы, которые используют современные технологии, такие как IoT и микроконтроллеры, для автоматизации и оптимизации процесса обучения. В умных классах используются системы автоматического управления, которые оптимизируют условия в классе на основе информации от сенсоров. Они также позволяют создавать персонализированные образовательные программы, а также взаимодействовать с учениками через интерактивные платформы.

В исследовании рассматривается проблема повышения эффективности образовательного процесса с помощью автоматизации учебной аудитории на базе микроконтроллера. Обосновывается актуальность данной проблемы в свете быстрого развития информационных технологий и необходимости адаптации образования к современным требованиям. Исследование предлагает новаторский подход к решению данной проблемы с использованием микроконтроллера, как передового технического решения.

Методология исследования включает анализ литературных источников по теме автоматизации учебной аудитории и роли микроконтроллера в этом процессе. Также проведен анализ существующих автоматизированных систем учебных аудиторий на базе

микроконтроллеров и их функциональных возможностей. Для подтверждения эффективности предлагаемого подхода были проведены экспериментальные исследования, включающие создание прототипа автоматизированной системы учебной аудитории на базе микроконтроллера, тестирование и анализ полученных результатов.

Выводы исследования подтверждают эффективность автоматизации учебной аудитории на базе микроконтроллера для повышения качества и эффективности образовательного процесса. Предложенный подход позволяет оптимизировать управление учебным процессом, автоматизировать функции контроля и мониторинга, а также создать комфортные условия для обучения и взаимодействия преподавателей и студентов. Результаты исследования могут быть использованы в практике образования для внедрения автоматизации учебных аудиторий на базе микроконтроллера с целью оптимизации образовательного процесса.

Литература

1. А.Е. Васильев. Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 304 с.
2. А.Ю. Кузьминов. Связь между компьютером и микроконтроллером. Современные аппаратные и программные средства. – М.: Перо, 2018.
3. Д.И. Мамичев. Программирование на Ардуино. От простого к сложному. – М.: Солон-Пресс, 2018. – 244 с.
4. А.В. Белов. ARDUINO. От азов программирования до создания практических устройств. – М.: Наука и техника, 2018. – 480 с.

© Валиев А.И., Шарипов Т.И., 2024

Мочалов А.Н.,
асп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарипов Т.И.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РОЯ ДРОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Концепция роя дронов, управляемого искусственным интеллектом, представляет собой уникальное решение для координированного выполнения задач в различных областях. Основные принципы и преимущества этой концепции включают коллективный интеллект. Дрон в рое обладает собственными вычислительными и сенсорными возможностями, а также доступом к общей базе данных искусственного интеллекта.

Благодаря этому, каждый дрон способен быстро адаптироваться к изменяющимся условиям, принимать решения в реальном времени и изменять свое поведение для достижения оптимальных результатов.

Использование искусственного интеллекта позволяет рюю дронов оптимизировать свои действия с учетом безопасности и эффективности, минимизируя риски столкновений, конфликтов и ошибок.

Разработка и внедрение роя дронов с искусственным интеллектом требует комплексного подхода

Литература

1. Кудасова А.С., Тютин А.Д., Сокольников Э.В. // ИВД. 2021. № 8 (80).
2. Вагдаев К.В., Аллабердин А. Б., Изарипов И. А., // УГНТУ. 2022. С. 615-623

© Мочалов А.Н., Шарипов Т.И., 2024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПЛАТЫ RASPBERRY PI 4 В КАЧЕСТВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УХОДА ЗА ДОМАШНИМИ ПИТОМЦАМИ

Суть работы заключается в совместном применении возможностей Raspberry Pi 4 и различных датчиков, компьютерных алгоритмов для помощи ухода за питомцами. Система позволяет применять технологию как для грызунов и пернатых питомцев, так и для собак, проживающих в уличной будке. Учитывая различные погодные условия и сопутствующие состояния питомца, комплекс оборудования позволяет не тратить время на регулярные действия, освобождая хозяина от рутинных забот. Так, например, в автоматическом режиме включается обогреватель, вентилятор, установленные в будке или возле места постоянного обитания питомца в помещении, при определенных погодных условиях, подается нормировано корм в определенное время и отслеживается количество и состояние воды в миске. Raspberry Pi 4 в данном проекте применяется как головное устройство, которое обеспечивает оценку получаемых данных с различных датчиков и отправление необходимых команд подвижным механизмам, прописанных в алгоритме. Для функционирования и взаимодействия с Raspberry Pi 4 необходимо иметь монитор с сенсорным дисплеем, чтобы отдавать принудительные команды, если есть такая необходимость. Система так же отображает метаданные, а именно: наполненность лотка, мисок корма и воды, состояние и температура воды в баке, количество корма в баке, расход воды и корма за определенный промежуток времени, состояние трубок для подачи воды в миску (при необходимости включается обогрев трубок), состояние внешних источников питания системы и датчиков (аккумуляторы или проводка), время активности питомца и его местонахождение (GPS-ошейник), информация о времени прогулки, ее длительности, пройденного расстояния, применение системы видеонаблюдения для проверки питомца посредством видеотрансляции в реальном времени. Все описанные действия структурируются, учитываются для анализа и отображаются на мониторе, соединенного с Raspberry Pi 4. Система позволяет присматривать за питомцем в отсутствие хозяина и быть спокойным за его состояние. Для реализации данного проекта необходимо применение Raspberry Pi 4 для сбора и анализа полученных данных, монитора с сенсорным дисплеем для отображения информации и

взаимодействия с системой, набор датчиков для контроля за объектами (еда, вода, лоток, и прочее), обмена информацией между датчиками, которые подсоединены к Arduino и Raspberry Pi 4, механизмов для выполнения команд (подача воды, корма, обогрев трубок, охлаждение и прочее). Помимо прочего можно запустить сервер на Raspberry Pi 4, чтобы был доступ к системе не только в непосредственной близости к головному устройству, а также удаленно – с помощью мобильного устройства, имеющего выход в сеть интернет. Обмен данными и сигналами в пределах квартиры осуществляется с помощью wifi-соединения, при более больших расстояниях рекомендуется применение радиосигналов или иными способами обмена данными на расстоянии.

В докладе будут представлены результаты проектирования схемы реализации вышеописанной системы.

© Мусин А.А., Шарипов Т.И., 2024

ПОЛУЧЕНИЕ АСМ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДНК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ

Стремительное развитие нанотехнологий делает дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) одним из важнейших биополимеров. Основная функция ДНК — сохранение и передача наследственной информации в живых организмах. Особые физико-химические свойства ДНК, такие как комплементарность цепочек, высокая плотность заряда и жёсткость, позволяют создавать наноструктуры, которые помогают решать задачи не только в биологии и молекулярной медицине, но и в нанoeлектронике [1].

Поэтому изучение проводимости молекул ДНК представляет большой интерес [2]. В частности, для более детального изучения структуры молекулы ДНК используется сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) в режиме атомно-силового микроскопа (АСМ).

Получение АСМ изображений. После настройки зондового микроскопа мы сканировали на нем приготовленный образец - молекулы ДНК, иммобилизованные на свежем сколе слюды разных концентраций 1:60 и 1:90.

Для получения хорошего изображения необходимо выбирать удачную область сканирования. На рис. 1 представлено АСМ-изображение молекулы ДНК (тимуса теленка) с концентрацией 1:60 и размером изображения 20x20 нм.

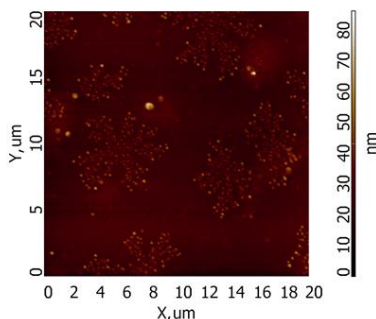


Рис. 1. АСМ-изображение поверхности слюды с нанесенными молекулами ДНК, концентрация 1:60

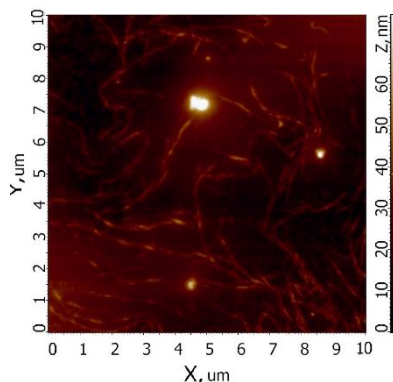


Рис. 2. АСМ-изображение поверхности слюды с нанесенными молекулами ДНК, концентрация 1:90

На рис. 2 представлено качественное АСМ-изображение молекулы ДНК (тимуса теленка) с концентрацией 1:90 и размером изображения 10x10 нм. На данном рисунке видны характерные цепочки и нити для молекул ДНК.

Концентрация молекул ДНК в образце может влиять на качество изображения, получаемого с помощью сканирующего зондового микроскопа. При низкой концентрации молекулы ДНК (рисунок 2) изображение получается чётким и детализированным, тем самым мы наблюдаем характерные нити для ДНК. При высокой концентрации молекулы ДНК (рисунок 1) мы не наблюдаем характерных нитей и менее чёткое.

Таким образом, для получения качественных результатов необходимо контролировать концентрацию молекул ДНК и параметры эксперимента.

Литература

1. Словарь основных нанотехнологических терминов РОСНАНО – Сканирующая туннельная спектроскопия. – 2009.
2. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: учеб. пособие / В.Л. Миронов. – М.: Техносфера, 2009. – 12 с.

© Зиёев Ф.С., Шарипов Т.И., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОДЯНОГО МОСТИКА

При подаче постоянного высокого напряжения (10-15 кВ) на электроды, где в два стеклянных сосуда или чашки петри с приложенными двумя электродами к каждой и чашек, наполненных диэлектрической жидкостью возникает водяной мостик (ВМ). Ниже приводится (рис. 1.) зависимости скорости увлекаемых ионами молекул жидкости в зависимости от расстояния иона, движущегося под действием электрического поля для различных скоростей u_0 . Проведенные с учетом плотности тока и напряженности электрического поля расчеты показывают, что среднее расстояние между ионами в ВМ

$$l_i = n^{-1/3} \sim 3 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

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

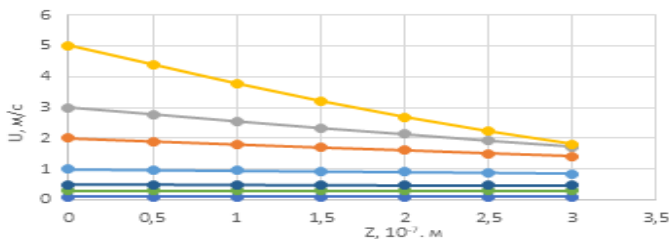


Рис. 1. Зависимость скорости молекул воды от расстояния от дрейфующего иона

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

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

Литература

1. Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З. Электрогидродинамические явления в водном мостике. В сборник: VIII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Современные технологии композиционных материалов». Уфа, 13 – 14 апреля 2023 г.

2. Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З. Водной мостик и эгд процессы, протекающие в нём. В сборнике: IX-я Межрегиональная школа-конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах». Уфа, 26-27 апреля 2023 г.

3. Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З. Динамике массопереноса жидкости в водном мостике. В сборнике: XIV Международной школы-конференции «Фундаментальная математика и её приложения в естествознании»: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2023», посвящённой 75-летнему юбилею профессоров Я.Т. Султанаева и М.Х. Харрасова. Уфа, 8–11 октября 2023 г.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ МЕТАЛЛОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ QUICKFIELD STUDENT 6.4

Анализ и моделирование магнитных полей металлоискателей играют ключевую роль в разработке и совершенствовании эффективности обнаружения металлических объектов. Настоящая научная работа направлена на исследование магнитных полей металлоискателя, использующего индукционный метод для обнаружения целевых металлических объектов. Мы предлагаем использовать программу QuickField для моделирования этих полей и анализа их характеристик методом конечных элементов.

Программа QuickField Student 6.4 предоставляет удобное и мощное средство для изучения и практического применения принципов электромагнетизма и анализа электромагнитных полей. Она позволяет создавать модели различных электромагнитных систем, включая проводники, катушки и др. а так же анализировать различные параметры электромагнитных полей, такие как напряжение, ток, индукция и многие другие, в различных точках модели.

Смоделируем простой пример взаимодействия катушки металлоискателя с обнаруживаемым объектом. Задача моделирования в терминах QuickField является аксисимметричной проблемой (AC Magnetics) взаимодействия переменного магнитного поля и металлических предметов (рис. 1). После введения геометрических параметров каждый из объектов наделяется свойствами (рис. 2).

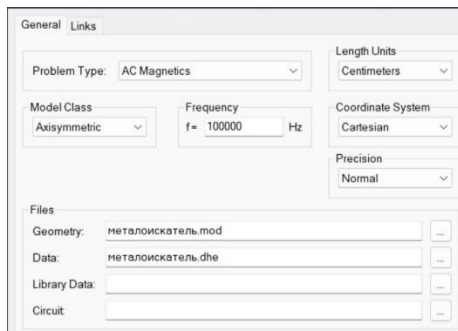


Рис. 1. Файл проблемы

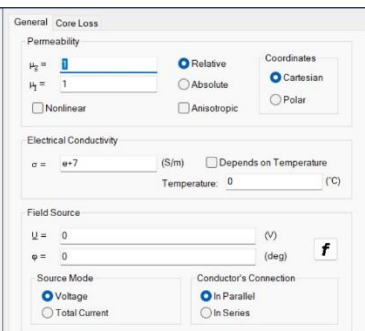


Рис. 2. Файл свойств обмотки

Для сравнения рассмотрим два типа металлических объектов: железо и медь. В окне настроек заданы частота работы металлоискателя равной 100 кГц, а также параметры удельной электропроводности объектов 10^7 с/м и $5,96 \cdot 10^7$ с/м соответственно. В результате программа рассчитывает визуализацию магнитных полей, которые представлены на рис. 3 и 4.

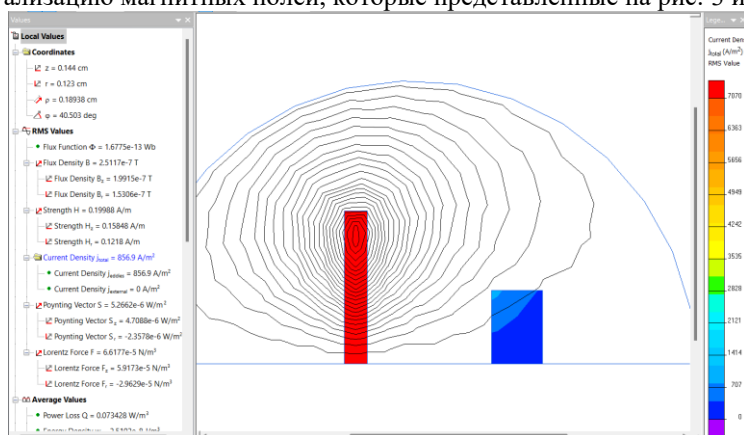


Рис. 3. Железо ($\sigma = 10^7$ с/м)

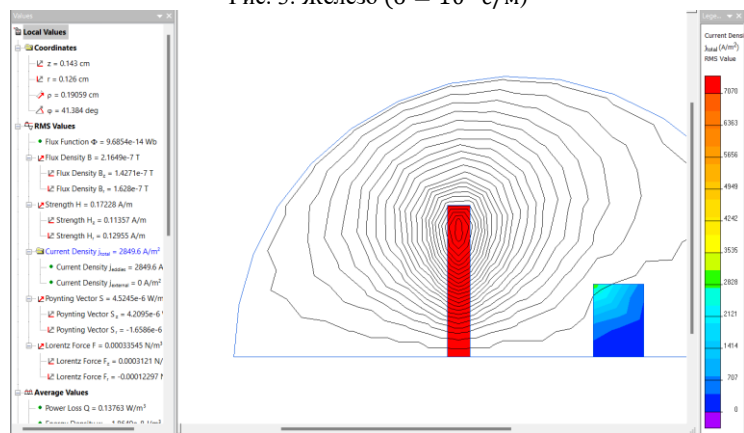


Рис. 4. Медь ($\sigma = 5.96 \cdot 10^7$ с/м)

Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации конструкций металлоискателей, улучшения их чувствительности и точности детекции, что способствует повышению эффективности применения металлоискателей в различных областях.

Литература

1. QuickField.Finite Element Analysis System Version 6.2 User's Guide. Copyright © 2016, Tera Analysis Ltd.

© Гильманов И.В., Гимранов И.Р., Рыжиков О.Л., 2024

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ШАГАЮЩЕГО МАРСОХОДА НА БАЗЕ AVR

Основной целью данной работы была разработка прототипа шагающего марсохода на базе AVR. Учёные при изучении поверхности Марса, как правило, используют колёсные устройства на основе подвески rocker-bogie (рис. 1.).

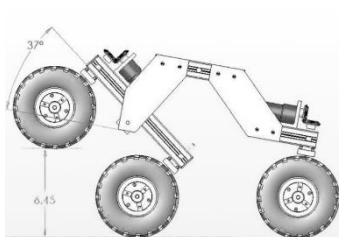


Рис. 1. Подвеска rocker-bogie

Однако, несмотря на все преимущества такой подвески, трудности в эксплуатации аппарата всё равно возникают. Например, буксование.

Эту проблему решает подвеска шагохода. Благодаря тому, что контакт с поверхностью происходит не за счёт колёс, а за счёт острых клиньев, аппарат не подвергается буксировке.

Корпус для робота был спроектирован в программе FreeCAD. А потом был распечатан на 3D-принтере. В качестве электронной начинки для прототипа выступили модули Arduino. ПО было написано на языке программирования C++.

Ключевым элементом прототипа является плата Arduino UNO. К ней через цифровые порты подключается 12 сервоприводов. По три на каждую “лапу”. Первые два обеспечивают двухосевое движение «плеч» а третий играет роль сгибаемого коленного сустава, позволяя совершать шаги.

Также на “предплечья” были установлены амортизирующие пружины. Питание идёт от батареек, однако между ними и платой необходимым элементом является понижающий DC-DC преобразователь. Управление роботом осуществляется через Bluetooth связь. Для её обеспечения нужен Bluetooth-модуль. Он подключается на сигнальные RX-TX пины.

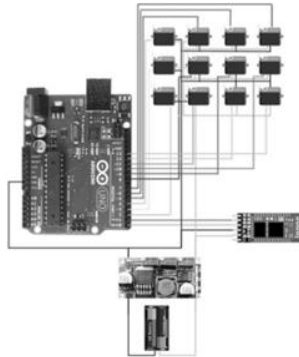


Рис. 2. Схема устройства

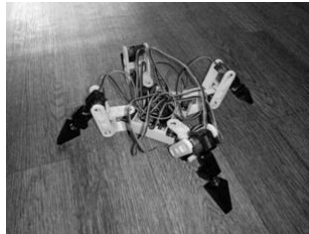


Рис. 3. Готовый прототип

Данный прототип не подвергается буксировке в силу своей конструкции. Управление прототипом осуществляется за счёт Bluetooth связи.

Литература

1. Бондаренко Д.Н., Встраиваемые микроконтроллеры AVR-8. Санкт-Петербург, 2014. – 193 стр.
2. Кёниг Эндрю, Му Барбара, Эффективное программирование на C++. Серия C++ In-Depth, т. 2.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2002. – 384 стр.
3. [DIY] Spider Robot / URL: <https://www.instructables.com/DIY-Spider-RobotQuad-robot-Quadrupe>.

© Миназов И.И., 2024

МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЛЭШ ПИРОЛИЗА

Процесс быстрого пиролиза (флэш-пиролиза) основан на теории фазовых переходов и носит преимущественно экзотермический характер, сопровождаемый выделением тепловой энергии.

В работе процесс флэш-пиролиза используется для утилизации пластиковых отходов (waste plastic WP) транспортных средств с истекшим сроком службы (End-of-life vehicles – ELV-WP) представляющих собой сложную экологическую проблему из-за их неоднородной конструкции и постоянно растущей надежности. В работе флэш-пиролиз использовался для получения флэш-графена. Быстрый процесс разряда конденсаторной батареи через сопротивление подготовленного сырья, заключенного в реакторе из кварцевой трубки, где тепло генерируется непосредственно внутри пластикового сырья, устранил медленную и неэффективную теплопередачу, характерную для традиционных трубчатых печей.

Анализ этих перспективных направлений позволяет сделать вывод что задача компьютерного моделирования процесса флэш-пиролиза является существенно мультифизической, поскольку предполагает моделирование как электрических, так и тепловых процессов. Из существующих программных продуктов наиболее доступным является бесплатная студенческая версия QuickField, основанная на методе конечных элементов. Ограничение на число конечных элементов в данном случае несущественно, так как при быстром процессе нагрева можно ограничиться расчетами в ограниченном пространстве реактора.

Задача моделирования в терминах QuickField является аксисимметричной проблемой, сочетающей проблему электропроводности (DC conduction) для расчета тепловыделения и проблему переходного теплового процесса (transient heat transfer) для расчета температурного режима. Сначала создаем файл проблемы DC conduction (рисунок 1), устанавливаем тип проблемы, модель класса асимметричный, в прямоугольных координатах и вводим эти координаты в программу.

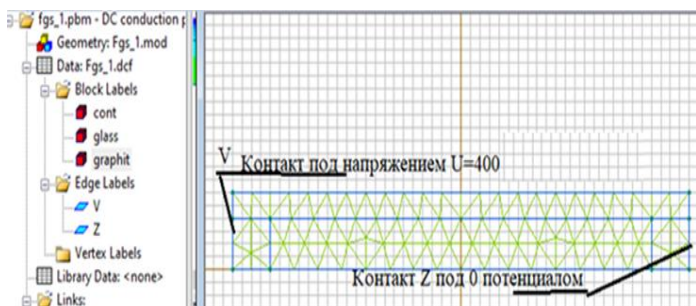


Рис. 1. Файл геометрии реактора

Результатом работы программы является расчет удельного тепловыделения при постоянном напряжении. Данный параметр еще не учитывает то, что источником энергии является конденсаторная батарея и ее разряд носит экспоненциальный характер, но тем не менее является исходным для связанной проблемы переходного теплового процесса (transient heat transfer)

Литература

1. Kevin Wyss, Robert De Kleine, Rachel Couvreur, Alper Kiziltas/ Upcycling end-of-life vehicle waste plastic into flash graphene/ Communications Engineering 1, Article number: 3 (2022), 26 May 2022/ DOI:10.1038/s44172-022-00006-7
2. Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия Байкальского государственного университета. – 2018. – № 4. – С. 535-544.
3. New Method of Graphene Production through Flash Joule Heating / Aenert. Research Laboratory news 23.02.2023/ <https://aenert.com/news-events/energy-news-monitoring/research-laboratory-news/n/new-method-of-graphene-production-through-flash-joule-heating/>

© Бахтияров Э.М., Рыжиков О.Л., 2024

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

УДК 536+550.3

Мухтарова А.М.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Закиров М.Ф.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОЛОННЫХ ПЕРЕТОКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОМЫСЛОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Заколонная (затрубная) – циркуляция это движение флюида (преимущественно закачиваемой или пластовой воды) из водоносного в продуктивный пласт по затрубному пространству[1].

Заколонный переток представляет собой систему трещин, пустот, образовавшихся в цементной крепи или горной породе, а также на контактах породы с цементом и цемента с обсадной колонной.

В данной работе описаны основные причины образования заколонных перетоков, такие как[2]: снижение гидростатического давления на пласт в процессе загустевания цементного камня, низкая степень вытеснения бурового раствора, низкая прочность цементного камня и образование трещин при гидравлических испытаниях с избыточным давлением при проведении технологических операций, негерметичность резьбовых соединений и элементов устьевого оборудования и другие.

Образование заколонных перетоков в скважинах приводит к безвозвратным потерям продукции скважины, нарушениям проектных показателей разработки залежей и высоким темпам снижения пластового давления в залежи в начальный период разработки. В результате этого на многих месторождениях не подтверждаются запасы углеводородов, пересчитанные по темпам пластового давления, снижаются коэффициенты извлечения из продуктивных пластов, особенно в глубокозалегающих объектах, осложненных аномально высоким пластовым давлением.

Основной целью исследования является изучение факторов, влияющих на возникновение затрубной циркуляции в скважинах, методов их определения, а также анализ результатов промысловых исследований скважин для определения заколонных перетоков[3].

В ходе работы было выяснено, что для проведения анализа необходимо выполнить несколько пунктов:

1. Сбор данных о геологическом строении скважины.
2. Выполнение геофизических исследований скважины.
4. Анализ полученных данных для выявления мест, где происходят заколонные перетоки.

5. Подтверждение результатов дополнительными исследованиями. Если результаты анализа неоднозначны или неполные, может потребоваться проведение дополнительных исследований, таких как более точные геофизические измерения.

В качестве примеров выявления затрубной циркуляции для данной научной работы были приведены анализы выявления заколонных перетоков в различных скважинах с показанием их термограмм, по которым можно было понять основные причины их образования, например, температурные аномалии, вследствие которых в скважинах возникали перепады давления и образовывались заколонные перетоки.

В данной работе приведены признаки заколонных перетоков при выполнении температурных исследований в скважинах. Выполненные исследования могут помочь выявить места, где происходят заколонные перетоки, что позволяет принять меры для их предотвращения.

Литература

1. Валиуллин Р.А., Вахитова Г.Р. Интерпретация материалов геофизических исследований скважин в период их освоения и эксплуатации на основе типовых диаграмм: методические указания / Башкирский государственный университет. – С.12-28.

2. Валиуллин Р.А. Термогидродинамические исследования пластов и скважин нефтяных месторождений: учебное пособие / Р.А. Валиуллин [и др.]. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. – 213 с.

3. Валиуллин Р.А., Яруллин Р.К. Геофизические исследования и работы в скважинах: в 7 т. Т. 3. Исследования действующих скважин. – Уфа: Информ-реклама, 2010. – С. 118-120.

© Мухтарова А.М., Закиров М.Ф., 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАКОЛОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ФЛЮИДА С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ТЕРМОМЕТРИИ

На сегодняшний день скважинная термометрия (комплекс температурных измерений в стволе скважины) является одним из основных методов исследования скважин.

Температурное поле в скважине определяется многими процессами в пласте и в стволе скважины: эффектом Джоуля-Томсона, адиабатическим эффектом, калориметрическим эффектом, конвективным переносом тепла, явлением разгазирования (фазовыми переходами) и теплопроводностью.[1]

Актуальность работы связана с выявлением и количественной оценкой заколонных перетоков в действующих скважинах. Заколонная циркуляция представляет собой движение флюида вдоль ствола скважины за пределами обсадной колонны, обусловленное разрушением цементного камня вокруг нее, и приводит к обводнению продукции скважины. При этом важен не только факт наличия или отсутствия заколонного перетока, но и его величина. На основе этой информации принимается экономически обоснованное решение о необходимости ремонта скважины. На сегодняшний день анализ температурного поля с помощью математического моделирования является единственным методом количественной оценки заколонных перетоков с потенциалом широкого применения.

Целью данной работы является изучение особенностей формирования температурного поля при заколонной циркуляции. Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить физические основы термометрии;
2. Построить распределение температурного поля в работающем интервале добывающей скважины при наличии ЗКЦ;
3. Применить математическое моделирование температурного поля для определения заколонной циркуляции в реальной скважине.

В ходе данной работы рассматривалась скважина, где наблюдался приток воды и нефти, а также были признаки ЗКЦ снизу (признаками ЗКЦ снизу являются температурные аномалия, возникающие на подошве интервала перфорации и на интервале перетока). По данным скважины был определён профиль притока и дана количественная оценка величины

заколонной циркуляции с использованием термогидродинамического симулятора TSIM.

Литература

1. Рамазанов А.Ш. Теоретические основы скважинной термометрии: учебное пособие. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. – 114 с.
2. Валиуллин Р.А. Яруллин Р.К. Геофизические исследования и работы в скважинах: в 7 т. Т. 3. Исследования действующих скважин. – Уфа: Информ-реклама, 2010. – 184 с.
3. Валиуллин Р.А., Яруллин Р.К. Исследование действующих скважин: учебное пособие – Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. – 156 с.

© Аликов К.Р., Хабиров Т.Р., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДА СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ГАММА-КАРОТАЖА ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТОРОВ

Присутствие минералов глины в песчаных коллекторах ухудшает качество коллекторов, снижая их эффективную пористость и проницаемость, искажает величину сопротивления, усложняет расчет коэффициента нефтенасыщенности. Учитывая высокую продуктивность коллекторов с высоким содержанием глины, необходимо правильно вводить соответствующие поправки в величину пористости и подбирать правильную модель водонасыщенности. В связи с этим, тема работы является актуальной.

Для оценки степени влияния глины на коллекторские свойства в скважинах выполняют специальный метод исследования – спектрометрический гамма-каротаж (СГК). Цель данной работы заключается в изучении возможностей метода спектрометрического гамма-каротажа при оценке коллекторских свойств продуктивных отложений. Методом СГК решаются различные геологические задачи: литологическое расчленение разрезов, оценка глинистости коллекторов, оценка минерального состава глин, корреляция геологического разреза, выявление интервалов с трещинами, определение условий осадконакопления, расчет калий-ториевого индекса в сланцевых отложениях.

Решение этих задач основано на регистрации интегрального гамма-излучения и энергетических спектров отдельных радиоактивных изотопов химических элементов урана (U), тория (Th), калия (K), присутствующих в составе глин, и их интерпретации. При этом, анализируют распределение массового содержания естественных радионуклидов по разрезу скважин. Изучением возможностей СГК при оценке коллекторов занимаются многие специалисты, предлагая для исследуемых регионов диагностическую значимость соотношений массового содержания радионуклидов [1,2,3].

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

1. выяснено, что для разного присутствия глины в песчаных коллекторах и разных минералов глин необходима соответствующая поправка в величину пористости и сопротивления;

2. выполнена интерпретация данных СГК и выявлены интервалы трещиноватых пород по соотношению U/Th;

3. построена палетка в координатах Th-K для оценки минералов глин. В изучаемом интервале глубин в составе глин преимущественно монтмориллонит и иллит;

4. выполнен анализ данных СГК в сланцевых отложениях и по соотношению U/Th и калий-ториевому индексу определены интервалы продуктивных коллекторов;

5. определены условия осадкообразования по соотношению Th/U и K/U.

Таким образом, СГК, как специальный метод исследования скважин, включенный в комплекс геофизических исследований значительно расширяет возможности при решении геологических задач, в частности, при оценке коллекторских свойств продуктивных отложений. Полученные результаты будут полезны в дальнейшем для выполнения прогноза зон трещиноватых коллекторов и моделирования.

Литература

1. W. Fertl, G. Chilingarian, T. Yen. Use of Natural Gamma Ray Spectral Logging in Evaluation of Clay Minerals // Published 1 October 1982. Geology Energy Sources / DOI:10.1080/00908318208946036 Corpus ID: 140538876.

2. Дудаев С.А. Геолого-геофизическое обеспечение технологий выделения, оценки и освоения нетрадиционных глинистых коллекторов Предкавказья // Докт. дисс., 2012. Уфа.

3. Г.Р. Вахитова, Р.А. Галимов, А.И. Гумерова, Г.Ф. Шайбекова Прогноз трещиноватости карбонатных отложений по результатам интерпретации спектрометрического гамма-каротажа // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. № 6 (366). 2022 – стр.11-17. DOI: 10.33285/2413-5011-2022-6(366)-11-16.

© Алимова М.Р., Вахитова Г.Р., 2024

**ПЛОСКОРАДИАЛЬНЫЙ ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ПОТОК
УПРУГОЙ ЖИДКОСТИ. ОСНОВНАЯ ФОРМУЛА ТЕОРИИ
УПРУГОГО РЕЖИМА ФИЛЬТРАЦИИ. УРАВНЕНИЕ
ПЬЕЗОПРОВОДНОСТИ**

Математической основой для анализа ГДИС на неустановившихся режимах фильтрации является уравнение пьезопроводности в радиальных координатах, описывающее неустановившееся, однофазное, одномерное течение флюида в пористой среде. То есть актуальность данного исследования заключается в получении возможно полной информации о строении и свойствах пластов, необходимой для подсчета запасов и составления проекта разработки, т.е. выявление общей картины неоднородностей пласта по площади [1].

Пусть в неограниченном горизонтальном пласте постоянной толщины h имеется добывающая скважина нулевого радиуса (точечный сток). Начальное пластовое давление во всем пласте одинаково и равно p_k . В момент времени $t = 0$ скважина пущена в эксплуатацию с постоянным объемным дебитом Q_0 . В пласте образуется неустановившийся плоскорадиальный поток упругой жидкости. Распределение давления в пласте (в любой его точке в любой момент времени) определяется интегрированием уравнения пьезопроводности:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \kappa \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial p}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где $\kappa = \frac{k}{\mu \beta^*}$ — коэффициент пьезопроводности [2, с. 145].

Заменой переменных уравнение пьезопроводности сводится к ОДУ и решается аналитически.

В итоге решение давления в любой точке плоскорадиального потока в условиях упругого режима фильтрации [2, с. 148]:

$$p(r, t) = p_k - \frac{Q_0 \eta}{4\kappa k h} \left[-\text{Ei} \left(-\frac{r^2}{4\kappa t} \right) \right]. \quad (2)$$

Литература

1. Мангазеев П.В., Панков М.В., Кулагина Т.Е., Камартдинов М.Р., Деева Т.А. Гидродинамические исследования скважин: Учебное пособие. — Томск: Издательство ТПУ, 2004. — 340 с.

2. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика: Учебник для вузов.-М.: Недра, 1993 – 416 с.

© Кадыров А.В., Давлетшин Ф.Ф., 2024

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАРБОНАТНЫХ РАЗРЕЗАХ

Оценка фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород со сложным минеральным составом и сложной структурой пустотного пространства по данным геофизических исследований скважин (ГИС) является необходимой для определения геологических и петрофизических свойств пласта [1].

В данной работе рассматривается возможность решения различных геологических задач в сложных карбонатных коллекторах башкирского яруса Могутовского месторождения. Выполняется анализ информативности и эффективности стандартного комплекса ГИС и специального метода спектрометрического гамма-каротажа.

Цель данной работы заключается в изучении сложного карбонатного пласта с стандартными и специальными методами ГИС. Стандартными методами ГИС определяют интервалы коллекторов по разрезу; оценивают величину пористости по методам НК, ГГК-п, АК; выполняют прогноз проницаемости; оценивают характер насыщенности и рассчитывают коэффициент нефтенасыщенности. Для определения минерального состава глин и построения объемной литологической модели недостаточно стандартного комплекса ГИС, поэтому надо подключать специальные методы, такие как СГК.

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

а) Минеральный состав глин. Построен кросс-плот в координатах Tho-Rota для оценки минералов глин. В изучаемом интервале глубин в составе глин преимущественно глауконит и иллит;

б) Оценено ФЕС: проинтерпретирован каротаж пористости, проницаемости, оценен характер насыщения;

в) Построена объемная литологическая модель. Где введены типы и параметры отложения горных пород. Составлена система линейных уравнений для карбонатного разреза.

г) Рассчитана вторичная пористость. В зависимости от происхождения различают первичные и вторичные поры. Вторичные поры, представленные кавернами, трещинами, каналами выщелачивания

минералов в теле пород, характерны для трещинных и трещинно-кавернозных известняков и доломитов. [2]

Таким образом, стандартных методов недостаточно для анализа информативности комплекса ГИС в карбонатном разрезе. Поскольку карбонатные отложения достаточно сложные и требуется подключать специальные методы ГИС.

Литература

1. Мусин К.М., Шарифуллина Г.Р., Кандаурова Г.Ф., Нафиков А.З. Интерпретация данных ГИС сложных карбонатных коллекторов старого фонда скважин – нестандартные решения. Георесурсы. № 1(16). 2005. С. 40-42.
2. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин: Справочник / под ред. В.М. Добрынина. – М.: Недра, 1988.

© Шайхинуров Ш.Н., Вахитова Г.Р., 2024

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ФРАНСКОГО ЯРУСА КАПИТОНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящее время все больше включаются в разработку сложные карбонатные коллекторы, характеризующиеся низкой пористостью и низкой проницаемостью. К такому типу отложений относятся карбонатные коллекторы франского яруса Капитоновского месторождения. Их пористость, в среднем, составляет 5%, проницаемость – 0,001 мД [1]. Для эффективной добычи нефти из таких коллекторов выполняют специальное технологическое мероприятие – гидравлический разрыв пласта (ГРП). Для эффективного ГРП необходимо предварительное моделирование - дизайн ГРП с учетом знания упругих свойств изучаемых отложений. Таким образом, цель данной работы заключается в определении упругих свойств коллекторов франского яруса на основе распределения плотности и интервального времени по глубине.

В работе на основе данных плотностного и акустического каротажей, зарегистрированных в скважине 48 Капитоновского месторождения, выполнены расчеты порового давления, вертикального и горизонтального напряжения породы.

Эти параметры рассчитаны по следующим формулам:

$$S_v = \sum_{i=1}^N \rho_i g (z_{i+1} - z_i),$$

где S_v – вертикальное напряжение, ρ_i - плотность, z – глубина залегания пласта.

$$S_H = \frac{\nu \rho_i g z}{1 - \nu},$$

где S_H – горизонтальное напряжение, ν – коэффициент Пуассона, ρ_i - плотность, z – глубина залегания пласта.

$$P_p^{hydro} = \int_0^z \rho_w g dz = \rho_w g z,$$

где P_p^{hydro} – поровое давление, ρ_w – плотность воды, z – глубина залегания пласта.

Результаты, полученные в работе, будут использованы, в дальнейшем, для построения геомеханической модели франского яруса Капитоновского месторождения.

Литература

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

© Сынгизова Н.Ю., Вахитова Г.Р., 2024

ГИДРОПРОСЛУШИВАНИЕ ПЛАСТОВ. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Гидропрослушивание пластов представляет собой ключевой метод для оценки состояния нефтяных и газовых пластов. Этот метод актуален в связи с постоянной необходимостью оптимизации добычи углеводородов, особенно в условиях увеличения сложности геологических структур и уменьшения запасов.

Гидропрослушивание пластов - это технология, используемая в нефтяной промышленности для определения структуры и характеристик нефтенасыщенных пластов. Процесс заключается в том, что в пласт вводят воду или другую жидкость под давлением. Затем, используя манометры, измеряют величину изменения давления между возбуждающей и реагирующими скважинами. Это позволяет определить перемещение и распределение жидкости в пласте, а также его пористость и проницаемость.

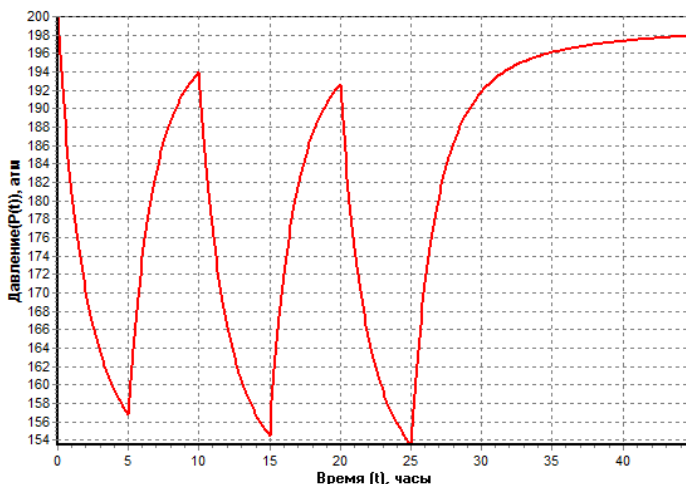


Рис. 1. Показания давления в возбуждающей скважине

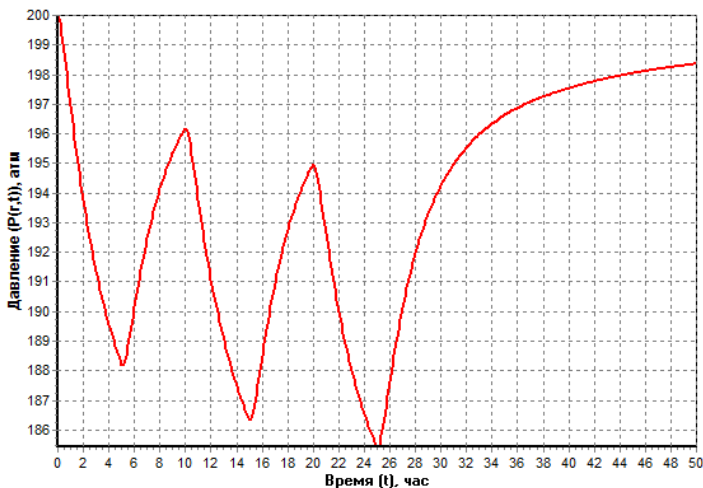


Рис. 2. Отклик давления в реагирующей скважине

На рисунках 1-2 представлены графики, полученные в результате моделирования гидропрослушивания, построенные используя параметры: расход $200 \text{ м}^3/\text{сут}$ (в возбуждающей скважине), расстояние между скважинами 5 м , время закачивания 5 часов .

При помощи метода гидропрослушивания мы можем определять пьезометрические параметры пластов, к данному виду исследования применима следующая формула:

$$\alpha = \frac{(R-r)^2}{\pi-t}, \quad (1)$$

где: α – пьезопроводность;

$(R-r)^2$ – расстояние между скважинами;

t – время отклика реагирующей скважины;

π – число Пи $\approx 3,14$

Литература

1. Рамазанов А.Ш. Исследование алгоритмов обработки кривых притока малодобитных скважин // НТВ «Каротажные», 2000, вып. 74. – С. 69-80.

2. Рамазанов А.Ш., Валиуллин Р.А., Осадчий В.М. Особенности гидродинамических исследований при освоении скважин // НТВ «Каротажник», 2002, вып. 94, - С. 13-19.

3. Кульпин Л.Г., Мясников Ю.А. Гидродинамические методы исследования нефтегазовых пластов. М.: Недра, 1974. – 200 с.

4. Гиматулинов Ш.К., Ширковский А.И. Физика нефтяного и газового пласта. – М.: Недра, 1982. – 231 с.

© Гилязов М.Ф., Рамазанов А.Ш., 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Упругие свойства горных пород – важный параметр в геомеханике. Упругие свойства горных пород проявляются при кратковременном внешнем воздействии.

Для каждого вида приложенных нагрузок существует свой коэффициент пропорциональности между напряжениями и упругими деформациями: он является параметром породы, оценивающим ее упругие свойства.

К ключевым параметрам, характеризующим упругие свойства горных пород с точки зрения применения в геомеханике, следует отнести следующие модули [1]:

модуль Юнга (E) характеризует сопротивление материала растяжению/сжатию при упругой деформации, определяется как отношение напряжения к деформации сжатия (удлинения);

модуль сдвига или модуль жесткости (G) характеризует способность материала сопротивляться изменению формы при сохранении его объёма; он определяется как отношение напряжения сдвига к деформации сдвига, определяемой как изменение прямого угла между плоскостями, по которым действуют касательные напряжения.

Теория упругости — раздел механики сплошных сред, изучающий деформации упругих твёрдых тел (к их числу можно отнести и горные породы), их поведение при статических и динамических нагрузках. Теория упругости является фундаментом геомеханики. Главная задача теории упругости – выяснить, каковы будут деформации тела и как они будут меняться со временем при заданных внешних воздействиях. Основной системой уравнений для решения этой задачи являются три уравнения равновесия, содержащие компоненты тензора напряжений, характеризующие напряженное состояние среды, и упругие модули (модули упругости), характеризующие упругие свойства пород.

В данной работе выполняется расчет упругих модулей по данным геофизических исследований скважин. Для расчета физико-механических параметров породы (модуль Юнга, коэффициент Пуассона) используются значения скорости или времени пробега волн и значения объемной плотности по данным плотностного каротажа. Акустический каротаж

регистрирует время пробега продольных волн, время пробега поперечных волн рассчитывается из корреляционных зависимостей.

Литература

1. Зобак М.Д. Геомеханика нефтяных залежей. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. – 482 с.

© Асфина Р.Р., Давлетшин Ф.Ф., 2024

ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ВЫНГАПУРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Строение коллекторов ачимовских отложений Вынгапуровского месторождения крайне неоднородное и сложное. Породы-коллекторы представлены преимущественно песчаниками, полевыми шпатами, алевролитами, глинистыми минералами [1]. Породы являются гидрофильными. Характеризуются низкой пористостью и проницаемостью, в то же время содержат значительные запасы нефти. Продуктивные отложения отмечаются низкими значениями сопротивления [2]. Довольно сложные для интерпретации по геофизическим скважинным данным (ГИС). В связи с этим, целью моей работы является интерпретация скважинных данных и их подготовка для дальнейшего геологического моделирования.

Для выполнения интерпретации геофизических данных нужна петрофизическая модель, на основе которой определяются коллекторские свойства пласта, эффективная мощность, пористость, проницаемость и содержание нефти. Эта модель строится на основе анализа образцов керна, данных, полученных из геофизических исследований, бурения скважин и представляет собой набор корреляционных связей.

При выполнении данной работы сделан анализ скважинных данных и получены следующие результаты:

- получена корреляционная зависимость между пористостью и проницаемостью коллекторов, необходимая для прогноза проницаемости;
- выполнена интерпретация данных ГИС и определены петрофизические параметры;
- результаты выгружены в таблицу для дальнейшего использования.

Таким образом, в данной работе на основе полученных связей между петрофизическими параметрами коллекторов определены эффективная нефтенасыщенная толщина, пористость, проницаемость, нефтенасыщенность, необходимые для построения геологической модели ачимовских отложений Вынгапуровского месторождения. Результаты работы будут использованы для выполнения расчетов кубов пористости, проницаемости, насыщенности.

Табл. 1. Выгрузка данных ГИС

| Скважина | Кровля, м | Подошва, м | Н, м | Кгл, д.е | Кл_пс, д.е | Кпр, мд | ИК, Омм | Кн, д.е | Насыщение |
|----------|-----------|------------|------|----------|------------|---------|---------|---------|-------------|
| 244 | 2941 | 2942,2 | 1,2 | 0,097 | 0,17 | 1,82 | 9,69 | 0,49 | Нефтенасыщ. |
| 244 | 2948,6 | 2949,6 | 1 | 0,08 | 0,19 | 4,59 | 9,27 | 0,44 | Нефтенасыщ. |
| 244 | 2950,6 | 2952 | 1,4 | 0,073 | 0,19 | 6,77 | 7,5 | 0,48 | Нефтенасыщ. |
| 244 | 2959,2 | 2963 | 3,8 | 0,052 | 0,21 | 24,25 | 7,34 | 0,38 | Водонасыщ. |
| 244 | 2963,6 | 2965,6 | 2 | 0,086 | 0,18 | 3,25 | 6,5 | 0,31 | Водонасыщ. |
| 244 | 2966,4 | 2968 | 1,6 | 0,083 | 0,18 | 3,87 | 5,83 | 0,33 | Водонасыщ. |
| 244 | 2970,2 | 2971 | 0,8 | 0,085 | 0,18 | 3,42 | 6,02 | 0,3 | Водонасыщ. |
| 244 | 2972,2 | 2974,8 | 2,6 | 0,081 | 0,18 | 4,38 | 5,39 | 0,29 | Водонасыщ. |
| 244 | 2977,4 | 2978,4 | 1 | 0,085 | 0,18 | 3,5 | 5,6 | 0,28 | Водонасыщ. |
| 244 | 2980,2 | 2982 | 1,8 | 0,083 | 0,18 | 3,78 | 5,21 | 0,33 | Водонасыщ. |
| 244 | 2982,4 | 2984 | 1,6 | 0,083 | 0,18 | 3,78 | 6 | 0,33 | Водонасыщ. |
| 244 | 2987,4 | 2989 | 1,6 | 0,074 | 0,19 | 6,39 | 5,56 | 0,36 | Водонасыщ. |
| 244 | 2989,6 | 2990,4 | 0,8 | 0,083 | 0,18 | 3,78 | 6,47 | 0,34 | Водонасыщ. |
| 41 | 2773,4 | 2774,8 | 1,4 | 0,11 | 0,16 | 0,94 | 9,7 | 0,42 | Нефтенасыщ. |
| 41 | 2775,2 | 2776 | 0,8 | 0,078 | 0,19 | 4,98 | 15,85 | 0,6 | Нефтенасыщ. |
| 41 | 2777 | 2778,1 | 1,1 | 0,093 | 0,17 | 2,28 | 11,6 | 0,51 | Нефтенасыщ. |
| 41 | 2778,6 | 2779,4 | 0,8 | 0,124 | 0,15 | 0,48 | 8,45 | 0,34 | Нефтенасыщ. |
| 41 | 2780,7 | 2781,7 | 1 | 0,15 | 0,13 | 0,13 | 7,4 | 0,19 | Нефтенасыщ. |
| 41 | 2787,1 | 2790,8 | 3,7 | 0,1 | 0,17 | 1,55 | 5,18 | 0,2 | Водонасыщ. |
| 41 | 2792,2 | 2794,3 | 2,1 | 0,093 | 0,17 | 2,24 | 5,71 | 0,25 | Водонасыщ. |
| 41 | 2794,8 | 2796,4 | 1,6 | 0,127 | 0,15 | 0,42 | 4,92 | 0,15 | Водонасыщ. |
| 41 | 2797,4 | 2798,3 | 0,9 | 0,127 | 0,15 | 0,4 | 5,24 | 0,14 | Водонасыщ. |
| 41 | 2798,9 | 2799,4 | 0,5 | 0,122 | 0,15 | 0,53 | 4,86 | 0,12 | Водонасыщ. |
| 41 | 2799,9 | 2801,9 | 2 | 0,102 | 0,17 | 1,43 | 6,04 | 0,28 | Водонасыщ. |
| 41 | 2802,5 | 2803,4 | 0,9 | 0,1 | 0,17 | 1,58 | 4,39 | 0,14 | Водонасыщ. |
| 41 | 2804 | 2804,8 | 0,8 | 0,131 | 0,15 | 0,34 | 4,53 | 0,05 | Водонасыщ. |
| 41 | 2805,6 | 2806,5 | 0,9 | 0,1 | 0,17 | 1,61 | 4,45 | 0,14 | Водонасыщ. |
| 41 | 2806,5 | 2809,9 | 3,4 | 0,078 | 0,19 | 5,15 | 3,92 | 0,17 | Водонасыщ. |
| 41 | 2809,9 | 2810,9 | 1 | 0,148 | 0,13 | 0,14 | 4,33 | 0,01 | Водонасыщ. |
| 41 | 2813,3 | 2816,6 | 3,3 | 0,075 | 0,19 | 5,98 | 4,87 | 0,27 | Водонасыщ. |
| 41 | 2817,2 | 2818 | 0,8 | 0,116 | 0,16 | 0,71 | 6,31 | 0,25 | Водонасыщ. |
| 41 | 2819,2 | 2820,9 | 1,7 | 0,094 | 0,17 | 2,2 | 5,66 | 0,26 | Водонасыщ. |

Литература

1. Соин Д.А., Скоробогатов В.А. Катагенетический контроль формирования и размещения залежей углеводородов в ачимовских отложениях // Вести газовой науки. – 2014. – № 3[19]. – С. 62–2.

2. Геология и нефтегазоносность ачимовской толщи Западной Сибири / А.А. Нежданов, В.А. Пономарев, Н.А. Туренков, С.А. Горбунов. – М.: Академия горных наук, 2000. – 246 с.

© Каримова Д.Ф., Вахитова Г.Р., 2024

Буджогра С.,
асп. 2-го г. об. ФТИ УУНиГ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарафутдинов Р.Ф.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиГ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ГАЗОКОНДЕНСАТНОМ ПЛАСТЕ С УЧЕТОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ И ТЕПЛОТЫ КОНДЕНСАЦИИ

В последнее время все большее внимание уделяется вопросам количественной интерпретации данных термометрии скважин. При этом, моделирование неізотермической фильтрации газового конденсата с учетом термодинамических эффектов предполагает учет изменения температуры и давления при прохождении газового конденсата через пористую среду. Это включает в себя учет фазового поведения и таких свойств, как конденсация и испарение, а также их влияние на поведение потока. Температура и состав жидкости существенно влияют на фазовое равновесие и поведение потока. Изменения температуры могут изменить фазовое состояние, а изменение состава флюида может привести к различным. В работе исследуется влияние различных параметров на температурное поле при фильтрации газоконденсата.

Полученные зависимости температурного поля от рассмотренных параметров и особенности формирования температурного поля при фильтрации газового конденсата могут быть полезны при интерпретации данных термометрии в газоконденсатных скважинах.

Литература

1. Al-Hadramiak, Elliott, Ingham (2003) A new model for viscous dispersion in a porous medium with a wide range of resistance values. *Transportmedia*53(1):117-122. doi:10. 1023/A:1023557332542.
2. Gimatudinov, Sh. K. (1971). *Physics of an oil and gas reservoir*. Nedra. [In Russian].
3. Валиуллин Р.А., Шарафутдинов Р.Ф., Садретдинов А.А., Бочков А.С. (2008). Исследование радиальноуглового распределения температуры при неізотермической двухфазной фильтрации нефти и воды // *Прикладная механика и техническая физика*. Том 49. № 6 (292). С. 124–130.
4. Шарафутдинов Р.Ф., Канафин И.В., Буджогра С. (2023). Исследование температурного поля в газоконденсатных пластах с учетом термодинамических эффектов // *Вестник Тюменского государственного*

университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. Том 9. № 4 (36). С. 18–30. <https://doi.org/10.21684/2411-7978-2023-9-4-18-30>

5. El Aily M., Khalil M. H. M., Desouky S. M., Batanoni M. H., Mahmoud M. R. M. Experimental studies on constant massvolume depletion of gascondensate systems // *Egyptian Journal of Petroleum*. Vol. 22. No. 1. 2013. Pp. 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2012.06.003>.

6. Fourier J. B. J. 2009. *Théorie analytique de la chaleur*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511693229> (Original work published 1822).

7. Roussennac B. *Gas Condensate Well Test Analysis: Master's report*. Stanford: Stanford University. 2001. 121 p.

8. Skiba A. K. Construction of a gas condensate field development model // *Open Computer Science*. Vol. 12. No. 1. 2022. Pp. 103-111. <https://doi.org/10.1515/comp20200226>.

9. Zemansky, M.W. (1968), *Heat and Thermodynamics*, McGraw-Hill, p. 182, 335.

10. Schroeder, Daniel V. (2000), *Thermal Physics*, Addison Wesley Longman, p. 142.

© Буджогра С., Шарафутдинов Р.Ф., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПЛАСТЕ С УЧЁТОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ТРЁХФАЗНЫХ ПОТОКАХ

В работе с использованием методов математического моделирования неизотермической трехфазной фильтрации исследуются особенности температурного поля в насыщенном пласте при разгазировании нефти в условиях обводнения пласта. В результате проведения многовариантных расчетов при различных соотношениях начальной обводненности пласта и газового фактора получены зависимости температуры для различного времени работы скважины. Полученные зависимости температуры от величины обводненности могут быть использованы как палеточные зависимости для количественной оценки поинтервального дебита притока воды из пластов.

В процессе обводнения пласта в условиях снижения давления ниже давления насыщения нефти газом, т.е. при разгазировании нефти в пласте возникает область трехфазного течения нефти, воды и газа. В этом случае, каждая из фаз вносит определенный вклад в формирование теплового поля в пласте, за счет проявления термодинамических эффектов и теплоты разгазирования нефти. На формирование теплового поля влияют различные параметры, например, начальная обводненность пласта, количество растворенного газа в нефти, соотношение пластового давления и давления насыщения нефти газом, забойного давления и т.д.

Полученные результаты могут быть использованы при интерпретации данных термометрии при многофазных потоках.

Литература

1. Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. М.: Недра, 1965.
2. Лапук Б.Б. Термодинамические процессы движения газированной нефти в пористых средах. // Азерб. нефтяное хозяйство. - 1940. - № 2.
3. Валиуллин Р.А., Рамазанов А.Ш., Шарафутдинов Р.Ф. Баротермический эффект при трехфазной фильтрации с фазовыми переходами // Изв. РАН, МЖГ, 1994, 6, С. 113-117.
4. Valiullin R.A., Sharafutdinov R.F., Ramazanov A.Sh. A Research into thermal field in Fluid-saturated Porous Media// Powder Technology, 2004, v.148, is.1, pp.72-77.

5. Хабиров Т.Р., Садретдинов А.А., Шарафутдинов Р.Ф. Математическая модель для расчета термогидродинамических процессов в системе горизонтальная скважина – пласт // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. № 8, 2013. С. 29-33.

© Бабаназаров Д.И., Шарафутдинов Р.Ф., 2024

ПОСТРОЕНИЕ ФАЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПЛАСТОВ ТЕРРИГЕННОЙ ТОЛЩИ

Из-за уменьшения запасов углеводородов в основных регионах добычи нефти и газа внимание нефтяных компаний все больше переключается на структурно-литологические и литологические ловушки. Существование последних обусловлено различиями в составе горных пород, включая их продуктивные зоны. Для идентификации и картографирования ловушек необходимо проводить анализ геологического разреза на основе комплексных данных скважин и сейсмике.

В работе выделение фаций по скважинам проводилось на основе типизированных каротажных кривых ПС и ГК. Результирующая модель представлена на рисунке.

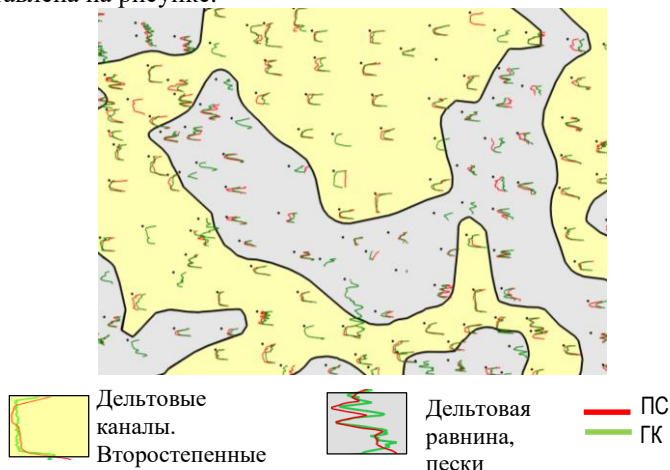


Рис. 1. Пример фациальной модели

Литература

1. Муромцев В.С. Электромеханическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984. – 260 с.
2. Рейнек, Г.Э., «обстановки терригенного осадконакопления» / Г.Э. Рейнек, И.Б. Сингх. – Москва «Недра», 1984. – 439 с.

© Тавлыкаев С.Р., Мухутдинов В.К., 2024

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АЗИМУТАЛЬНО- РАСПРЕДЕЛЁННОГО ДАТЧИКА СТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛОВ ПРИТОКА ФЛЮИДА

Современные методы увеличения нефтеотдачи (МУН), такие как заводнение скважины, технология гидродинамического разрыва пласта, применение химических реагентов и ПАВ, позволяют значительно повысить коэффициент извлечения нефти. Так, ещё в 70-е годы XX века считалось, что КИН не может превышать 30-35%, в наши же дни при использовании МУН легко достижимы значения КИН в 45 и даже 50%, что открывает возможности для более глубокой выработки уже разработанных традиционными методами месторождений.

В действительности доля запасов, выявляемых в ходе переоценки объёмов, доступных на месторождениях категорий А1, В1 и С1 уже долгие годы остаётся значительной и составляет примерно 30% от общего количества запасов, обнаруживаемых каждый год при выполнении геологоразведочных работ, что компенсирует отсутствие открытий новых крупных и уникальных месторождений. Также, добыча вновь открытых запасов составляет более трети от всего объёма добываемых углеводородов.

Стоит отметить, что добыча нефтепродуктов на разработанных месторождениях не требует новых капитальных вложений, так как в процессе первых этапов разработки уже пробурена сетка скважин и уже создана необходимая инфраструктура для её обслуживания. Но использование давно сконструированных скважин имеет и неприятные стороны, такие как разрушение обсадной колонны вследствие коррозии, нарушение структуры пластов, появление зон поглощения, источников обводнения и так далее.

С одной стороны, зоны поглощения могут значительно снизить дебит скважины, поглощая часть потока флюидов из более глубоких пластов. С другой стороны, наличие нарушения колонны может приводить к обводнению продукции скважины и являться источником обводнения скважины. Подобные участки требуют особенного внимания. На данный момент существует только один доступный и относительно дешёвый метод определения скорости потока флюидов в скважине – расходометрия. Учитывая перспективность и востребованность данного направления,

возникла необходимость в усовершенствовании приборов, используемых в расходомерии, а также в создании программного обеспечения, способного обрабатывать и интерпретировать большие объёмы данных. Одним из таких подходов является использование индукционного нагрева термоанемометра и анализ темпов изменения температуры датчиками температуры, расположенными по периметру нагреваемой области. Такой термоанемометр назван азимутально-распределённым термоанемометром.

В данной работе для радиально-азимутального термоанемометра разработано программное обеспечение, позволяющее визуализировать данные датчиков температуры и проводить анализ температурных аномалий. Целью данной работы является разработка и адаптация программного обеспечения для визуализации данных температуры с азимутально-распределёнными датчиками СТИ. Практическая значимость заключается в разработке собственного ПО, которое упростит обработку данных с азимутально-распределённого датчика СТИ.

Литература

1. Михеев М. А. Основы теплопередачи. - М.: Энергия, 1977. – 344 с.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1958. – 406 с.
3. Lienhard IV John H. A heat transfer textbook, third edition. – Cambridge: Phologiston Press, 2003. – 517 p.
4. Низаева К.Р. Численный анализ процессов теплообмена для датчика термоанемометра: Тез. докл. ВНКСФ-14. науч. конф. – Уфа, 2008. – 678 с.
5. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров. – М.: Атомиздат, 1979. – 209 с.

© Шарафутдинов Р.Т., Космылин Д.В., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НЕФТИ, ВОДЫ И ГАЗА ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ВЫШЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕНИЯ НЕФТИ ГАЗОМ

Реальный процесс фильтрации флюидов в пористой среде является неизотермическим. Вследствие действия эффектов Джоуля-Томсона, адиабатического расширения температура флюидов при фильтрации изменяется. При эксплуатации скважины забойное давление меняется и с течением времени может снижаться ниже давления насыщения нефти газом, в этом случае происходит разгазирование нефти и выделение газа. Этот процесс приводит к поглощению тепла, т.е. снижению температуры системы. В общем случае, при наличии водной фазы в пласте в условиях разгазирования наблюдается трехфазный поток нефти, воды и газа. Неизотермичность потока в данном случае будет проявляться за счет термодинамических эффектов и теплоты фазового перехода при разгазировании нефти. В случае, когда забойное давление не снижается ниже давления насыщения разгазирование нефти не происходит. В этом случае, при наличии в пласте водной фазы наблюдается двухфазное течение. Однако прорыв газовой фазы в пласт из газовой шапки, может приводить к трехфазному течению в пласте. При забойных давлениях выше давления насыщения в пласте разгазирование не происходит и изменение температуры происходит только за счет термодинамических эффектов.

В данной работе, рассматриваются особенности температурного поля при наличии и отсутствии разгазирования нефти в трехфазных потоках. Показано, что использование эффекта разгазирования может быть использовано для определения источника образования газовой фазы, за счет разгазирования или за счет прорыва из газовой шапки, т.е. это газ разгазирования или свободный газ.

Литература

1. Чарный И.А. Подземная гидродинамика. М.: Гостехиздат, 1963. – 396 с.
2. Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. М.: Недра, 1965. – 238 с.

3. Шарафутдинов Р.Ф. Математическое моделирование и экспериментальное исследование многофазных потоков // НТВ «Каротажник» – 2004. – № 14. – С.59-72.

4. Федоров К.М., Шарафутдинов Р.Ф. К теории неизотермической фильтрации с фазовыми переходами // Известия академии наук СССР, МЖГ. 1989. – № 5. – С. 78-85.

5. Valiullin R.A., Sharafutdinov R.F., Ramazanov A.Sh. A Research into thermal field in Fluid-saturated Porous Media // Powder Technology, 2004, v.148, is.1, pp.72-77.

6. Хабиров Т.Р., Садретдинов А.А., Шарафутдинов Р.Ф. Математическая модель для расчета термогидродинамических процессов в системе горизонтальная скважина – пласт // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. № 8, 2013. С. 29-33.

© Хомутова В.Е., Шарафутдинов Р.Ф., 2024

АЛГОРИТМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ГИС В ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Стандартизация геофизических исследований скважин в петрофизических исследованиях нефтяных месторождений играет критически важную роль в обеспечении надежности, сравнимости и воспроизводимости данных, что позволяет эффективно управлять разработкой месторождений и минимизировать риски.

Стандартизация в геофизических исследованиях скважин представляет собой процесс унификации методологий, инструментов, процедур обработки данных и критериев интерпретации, используемых в рамках петрофизического анализа. Основной целью стандартизации является достижение высокой степени точности и согласованности данных, получаемых из различных скважин и месторождений, что позволяет проводить корректное сравнение и анализ. Это особенно важно при масштабных и многофазных проектах разработки нефтяных месторождений, где решения принимаются на основе сопоставления данных из множества источников.

Однако процесс стандартизации встречает ряд проблем. Во-первых, различные геологические условия и физические характеристики пластов могут требовать индивидуального подхода к выбору и настройке геофизических инструментов и методик. Во-вторых, существующие технологические различия между оборудованием разных производителей могут затруднять стандартизацию процедур и интерпретации данных. Также необходимо учитывать динамическое развитие технологий и методов геофизических исследований, что требует постоянного обновления стандартов.

Решение проблемы стандартизации может включать создание международных и национальных стандартов, разработку и внедрение локальных нормативов на уровне компаний и корпораций. Это также может включать проведение регулярных тренингов для специалистов, обеспечение сертификации оборудования и методик, а также разработку специализированного программного обеспечения, поддерживающего стандарты в автоматизированном режиме.

Таким образом, стандартизация в геофизических и петрофизических исследованиях не только улучшает качество данных и эффективность

исследований, но и способствует более эффективной и экономичной разработке нефтяных месторождений на глобальном уровне.

Литература

1. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. – «Петрофизика»: учебник для вузов (1991), изд. Москва «Недра».
2. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин (1982), изд. Москва «Недра».

© Блинецов Н.А., Мухутдинов В.К., 2024

ПЕТРОУПРУГОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЭФФЕКТИВНОЙ СРЕДЫ ПО ПЛАСТАМ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ

Петроупругое моделирование предлагает возможность получить «идеальный» сейсмический отклик породы, оценить упругие свойства в условиях без воздействия бурового раствора. Полученная модель является физически обоснованной и может быть использована на определенном участке.

Объектом исследования представляет собой горизонт ачимовской толщи в одном из месторождений западной Сибири. Этот горизонт имеет сложную клинообразную структуру с высоким уровнем геологической неоднородности. Центральная часть месторождения не была охвачена сейсмическими исследованиями, что затрудняет точный анализ геологического строения пласта.

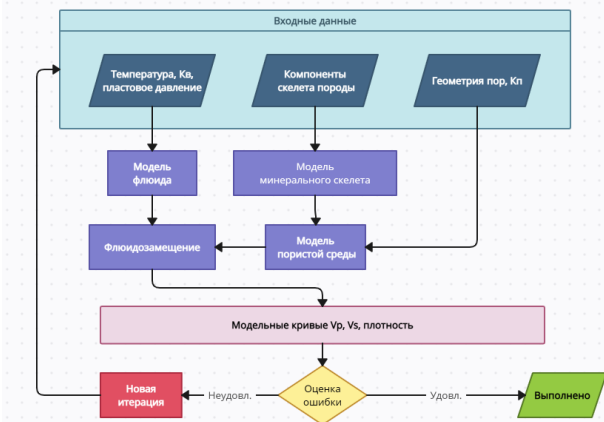


Рис. 1. Алгоритм проведения петроупругого моделирования

Для выполнения петроупругого моделирования на вход задаются следующие параметры: пластовые давление и температура, коэффициент водонасыщенности, параметры, описывающие геометрию пор, пористость, компоненты скелета породы, пластовые давление и

температура и коэффициент водонасыщенности. Затем отдельно строится модель минерального скелета и флюида, после чего строится модель пористой среды и проводится процедура флюидозамещения. Результатом являются модельные кривые продольных и поперечных скоростей, а также плотности. Данный процесс является итеративным, и после каждого этапа производится оценка ошибки. Модель применяется при условии удовлетворительном схождении с кривыми ГИС, записанными в опорной скважине.

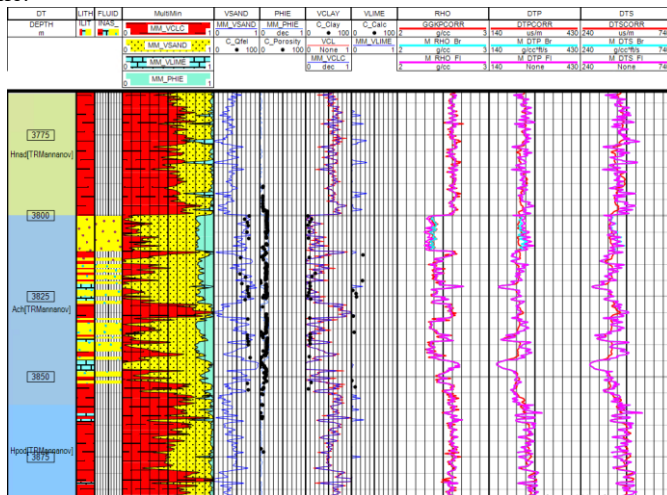


Рис. 2. Результаты петроупругого моделирования

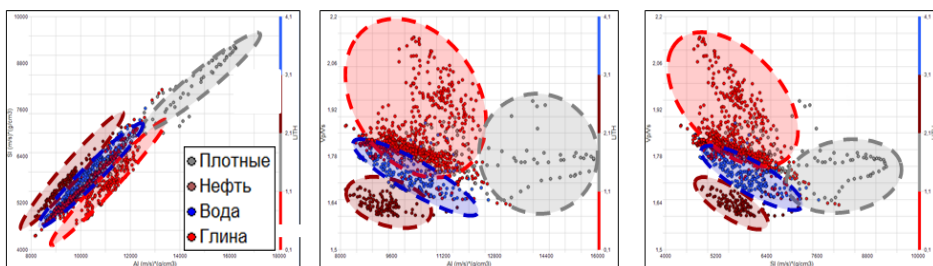


Рис. 3. Разделение «AI-SI», «AI-Vp/Vs», «SI-Vp/Vs» на модельных кривых (AI – акустический импеданс, SI – сдвиговый импеданс, Vp/Vs – отношение продольных и поперечных скоростей)

Результаты, полученные в данной работе, будут использованы для проведения сейсмической инверсии и прогноза коллекторских свойств на рассматриваемом участке.

© Маннанов Т.Р., Стручков А.С., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В СЛОИСТО НЕОДНОРОДНОМ ПЛАСТЕ БОЛЬШОЙ ТОЛЩИНЫ С УЧЕТОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

Рассматриваются термогидродинамические процессы фильтрации нефти и воды в неоднородном по проницаемости пласте большой толщины. Полученные закономерности могут быть использованы при интерпретации данных термометрии при двухфазной фильтрации. В работе проведено численное исследование влияния неоднородности по проницаемости на температурное поле в пласте большой толщины.

При составлении математической модели используются следующие допущения:

- капиллярными эффектами пренебрегается;
- теплообменом с окружающими породами пренебрегается;
- учитывается вертикальная и радиальная теплопроводность;
- учитывается влияние силы тяжести.

Математическая постановка задачи неизотермической двухфазной двумерной фильтрации с учетом термодинамических эффектов основывается на уравнениях сохранения масс фаз, уравнения движения в форме закона Дарси и уравнения притока тепла. Геометрия задачи представлена на рисунке 1. На рисунке 2 представлены результаты моделирования.

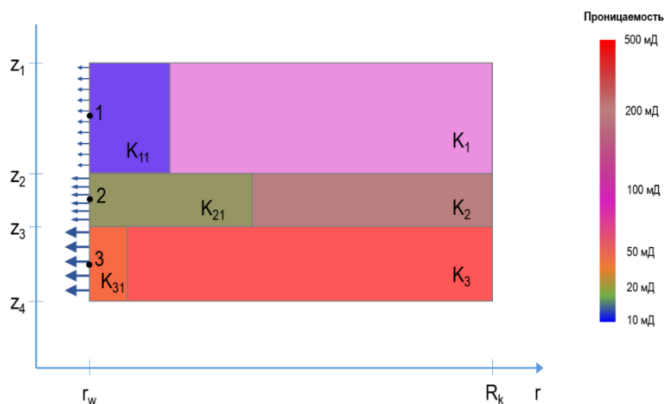


Рис. 1. Геометрия задачи

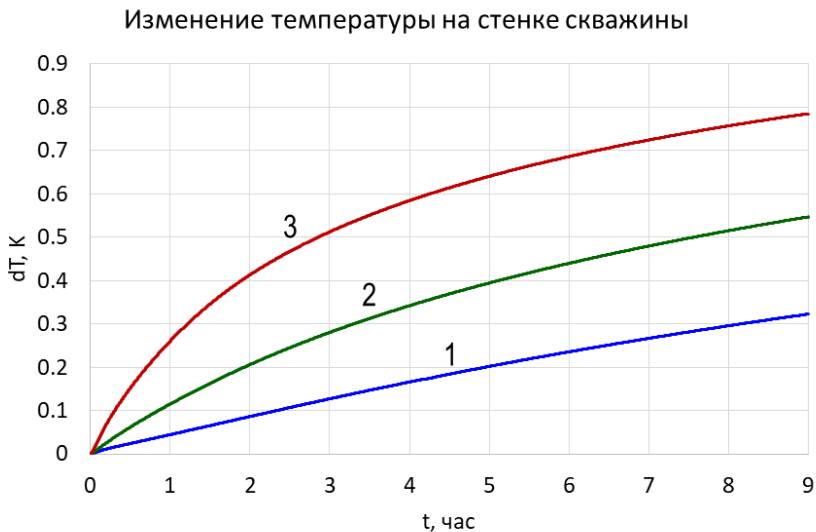


Рис. 2. Результаты моделирования

Рассмотрен случай неизотермического двухфазного потока флюида в пласте при наличии радиально-слоистой неоднородности. Из анализа полученных результатов следует, что распределение температуры притекающей жидкости по толщине пласта коррелирует с распределением проницаемости. Пропласткам с наибольшим значением проницаемости соответствует наибольший темп разогрева, а пропластку с наименьшим значением проницаемости - наименьший.

Литература

1. Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. М.: Недра, 1965.
2. 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.

© Сулейманова М.Д., Шарафутдинов Р.Ф., 2024

Аликов Р.Р.,
студ. 5 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Усманова Э.С.,
студ. 5 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Вахитова Г.Р.,
к.т.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ОЦЕНКА МАЛОМОЩНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ТИМАНСКОГО ГОРИЗОНТА ШКАПОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящее время Шкаповское нефтяное месторождение находится на заключительной стадии разработки. Обводненность продукции составляет 98%.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью оценки нефтяного потенциала маломощных коллекторов тиманский горизонта, который залегают на глубине около 1700-2000 м для вовлечения его в дальнейшую разработку. Проблемой является сложность выделения коллекторов по данным геофизических исследований скважин и оценка их свойств, т.к. методы ГИС имеют ограниченную вертикальную разрешающую способность.

В связи с этим, цель работы – выполнить оценку петрофизических свойств маломощных коллекторов и характера их насыщенности по каротажным данным.

В процессе интерпретации данных ГИС были выполнены расчеты пористости по методу нейтронного каротажа, коэффициента нефтенасыщенности и проницаемости. В среднем, значение пористости были рассчитаны используя корреляционную связь $A_{нк}=f(K_{п})$ для $y = 0.26 - 0.31 * x + 0.16 * x^2$ с достоверностью 0.96 и для пластов-коллекторов тиманского горизонта равно 18.5%. Коэффициент нефтенасыщенности рассчитан по формуле 1 и равен 83.2% в среднем. Прогноз проницаемости выполнен на основе корреляционной связи $K_{п}=f(K_{п})$ $y=2.48 * \ln(x) + 23.23$ с достоверностью в 0.86. В среднем, проницаемость в коллекторах составляет 0.261 мкм^2 .

$$K_n = 1 - \sqrt[n]{\frac{a * b * p_B}{K_{п}^m * p_{п}}} \quad (1)$$

Здесь, $K_{п}$ -коэффициент пористости д.ед, K_n - коэффициент нефтенасыщения д.ед; a, b, m, n константы уравнения Арчи-Дахнова определяются по данным керна.

Результатом данной работы стали петрофизические параметры – пористость, эффективная нефтенасыщенная толщина, коэффициент

нефтенасыщенности, проницаемость – необходимые для геологического моделирования и оценки запасов.

Следующим шагом работы будет оценка запасов пластов-коллекторов и построение геологической 3D модели.

Литература

1. Лозин Е.В. По поводу уроков разработки Шкаповского нефтяного месторождения // Георесурсы, 21(4), 2019. С.119-122.

2. Материалы IX Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах (г. Уфа, 26 – 27 апреля 2023 г.) / отв. редактор Ф.К. Закирьянов. – Уфа: РИЦ УУНИТ, 2023. – С. 143-144.

© Аликов Р.Р., Усманова Э.С., Вахитова Г.Р., 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В НАГНЕТЕТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ ТЕРМОДЕБИТОМЕРОМ ПО СЕРИИ ЗАМЕРОВ НА РАЗНЫХ СКОРОСТЯХ

Условия разработки месторождений требуют постоянного развития системы заводнения. Точное определение интервального расхода жидкости позволяет снижать затраты при закачке жидкости в пласты. Механическая расходомерия, являясь основным методом определения скорости потока жидкости в стволе скважины, имеет ограничения по применению [1].

Существуют методики определения скорости потока закачиваемой жидкости с помощью термодобитометрии при постоянной и переменной скоростях движения прибора [2].

В работе предлагается использование решения системы уравнений применительно к серии замеров скважинным термодобитометром (СТД):

$$\text{СТД}_i = A_i * e^{-B_i * (V_{\text{п}} - V_{\text{пр}i})^2} \quad (1)$$

где СТД_i – значение i -го замера термодобитометра на глубине, $V_{\text{пр}i}$ – скорость прибора i -го замера, $V_{\text{п}}$ – скорость потока, A_i – показание i -го замера термодобитометра в неподвижной среде при $V_{\text{пр}}=0$, B_i – комплексный параметр, зависящий от свойств датчика и параметров среды для i -го замера.

Литература

1. В.Ф. Назаров, В.К. Мухутдинов. Определение скорости потока закачиваемой воды в нагнетательных скважинах по результатам измерений механическим расходомером. НТЖ Нефтепромысловое дело. – М.: сентябрь 2012. С. 34-38.
2. Мухутдинов В.К., Диссертация, Развитие термодобитометрии при исследовании технического состояния нагнетательных скважин. – Уфа: 2016. – 156 с.

© Гарифуллина Д.И., Мухутдинов В.К., 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

В России, как и во всем мире, основные неиспользованные запасы нефти связаны с карбонатными отложениями. Сегодняшний подход к оценке запасов и планированию разработки месторождений обычно не учитывает различия между пустотными пространствами коллекторов, такими как поры, каверны и трещины, а также сложный многокомпонентный минеральный состав карбонатных горных пород.

Широко распространенная методика определения литологического типа пород и пористости по комплексу нейтронного гамма (НГК) и акустического (АК) каротажа позволяет установить литологический тип породы только в случае ее двухминерального состава и отсутствия каверновой составляющей порового пространства [1].

Более точную оценку пористости и литологического состава полиминеральных порово-кавернозных пород можно дать по комплексу данных АК, НГК, ГГКП. В этом случае задача литологического расчленения и установления пористости пластов в карбонатном разрезе сводится к решению системы линейных уравнений, связывающих определяемые по НГК, АК и ГГКП параметры с объемным содержанием в породе литологических разностей, их минералогической плотностью, коэффициентом пористости и нефтенасыщенности [2].

В работе приводятся результаты определения пористости коллекторов по данным без учета состава горных пород и с их учетом.

Литература

1. Добрынин В.М. Изучение пористости сложных карбонатных коллекторов // Геология нефти и газа. – 1991. – № 5. – С. 30–34.
2. Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А. Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов (при подсчете запасов и проектировании разработки месторождений). – М.: Недра, 1978. – 318 с.

© Мухаметшина А.И., Мухутдинов В.К., 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ПРИ СУЖЕНИИ СТВОЛА СКВАЖИНЫ

При работе добывающей скважины в стволе скважины могут наблюдаться многофазные потоки флюидов с механическими примесями. Природа возникновения примесей различна: от естественного происхождения в результате разрушения призабойной зоны пласта так и искусственные, например, вынос проппанта при выполнении гидроразрыва пласта [1]. Механические примеси представляют из себя сложную структуру, состоящую их парафино-смолистых отложений, мелких частиц горной породы. Осаждение механических примесей на стенках скважины осложняют работу подземного оборудования и при определённых условиях возникает осаждение механических примесей на стенке скважины. Возникает необходимость прогноза и анализа влияния осаждения примесей при проведении промыслово-геофизических исследований при различных профилях ствола скважины. Механические примеси в потоке флюида приводят к засорению датчиков измерительной системы, а также могут привести к аварийным ситуациям вследствие остановки и прихвата геофизического прибора на данных участках.

В данной работе была построена модель распределения температуры при изменении теплофизических свойств на участке осаждения. Меняя теплофизические свойства участка осаждения, а именно: толщину корки, скорость потока жидкости и коэффициент теплопередачи было установлено, что возникают термоаномалии за счёт того, что осаждённая механическая примесь ухудшает теплопередачу между флюидом и горной породой. А также построена модель профиля скорости течения при сужении участка (Рисунок 1).

В работе показано, что изменения температуры можно использовать как качественный признак осаждения механических примесей в виде изменения градиентов термограммы по стволу и соответственно наличие термоаномалий. Природой такого поведения термограммы может быть связано с изменением условий теплообмена, например, из-за: 1) увеличения теплопроводности стенки, вследствие осаждения примесей, 2) уменьшение проходного сечения и соответственно увеличение скорости флюида. Влияние осаждения также приводит к изменению показаний методов расходомерии (РГД и СТИ). На участках осаждения будет

наблюдаться увеличение скорости потока вследствие сужения ствола скважины.

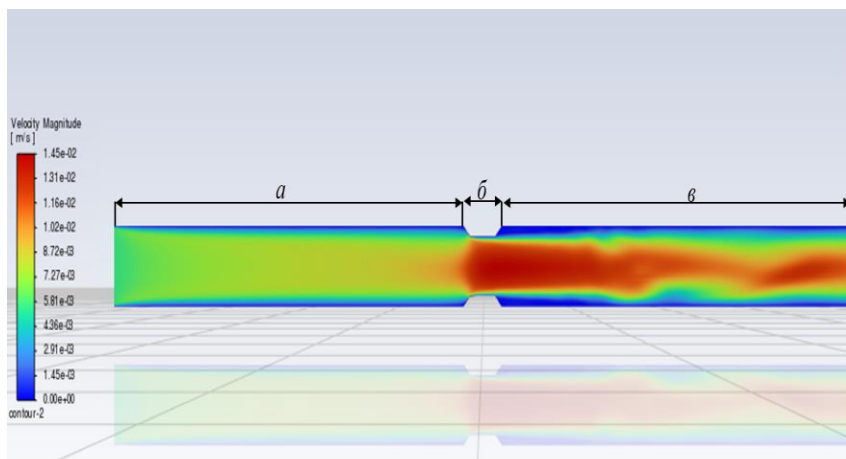


Рис. 1. Распределение скорости течения жидкости при сужение ствола (a – эффективный диаметр 103 мм (начальная область), $Q = 10 \text{ м}^3/\text{сут}$; b – осадок, эффективный диаметр 64 мм; c – без осадка, эффективный диаметр 103 мм

Литература

1. Келбалиев Г.И., Гусейнова Л.В., Расулов С.Р., Сулейманов Г.З. Моделирование процессов осаждения частиц различной природы на поверхности трубопроводов // Журнал "Нефтепромышленное дело". 2014. № 5. – 29 с.
2. Валиуллин Р.А. Термогидродинамические исследования пластов и скважин нефтяных месторождений: учебное пособие / Р.А. Валиуллин [и др.]. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. – 213 с.
3. Закиров М.Ф., Шарафутдинов Р.Ф., Валиуллин Р.А., Низаева И.Г. Моделирование скорости осаждения механических примесей в стволе горизонтальной скважины. // EAGE: 4-я научно-практическая конференция «Горизонтальные скважины 2021 проблемы перспективы. 2021. – 4 с.

© Карачурин А.И., Закиров М.Ф., 2024

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНО- МАГНИТНОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ В СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

В последние годы все чаще разрабатываются новые методы геофизических исследований скважин. Однако одним из эффективных методов для интерпретации данных сложнопостроенных коллекторов является ядерно-магнитный каротаж.

С помощью метода ЯМР можно оперативно получать информацию при исследовании образцов керна и шлама: определять содержание флюида в породе, характер насыщения (водную и нефтяную фазы), оценивать свойства нефти и воды, определять такие параметры, как пористость (открытую, закрытую, эффективную), содержание связанной воды и остаточной нефти, проницаемость породы и вязкость нефти. Залежи тяжелой нефти и природных битумов на территории РТ небольшие по размерам и запасам. Залегают в форме рассеянных локальных скоплений, относятся к пластово-сводовому типу сложного строения, ограниченные водой и непроницаемыми породами.

Проведен теоретический анализ работ на примерах месторождений тяжелой нефти Республики Татарстан.

Вязкость нефти пропорциональна скорости спин-спиновой релаксации $1/T_2$. Поэтому оценивая относительные различия скорости спин-спиновой релаксации можно говорить о различиях вязкости нефти.

Однако, в то время как эти эмпирические корреляции могут достаточно точно описывать традиционные нефти, однако вязкость тяжелой нефти они описывают с недостаточной точностью. Распределение T_2 и T_1 коллектора вязкой нефти обычно включает в себя сигналы, которые возникают от глинисто- и капиллярно-связанной воды, сигнала от вязкой нефти и сигнала от подвижной воды. У битумов чрезвычайно малые времена релаксации, и скважинные приборы ЯМК могут оказаться не в состоянии измерить их. Сложность в интерпретации возникает, когда часть очень быстро релаксирующих компонент вязкой нефти перекрывается сигналом от глинисто- или капиллярно-связанной воды.

Известно, что методом ЯМР измеряется ограниченное число параметров: амплитуда сигнала, времена релаксации T_1 и T_2 и коэффициент самодиффузии (КСД). Используемые приёмы

интерпретации полученных результатов требуют серьёзной петрофизической настройки на основе комплексного изучения кернового материала с помощью лабораторных ЯМР-релаксометров. Диффузионная релаксация и объёмная релаксация прямо зависят от свойств флюида, а влияние поровой среды обусловлено свойствами самой породы (распределение пор по размерам, гидрофобность, гидрофильность, наличие парамагнитных примесей). Поэтому первоочередной задачей 32 является последовательное установление влияния каждого из этих факторов на структуру сигнала

На первом этапе проведены лабораторные исследования для 77 образцов нефти бобриковского, заволжского, шешминского, пашийского, кыновского, алексинского и верейского горизонтов по определению реологических характеристик и магнитно-релаксационных свойств нефти в свободном объёме. Важным этапом при оценки вязкости на основе ЯМР-характеристик флюида является выбор измеряемого параметра. В ходе проведения исследования установлено, что наиболее перспективным является измерение времен спин-спиновой и спинрешеточной релаксации. Установлено, что параметром, коррелирующим с вязкостью наилучшим образом является среднегеометрическое время спин-спиновой релаксации - T2GM.

Таким образом, полученные результаты подтвердили применимость метода ЯМР для определения вязкости нефти коллекторов Республики Татарстан. Следующий этап направлен на изучение влияния характеристик порового пространства, свойств породы-коллектора и самодиффузии на магнитно-релаксационные характеристики нефти различной вязкости. Была отобрана коллекция 40 образцов турнейского яруса ($K_p = 0,93 - 20,41\%$) и 40 образцов терригенного девона ($K_p = 0,6 - 23,98\%$).

Можно сделать вывод, что для определения вязкости тяжёлой нефти в терригенных коллекторах Республики Татарстан необходима разработка и опробование собственной методики интерпретации данных ЯМР исследований.

Литература

1. Применения ядерно-магнитного каротажа в сильном поле для оценки вязкости на месторождениях сверхвязкой нефти Татарстана [Текст] / Р.С. Хисамов, Р.Ш. Динмухамедов, К.М. Мусин, Т.Р. Абдуллин, Т.В. Шипунов // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 7.
2. Липаев, А.А. Разработка месторождений природных битумов [Текст]: учеб. пособие / А.А. Липаев, З.А. Янгуразова. – Альметьевск: АГНИ, 2007.

© Садовский Г.М., Низаева И.Г., 2024

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО КАРОТАЖА ПРИ НАЛИЧИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ В БУРОВОМ РАСТВОРЕ

За последние годы условия поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа в России и за рубежом претерпели существенные изменения. Глубина разведочных и эксплуатационных скважин значительно возросла. Ведутся поиски и разработка залежей и коллекторов нефти и газа более сложного строения с низкими значениями пористости и более жесткими термобарическими условиями залегания, с применением новых типов промывочной жидкости (ПЖ).

В последнее время на территории Урало-Поволжья наблюдается устойчивая тенденция к снижению добычи нефти, ухудшается структура остаточных запасов, что проявляется в увеличении объема трудно-извлекаемых углеводородов, возрастает удельный вес карбонатных коллекторов, основные запасы нефти в которых приурочены к турнейским и каширо-верей-башкирским отложениям.

С карбонатами коллекторами связано более 40% мировых запасов нефти и около 60% мировой добычи нефти. В низкопродуктивных коллекторах крупнейших месторождений Татарстана содержатся: на Ромашкинском месторождении - 15,6% текущих балансовых запасов, на Ново-Елховском - 23,2%, на Бавлинском - 8,6 % . В структуре запасов нефти их доля ежегодно увеличивается. До сих пор задача определения фильтрационно-емкостных свойств карбонатных коллекторов остается трудно выполнимой. Для решения задач выделения низкопористых карбонатных коллекторов с высокой степенью расчлененности и прерывистостью продуктивных пластов часто применяется ядерно-магнитный каротаж. Информация о потенциально возможном количестве извлекаемого флюида из коллектора, полученная с помощью ЯМК наиболее важна в случае, где стандартным комплексом ГИС однозначно не получают достоверную информацию или в новых месторождениях, в разведочных скважинах, где заранее не известны петрофизические связи. Метод надежно зарекомендовал себя при исследовании бурящихся скважин различной литологии на глинистом растворе. Применение в бурении новых типов промывочной жидкости для сохранения целостности ствола скважины, продуктивных пластов и т.д. негативно сказывается на

качестве ЯМК, а иногда и вообще становится невозможной количественная обработка его данных, поскольку сигналы от ПЖ превышают полезные сигналы от пластовколлекторов с низкой пористостью. Необходимо разработать способ для снижения негативного влияния ПЖ на ЯМК в модификации слабого поля Земли.

Цель работы. Разработка устройства для аппаратуры ядерно-магнитного каротажа в поле Земли и соответствующей технологией его проведения для снижения влияния промывочной жидкости на эффективность ЯМК при исследовании низкопористых карбонатных коллекторов скважин, бурящихся на облегченных и полимерных ПЖ.

1. Проведена классификация промывочных жидкостей по степени влияния на качество ЯМК, а именно по их релаксационным характеристикам. По этому критерию выделены три группы ПЖ: с малыми временами релаксации (до 5мс), со средними временами релаксации (5-30мс), с большими временами релаксации (более 30мс). Предложены режимы проведения ЯМК в условиях применения разных ПЖ.

2. Разработано устройство, с помощью которого создается неоднородность магнитного поля вблизи скважинного прибора ЯМК, то есть в стволе скважины, из которой сигнал ЯМК не образуется. В зависимости от типа ПЖ выбирается технология проведения ЯМК, то есть в обычном режиме или в режиме снижения сигнала от ПЖ. Причем в зависимости от степени влияния ПЖ, а именно от величины сигнала от нее выбирается определенный режим (ток определенной величины и длительности) или программное исключение сигналов от ПЖ.

Литература

1. Дубровский В., Чухвичев В.Д., Мурзакаев В.М., Губайдуллин Ф.Ф. Новые возможности ядерно-магнитного каротажа в условиях применения облегченных типов промывочной жидкости // Научно-технический вестник «Каротажник» выпуск 8 (185), г. Тверь, 2009. С. 17-24.

2. Чухвичев В.Д., Мурзакаев В.М. Метрологическое обеспечение количественной интерпретации результатов ядерно-магнитного каротажа. // Научно-технический вестник «Каротажник», выпуск 11(188), г. Тверь, 2009 г. С. 127-138.

© Басыров И.Г., Низаева И.Г., 2024

Исламов Р.А.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Шарафутдинов Р.Ф.,
д.ф.-м.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА ДЛЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Для наиболее полного извлечения углеводородов из пласта необходимо повысить достоверность геофизических методов при контроле за эксплуатацией нефтегазовых месторождений. Наиболее перспективным при решении задач контроля за эксплуатацией нефтегазовых месторождений является метод термометрии скважин. Термометрия решает важнейшие задачи: выявление работающих пластов, определение нефтегазовых притоков и оценка технического состояния скважины. При интерпретации данных термометрии необходимо знать количественное значение коэффициента Джоуля-Томсона для того, чтобы знать состав притока. В настоящее время определены значения коэффициентов Джоуля-Томсона для простых жидкостей, однофазных систем, таких как газ, нефть, вода. Однако, в реальных условиях, наблюдается фильтрация смеси воды и нефти, нефти и газа, а также эмульсии.

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.

Необходимо изучить процесс образования эмульсий, исследовать термогидродинамические процессы и провести эксперименты по исследованию эффекта Джоуля Томсона.

Эффект Джоуля - Томсона — явление изменения температуры газа или жидкости при стационарном адиабатическом дросселировании — медленном протекании газа под действием постоянного перепада давлений сквозь дроссель (пористую перегородку).

Литература

1. А.А. Асылгареев, Р.Ф. Шарафутдинов, Р.А. Валиуллин, Д.В. Космылин. Экспериментальное исследование термогидродинамических процессов при фильтрации водонефтяной эмульсии. Статья для вестника ТюмГУ, 2022.

2. Ахметов А.Т., Нигматулин Р.И., Федоров К.М. О механизме вытеснения нефти из пористой среды мицеллярными растворами // Доклады Академии наук СССР. 1987. Т. 293. No 3. С. 558.

3. Ахметов А.Т., Саметов С.П. Особенности течения дисперсии из микрокапель воды в микроканалах // Письма в Журнал технической физики. 2010. Т. 36. No 22. С. 21-28.

4. Ахметов А.Т., Телин А.Г., Мавлетов М.В. Новые принципы применения обратных водонефтяных эмульсий в потокоотклоняющих технологиях и глушении скважин // Нефтегазовое дело. 2005. No 3. С. 119-126.

5. Валиуллин Р.А., Кулагин О.Л., Шарафутдинов Р.Ф. Экспериментальное изучение термодинамических эффектов в газожидкостных системах // Физико-химическая гидродинамика: Межвузовский сборник. – Уфа, БашГУ. – 1995, С. 10-15.

© Исламов Р.А., Шарафутдинов Р.Ф., 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ В СТВОЛЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ ПО ДАННЫМ ПГИ

В последние десятилетия, как в нашей стране, так и за рубежом активно развивается технология бурения горизонтальных скважин. Основным преимуществом горизонтальной скважины является увеличение поверхности контакта с коллектором, что обеспечивает увеличение темпов отбора и количества извлекаемых запасов, уменьшение себестоимости добычи, снижение количества платформ и скважин при разработке месторождений на шельфе морей [1].

Стандартные методы ПГИ одноплатформенной аппаратуры в условиях горизонтальных скважин обладают пониженной информативностью [2]. Применение современной аппаратуры, ориентированной для применения в ГС и оснащенной несколькими датчиками, не всегда решает эту задачу.

Длительная практика применения скважинных шумомеров во многих случаях показала их эффективность для определения профилей притока и профиля приемистости в эксплуатационных скважинах и решения задач определения технического состояния скважины.

В работе рассматривается определение работающих интервалов методами промысловой геофизики: термометрии, расходомерии, влагомерии и спектральной шумомерии.

Литература

1. Яруллин Р.К., Валиуллин Р.А., Яруллин А.Р., [др.]. Особенности геофизических исследований действующих горизонтальных скважин на поздней стадии эксплуатации нефтяных месторождений. // НТВ АИС, «Каротажник». – 2010. Вып 1(190), с. 5-16.
2. Термогидродинамические исследования при различных режимах работы скважин: Руководство по исследованию и интерпретации. – Уфа: ООО НПФ «ГеоТЭК», 2002.

© Басимова А.Х., Мухутдинов В.К., 2024

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИС

Количественное определение содержания органического углерода (C_{org}) в нефтематеринских породах является важной задачей. Углерод органического происхождения содержится в горных породах в рассеянном состоянии и играет важную роль в формировании нефти и газа. Породы с высоким значением C_{org} обладают хорошими нефтегенерирующими свойствами.

Традиционно C_{org} определяется по результатам анализа керна в результате термического разложения органических соединений без доступа воздуха. Однако в отсутствии данных керна C_{org} может быть определен по данным ГИС. Цель данной работы заключается в определении C_{org} на основе автоматического выделения опорного интервала для нормализации каротажных диаграмм.

Объекты исследования нашей работы – это чистые и глинистые известняки, мергели и доломиты. Горные породы характеризуются высокой гамма-активностью, преимущественно за счет высокого содержания урана, и очень высоким сопротивлением.

В результате анализа каротажных данных написан код на языке Python [1], позволяющий автоматическим образом определять опорный интервал (выдержанный пласт глины) по разрезу скважин и выполнять нормализацию диаграмм. Реализован интерфейс для работы с цифровыми массивами скважинных данных. Код протестирован на данных 26 скважин группы месторождений Прикаспийского бассейна. Реализована выгрузка результатов расчетов в отдельные las-файлы.

Результаты данной работы будут использованы для расчетов органического углерода в сложных геологических разрезах для задач оценки нефтегенерационного потенциала. Дальнейшая работа будет связана с улучшением кода и оценкой достоверности результатов расчета.

Литература

1. Билл Любанович Простой Python. Современный стиль программирования. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2021. – 592 с.: ил. – (Серия «Бестселлеры O'Reilly»).

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА НАСЫЩЕННОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ ПЛАСТА ЮС1 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИВЫХ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

При оценке характера насыщенности коллекторов широко применяются результаты капилляриметрических исследований образцов горных пород.

Методика получения информации о критических значениях водонасыщенности заключается в пересчете кривых капиллярного давления в кривые относительной фазовой проницаемости по известным формулам Бурдайна [1]:

- для смачивающей фазы (вода):

$$K_{\text{пр,отн}}^{\text{в}} = \left(\frac{K_{\text{в}} - K_{\text{во}}}{1 - K_{\text{во}}} \right)^2 * \frac{\int_0^{K_{\text{в}}} \frac{dK_{\text{в}}}{\rho_{\text{к}}^2}}{\int_0^1 \frac{dK_{\text{в}}}{\rho_{\text{к}}^2}} \quad (1)$$

- для несмачивающей фазы (нефть):

$$K_{\text{пр,отн}}^{\text{н}} = \left(1 - \frac{K_{\text{в}} - K_{\text{во}}}{1 - K_{\text{во}} - K_{\text{но}}} \right)^2 * \frac{\int_0^{K_{\text{в}}} \frac{dK_{\text{в}}}{\rho_{\text{к}}^2}}{\int_0^1 \frac{dK_{\text{в}}}{\rho_{\text{к}}^2}} \quad (2)$$

По пласту ЮС1 месторождения Западной Сибири выделены зоны коллекторов, при испытании которых получены (рис. 1):

- зона 1- безводный приток нефти ($K_{\text{во}} \leq K_{\text{в}} \leq K_{\text{в}}^{\text{кр}}$),
- зона 2 - совместный приток воды с нефтью ($K_{\text{в}}^{\text{кр}} \leq K_{\text{в}} \leq K_{\text{в}}^{\text{внк}}$),
- зона 3 - приток чистой воды ($K_{\text{в}} \geq K_{\text{в}}^{\text{внк}}$).

Данная методика позволила уточнить характера насыщенности коллекторов в скважине X в подошве пласта ЮС1, что подтверждается опробованием.

Используя данные лабораторных исследований воды и нефти и подставляя их в нижеприведённую формулу, реализован пересчёт кривых капиллярных давлений в кривые $H-K_{\text{в}}$, на основе которых построили график $K_{\text{н}}-K_{\text{в}}$ с шифром кривых H (высота расположения над контактом) (рис. 2).

$$H = \frac{10 * P_{\text{к}} * \delta_{\text{пл}}}{(\sigma_{\text{в}} - \sigma_{\text{н}}) * \delta_{\text{лаб}}} \quad (3)$$

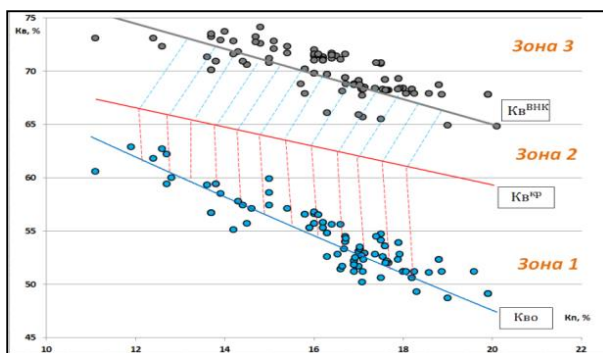


Рис. 1. Зависимость $K_{в0}$ и критических значений водонасыщенности $K_{в*}$ и $K_{в}^{ВНК}$ от $K_{п}$ для пород-коллекторов пласта ЮС1 месторождения Западной Сибири

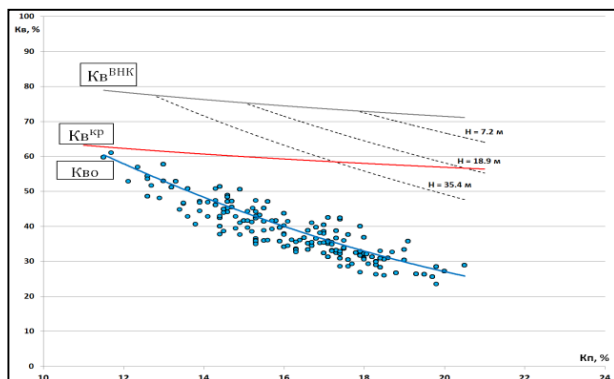


Рис. 2. График для определения $K_{в}$ пород-коллекторов в зависимости от их $K_{п}$ и высоты расположения над ВНК

Проведена оценки характера насыщенности коллекторов васюганской свиты для месторождения Западной Сибири по критическим значениям коэффициентов водонасыщенности ($K_{в}^{кР}$). Полученные при петрофизических исследованиях расчеты кривых капиллярного давления в кривые относительной фазовой проницаемости определялись по модели Бурдайна.

Литература

1. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. – Москва-Тверь, 2003.

© Гильфанова И.Р., Коломасова С.А., 2024

СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

УДК 538.953

Ким А.С.,
зам. дир. ООО «Альянс», г. Тюмень
Гильманов А.Я.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ШЕН ТюмГУ, г. Тюмень
Шевелёв А.П.,
к.ф.-м.н., доц., проф. ШЕН ТюмГУ, г. Тюмень

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ХЛАДАГЕНТА В ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРЕ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ ЖИДКОСТЬ-ПАР

Развитие арктических территорий является одним из приоритетов внутренней политики Российской Федерации. В то же время строительство в условиях вечной мерзлоты требует учёта возможности протаивания грунта. Для борьбы с этим явлением используются термостабилизаторы, из которых одними из наименее энергозатратных являются двухфазные сезоннодействующие охлаждающие устройства (СОУ) [1]. Расчёт параметров устройства и прогнозирование охлаждения мёрзлого грунта невозможно без этапа математического моделирования процессов теплопереноса многофазного хладагента в таком устройстве. Существующие модели не учитывают ряда особенностей конструкции СОУ, которые могут повысить эффективность использования термостабилизаторов, в частности, оребрения внешней поверхности подземной части устройства, позволяющего дополнительно понизить температуру грунта, и разделения внутренней трубы установки, предназначенной для транспортировки жидкой фазы хладагента, на сегменты для равномерного охлаждения грунта. Поэтому целью работы является создание математической модели течения двухфазного хладагента в термостабилизаторе с фазовым переходом жидкость-пар. Впервые выделяются подзадачи с учётом симметрии процессов, позволяющие получить ряд аналитических решений для тепловых потоков в различных частях системы.

При моделировании течения хладагента учитывается, что во внутренней трубе СОУ движется только жидкая фаза в гидростатическом приближении, в зазоре между корпусом термостабилизатора и внутренней трубой движется двухфазный хладагент, в качестве которого используется углекислота. В рамках интегрального подхода рассматривается стационарное односкоростное приближение, позволяющее уменьшить количество входных параметров и время моделирования, что особенно

актуально при контроле возведённых зданий и сооружений в арктической зоне на практике. Сшивка решений задач проводится с помощью граничных условий, учитывающих баланс массы и тепла хладагента. Фазовые переходы учитывают удельную теплоту испарения углекислоты и соответствующую ей интенсивность массообмена между фазами. Само испарение вызвано поглощаемым СОУ тепловым потоком из грунта, что приводит к охлаждению последнего. Решение системы уравнений для движения двухфазного хладагента проводится численно с помощью метода Эйлера.

В результате расчётов получены вертикальные профили температуры в грунте и в зазоре между корпусом СОУ и внутренней трубой устройства. Показано, что расчётное распределение температуры в грунте с удовлетворительной точностью сходится с реальными данными для зданий Салехарда. Определено, что более 60% жидкой фазы испаряется при движении вверх по термостабилизатору. Установлено, что наличие оребрения позволяет дополнительно охладить грунт на 1 К.

Литература

1. Nurpeiis, A., Orlova, E., Ponomarev, K. An experimental study of the influence of a thermosyphon filling ratio on a temperature distribution in characteristic points along the vapor channel height // MATEC Web of Conference, 2017, v. 110, pp. 1–5.

© Ким А.С., Гильманов А.Я., Шевелёв А.П., 2024

Таирова К.Н.,
студ. 4 к. ШЕН ТюмГУ, г. Тюмень
Шевелёв А.П.,
к.ф.-м.н., проф. ШЕН ТюмГУ, г. Тюмень
Науч. рук.: Гильманов А.Я.,
к.ф.-м.н., ст. преп. ШЕН ТюмГУ, г. Тюмень

КРИТЕРИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВЕРШЕНИЯ ФАЗЫ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА В ПРОЦЕССЕ ПАРОГРАВИТАЦИОННОГО ДРЕНАЖА

Нефтедобычу можно считать важной частью мировой экономики, так как она неотъемлемо связана с многими другими отраслями человеческой жизни. Нефть является важным сырьем для производства широкого спектра продуктов для различной промышленности. Однако данный углеводород является ограниченным ресурсом и с каждым годом активной разработки запасы легкодобываемой нефти истощаются, что заставляет обращать внимание на трудноизвлекаемые запасы. Под такими запасами можно считать нефть с высоким значением вязкости и для её добычи следует использовать тепловые методы, среди которых метод парогравитационного дренажа является одним из самых эффективных за счёт использования горизонтальных скважин.

Процесс парогравитационного дренажа будет рассматриваться с помощью интегральной модели, которая позволит уменьшить расчетное время и определит некоторые параметры процесса. В интегральной модели будут включены уравнения сохранения массы для многокомпонентной системы, состоящей из воды, нефти и пара [1]. Также в ней использованы уравнение теплового баланса для паровой камеры, закон Дарси для фазы нефти и воды. Помимо приведённых выше уравнений в модели задействовано соотношение для критической скорости закачки пара [2].

Чтобы уменьшить количество параметров в модели парогравитационного дренажа, необходимо провести обезразмеривание системы уравнений. После чего уже полученная обезразмеренная система уравнений решается с помощью численного метода Эйлера и реализуется в виде программного кода, написанного на языке программирования Visual Basic for Applications.

Одним из преимуществ тепловых методов с закачкой пара является конденсация теплоносителя в пласте, в ходе которой выделяется значительное количество теплоты. Именно в ходе этой стадии происходит нагрев наибольшего количества нефти, и она становится подвижной. Поэтому далее следует ввести критерий, позволяющий определить момент

смены стадий процесса. Данный критерий будет отображать интенсивность притока нефти в паровую камеру, что и будет показывать момент завершения фазы конденсации пара, и он будет зависеть от произведения безразмерного коэффициента расхода пара R_n на обводненность $W(1)$:

$$C_{\text{инт.н}} = R_n W \quad (1)$$

На представленном ниже рисунке (рис.1) показано линейное увеличение охвата пласта. Это означает, что паровая камера будет линейно увеличиваться в размерах с течением времени при дальнейшей закачке пара через нагнетательную скважину. Однако если увеличить время моделирования, то, начиная с некоторого момента, параметр K_n перестает расти, и это объясняется тем, что получаемая пластом теплота будет полностью компенсироваться тепловыми потерями. В полученной модели максимальное значение коэффициента охвата пласта достигло 50%.

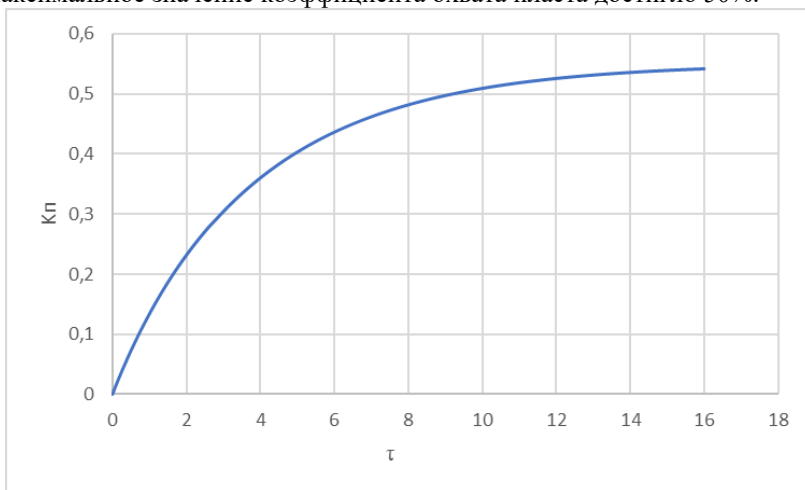


Рис. 1. Изменение коэффициента охвата пласта тепловым воздействием с течением времени

Из графика на рисунке 2 можно отметить момент, когда коэффициент интенсивности притока нефти достигает своего максимального значения. В момент времени $\tau \approx 1$ происходит стабилизация обводненности в пласте и конденсация пара в камере, что в свою очередь обозначает фазу активного притока углеводорода.

Вдобавок рассматривалась зависимость паронефтяного отношения и расхода нефти от времени. И по полученным данным можно сделать следующие замечания: паронефтяное отношение резко падает на начало процесса симуляции, а вот расход нефти ведет себя обратно

пропорционально паронефтяному отношению. В следствии чего можно сделать вывод о том, что чем больше пара будет закачиваться, тем больше будет эффективность процесса. Из проведенного расчета критической скорости закачки пара значение получилось равным: $R_{кр.с} = 0,275$, исходя из этого можно сделать вывод что если увеличить данный критерий, то внутри пласта будет происходить интерференция паровых камер, которая тоже способна увеличить нефтеотдачу. Расчет показал, что значение скорости закачки пара в данной модели равняется 0,742 и, следовательно, в рассматриваемом процессе будет наблюдаться интерференция.

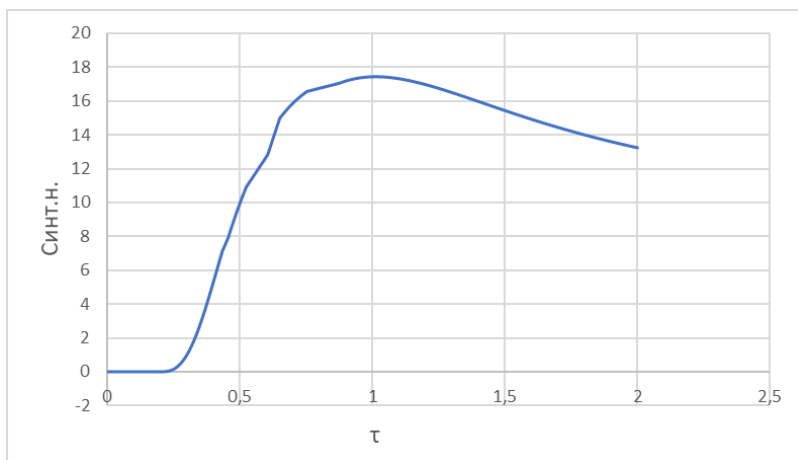


Рис. 2. Изменение критерия завершения фазы конденсации пара с течением времени

Таким образом, в работе введён критерий завершения фазы конденсации пара и определено время, когда интенсивность притока нефти в паровую камеру достигает максимального значения.

Литература

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред Часть 1 / Р.И. Нигматулин. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1987. – С. 464.
2. Gilmanov A. Ya. Optimization of steam assisted gravity drainage in verified integral simulator / A. Ya. Gilmanov, K. M. Fedorov, A. P. Shevelev // Инженерно-физический журнал – 2023 – 96 – № 1. С. 190-198.

© Таирова К.Н., Шевелёв А.П., Гильманов А.Я., 2024

Тулубаева Р.Р.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Хасанова Я.Р.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Валиуллина В.И.,
асп. 3 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ОСАЖДЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ МЕТОДОМ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Значимость дисперсных систем продолжает расти в связи с их широким спектром применений в различных областях науки и промышленности. Одной из ключевых областей, где актуальность проявляется уже многие десятилетия, является нефтегазовая промышленность, где применяются технологии для повышения качества метода увеличения нефтеотдачи. Осаждение твердых сферических частиц и капель в вязкой жидкости служит фундаментальным процессом, который влияет на поведение и свойства дисперсных систем [1].

В настоящей работе были экспериментально исследованы процессы седиментации одиночных элементов дисперсной фазы в жидкой вязкой среде. Экспериментальное исследование проводилось на специально собранной лабораторной установке, основным элементом которой являлась прямоугольная ячейка. В качестве объектов исследования использовались как твердые сферические частицы: частицы полиэтилена, пропанта фракций 16/20 и 30/50, так и капли разных размеров дистиллированной воды (Milli-Q). В качестве дисперсионной среды были выбраны глицерин ($\mu=0,594$ Па·с), вазелиновое ($\mu=0,055$ Па·с) и синтетическое масло ($\mu=0,124$ Па·с). Исследования проводились при температуре $T=24^\circ\text{C}$. Для определения размеров частиц использовался инвертированный микроскоп Olympus IX71, а для измерения размеров капель - длиннофокусный микроскоп, после чего данные были обработаны в программе ImageJ.

Осаждения частиц и капель фиксировались на фотокамеру. Полученные снимки обрабатывались в пакете программ MATLAB в измерительной системе PIV (Particle Image Velocimetry).

Была обнаружена хорошая корреляция между скоростью частиц различного размера и плотности, рассчитанной по закону Стокса [2,3]. При увеличении радиуса капель в одинаковых температурных условиях

наблюдается их более быстрое оседание, что согласуется с формулой Рыбчинского-Адамара [2,3]. Кроме того, исследуется закономерность осаждения твердых сферических частиц и капель в неньютоновских жидкостях по сравнению с осаждением по закону Стокса и Рыбчинского-Адамара.

Литература

1. Замула Ю.С., Валиуллина В.И., Мусин А.А., Ковалева Л.А. Экспериментальное моделирование динамики осаждения твердых сферических частиц, диспергированных в вязкой жидкости // Вестник Башкирского университета. – 2019. – Т. 24. – № 4. – С. 794-798.
2. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. – 1959.
3. Happel J., Brenner G. Hydrodynamics at low Reynolds numbers // М.: Mir. – 1976.

© Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р.,
Валиуллина В.И., Мусин А.А., 2024

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В СКВАЖИНЕ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА И АПРОБАЦИЯ ПОДХОДОВ ПО ОЦЕНКЕ СРЕДНЕГО ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

При проектировании и мониторинге разработки нефтяных месторождений используются карты распределения пластового давления (карты изобар). Одним из вариантов построения таких карт осуществляется с применением цифровых гидродинамических моделей в ПК «РН-КИМ». При этом настройка этих цифровых карт изобар осуществляется на результаты успешных гидродинамических исследований скважин. Для корректного применения результатов оценки пластового давления необходимо определиться с выбором метода осреднения его величины в области дренирования или на радиусе исследования скважины.

Существуют такие методы оценки среднего пластового давления как метод Мэттьюза-Бронса-Хазербрука (МБХ), метод МДХ-Дитца, метод Ларсена, метод материального баланса [1]. Все эти подходы реализованы в ПК «РН-ВЕГА» и использовались для выбора наилучшего метода осреднения и дальнейшего применения при настройке цифровых гидродинамических моделей. Для моделирования распределения давления в системе «трещина-продуктивный пласт» (1)-(2) использовались двумерное уравнение пьезопроводности в пласте и одномерное уравнение в трещине [2]:

$$\Phi_m C_{mt} \frac{\partial P_m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_m}{\mu} \frac{\partial P_m}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k_m}{\mu} \frac{\partial P_m}{\partial y} \right), \quad (1)$$

$$\Phi_{f_1} C_{ft_1} \frac{\partial P_{f_1}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_{f_1}}{\mu} \frac{\partial P_{f_1}}{\partial x} \right) + \frac{q_{f_1}}{w_{f_1} h}. \quad (2)$$

Литература

1. Давлетбаев А.Я., Асалхузина Г.Ф., Уразов Р.Р., Сарапулова В.В. Гидродинамические исследования скважин в низкопроницаемых коллекторах // Новосибирск: ООО «ДОМ МИРА», 2023. – 176 с. ISBN 978-5-6049467-7-0
2. Давлетбаев А.Я. Фильтрация жидкости в пористой среде со скважинами с вертикальной трещиной гидроразрыва пласта // Инженерно-физический журнал, 2012, Том 85, № 5. С. 919-924.

© Абдульмянов Д.Р., Давлетбаев А.Я., 2024

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗОХРОННЫМ МЕТОДОМ В СКВАЖИНЕ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАЗРЫВОМ ПЛАСТА В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

Разработка низкопроницаемых газовых пластов (от $0.01 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ мкм²) сопровождается необходимостью проведения гидравлического разрыва пласта. Контроль над разработкой месторождений требует периодическое проведение газодинамических исследований скважин. На практике реализуются различные технологии газодинамических исследований скважин. Одной из таких технологий является технология проведения изохронным методом [1].

Проведение исследований изохронным методом может привести к значительным затратам в связи с потерями добычи. Существует потребность оптимизации технологий проведения исследований в низкопроницаемых коллекторах [2]. Для этого выполнено численное моделирование фильтрации газа в низкопроницаемом пласте с трещиной гидроразрыва пласта. Исследовано изменение давления и величины притока газа в скважине, проанализированы распределения давления, псевдодавления и параметров газа в системе «трещина – пласт». При этом учитывается, что вязкость газа и коэффициент пьезопроводности в пласте и трещине не являются постоянными величинами и зависят от давления [1]. Уравнение для распределения давления газа в трещине и продуктивном пласте:

$$\varphi_f c_{ft} \frac{\partial m(P_f)}{\partial t} = \frac{k_f}{\mu_g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial m(P_f)}{\partial x} \right) + \frac{q_m}{\omega_f h},$$

$$\varphi_m c_{mt} \frac{\partial m(P_m)}{\partial t} = \frac{k_m}{\mu_g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial m(P_m)}{\partial x} \right) + \frac{k_m}{\mu_g} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial m(P_m)}{\partial y} \right).$$

Литература

1. Давлетбаев А.Я., Мухаметова З.С. Фильтрация газа в низкопроницаемом коллекторе с трещиной гидроразрыва пласта // Прикладная механика и теоретическая физика. 2019. Т. 60. №1, С. 41 – 53. DOI: 10.15372/PMTF20190106
2. Давлетбаев А.Я., Асалхузина Г.Ф., Уразов Р.Р., Сарапулова В.В. Гидродинамические исследования скважин в низкопроницаемых коллекторах // Новосибирск: ООО «ДОМ МИРА», 2023. – 176 с. ISBN 978-5-6049467-7-0.

© Турумтаева Г.И., Давлетбаев А.Я., 2024

Гайсарова Л.В.,
студ. 3 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Валиуллина В.И.,
асп. 3 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Галеев Р.Р.,
маг. 2-го г.об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИИ МИКРОФЛЮИДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ МОНОДИСПЕРСНЫХ КАПЕЛЬ

Микрофлюидика способна оказать влияние на самые разные области промышленности. Кроме того, процессы, способствующие или препятствующие добыче нефти, происходят именно в микро- и наномасштабном диапазоне. Именно на этом уровне можно улучшить понимание фундаментальных процессов, влияющих на добычу нефти [1]. Несмотря на хорошо понятную физику образования капель в режиме сжатия в системах с двухфазным потоком, получения идентичных капель одинакового размера является сложной задачей.

Микрофлюидные устройства были спроектированы на основе теоретических расчетов и произведены с помощью фотополимерного принтера Anycubic Photon Mono M5S. В качестве материала для изготовления была использована быстро затвердевающая прозрачная фотополимерная смола. Исследования были проведены на инвертированном микроскопе Olympus 1X71. Для эксперимента были использованы два микрочипа с разными геометрическими каналами. В качестве дисперсионной среды было вазелиновое масло, дисперсная фаза – дистиллированная вода, поверхностно-активное вещество Span 80. В ходе работы были получены снимки микроканалов и капель эмульсии полученных при помощи генератора капель при 2х кратном увеличении.

В результате экспериментов были получены капли со средним радиусом $d=51,5$ мкм, при объемном расходе вазелинового масла $q=2,5$ мл/мин и воды $q=0,5$ мл/мин. При изменении расхода масла ($q=1,5$ мл/мин) образовывались капли со средним радиусом $r=52,5$ мкм

В процессе эксперимента удалось установить, что важную роль при образовании капель играет не только объемный расход жидкостей дисперсной фазы и дисперсионной среды, но и геометрия каналов. Так, при равных заданных параметрах, во втором случае расход жидкости дисперсионной среды оказался слишком большим, из-за чего процесс

образования капель был невозможен. На основе полученных данных в дальнейшем планируется оптимизировать способы подсчета размеров и создания микроканалов для генератора капель. Благодаря чему можно будет достичь не только высокую скорость образования капель, но и получить капли меньшего размера, чем на начальном этапе работы.

Литература

1. Stone H.A., Stroock A.D., Ajdari A. Engineering flows in small devices: microfluidics toward a lab-on-a-chip //Annu. Rev. Fluid Mech. – 2004. – Т. 36. – С. 381-411.

© Гайсарова Л.В., Валлиulina В.И.,
Галеев Р.Р., Мусин А.А., 2024

Усманов Б.А., маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Галеев Р.Р., маг. 2 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А., к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Зиннатуллин Р.Р., к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО НАГРЕВА

Одним из менее устоявшихся способов увеличения нефтеотдачи является электромагнитный (ЭМ) нагрев призабойной зоны пласта. Его эффективное применение осложняется в частности трудностью моделирования распространения ЭМ волн в пласт. Зачастую ЭМ воздействие в таком случае определяется по формуле распределённых источников тепла [1]:

$$q = 2\alpha P_0 e^{-2\alpha r} \quad (1)$$

где q – плотность распределённых источников тепла в насыщенной пористой среде; α – коэффициент поглощения электромагнитной волны; P_0 – плотность потока энергии, излучаемой магнетроном; r – расстояние, пройденное волной в среде.

Имея данные ЭМ нагрева среды с известными диэлектрическими параметрами, можно определить q в местах измерения температуры, затем, интерполировав, распределение q во всей остальной области

В рамках данной работы были проведены эксперименты по нагреву жидкости сверхвысокочастотным (СВЧ) ЭМ полем на специально разработанной лабораторной установке. Жидкость помещалась в электрически нейтральную секционную ёмкость для учёта неоднородности ЭМ поля. Распределение температуры поверхности жидкости после ЭМ воздействия измерялось тепловизором. В зависимости от конфигурации экспериментальной установки и от расположения объекта воздействия относительно излучателя распределения ЭМ поля и, соответственно, моделируемой плотности распределённых источников тепла были разными.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант №22-11-20042).

Литература

1. Зиннатуллин Р.Р., Мусин А.А., Гайсин И.В., Усманов Б.А. Исследование динамики температуры в керогеносодержащей породе при СВЧ нагреве. // Вестник Башкирского университета, Т. 27, № 4, 2022. С. 829-833.

© Усманов Б.А., Галеев Р.Р., Мусин А.А., Зиннатуллин Р.Р., 2024

МИКРОФЛЮИДНЫЙ ПОДХОД К СОРТИРОВКЕ КЛЕТОК

Микрофлюидика – отрасль науки, изучающая движение жидкости в микроканалах размерами 30-300 микрометров. Микрофлюидика работает с жидкостями на микроуровне, что значительно увеличивает точность и производительность эксперимента [1].

Процесс разделения клеток и их сортировки – необходимый шаг обработки проб многих анализов вследствие того, что многие жидкости, в частности кровь, состоят из клеток неоднородной популяции [2]. Таким образом, микрофлюидика предлагает методы сортировки и культивации клеток, основывающиеся на таких свойствах как размер, форма, деформируемость и другие.

У человека, больного канцерогенезом, кровь содержит циркулирующие опухолевые клетки (ЦОК) [3]. Они появляются уже на ранних стадиях рака, а также при его рецидивах. По этой причине число ЦОК в крови – один из важнейших показателей степени развития опухолевого процесса. Экспериментально доказано, что по уровню содержания ЦОК в крови можно предсказать, выживет ли больной с метастазами [4]. Эти клетки в жидкости можно обнаружить по определенным параметрам. Для этого используются микрофлюидные устройства (МФУ), представляющие собой сеть микроканалов, вытравленных в материале подложки (например, стекло, кремний). Микрофлюидные устройства по сравнению с другими методами обнаружения ЦОК имеют ряд важных преимуществ. К примеру тот факт, что для анализа требуется малый объем образца и реагентов, в то время как обычно для выявления ЦОК ввиду низкого содержания в крови требуется от 1 до 10 мл крови. Кроме того, эксперименты, проводимые с помощью МФУ, обладают достаточной точностью и производительностью.

В основном для анализа крови применяется метод детерминированного бокового смещения (DLD), разделяющий частицы в непрерывном потоке с разрешением до 10нм [5]. Здесь подразумевается, что опухолевые клетки по своим размерам больше, чем эритроциты и лимфоциты. Метод использует массив микростолбиков, расположенных в одном ряду и находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга. Каждый следующий ряд смещен относительно предыдущего на некоторое расстояние, что приводит к образованию нескольких обтекаемых потоков,

позволяющих определить смещение частиц перпендикулярно первичному потоку.

Для сокращения времени и ресурсов на создание МФУ используется численное моделирование, позволяющее подбирать оптимальные геометрические параметры микрофлюидного устройства. Одним из методов численного моделирования, применяемых для изучения описанных процессов, является метод граничных элементов (МГЭ). Главное преимущество данного метода заключается в возможности применения для моделирования деформируемых частиц и объектов со сложной геометрией [6]. В отличие от методов конечных элементов и конечных разностей, МГЭ обладает относительно высокой точностью и применим для многих классов задач, к тому же позволяет уменьшить размерность задачи на единицу, что упрощает решение и все последующие расчеты.

На сегодняшний день разработано множество различных микрофлюидных устройств. Однако несмотря на их способность обнаруживать даже единичные ЦОК в потоке крови, они все еще не внедрены в клиническую практику.

Литература

1. Colin S. (ed.). *Microfluidics*. – John Wiley & Sons, 2013.
2. Shen Y., Yalikun Y., Tanaka Y. Recent advances in microfluidic cell sorting systems // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2019. – Т. 282. – С. 268-281.
3. Hu D. et al. Sorting technology for circulating tumor cells based on microfluidics // *ACS Combinatorial Science*. – 2020. – Т. 22. – №. 12. – С. 701-711.
4. Замай Т. Н. и др. Микрофлюидные устройства в диагностике онкологических заболеваний // *Сибирское медицинское обозрение*. – 2013. – №. 5. – С. 10-14.
5. Huang L. R. et al. Continuous particle separation through deterministic lateral displacement // *Science*. – 2004. – Т. 304. – №. 5673. – С. 987-990.
6. Abramova O. A., Itkulova Y. A., Gumerov N. A. FMM/GPU accelerated BEM simulations of emulsion flow in microchannels // *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. – American Society of Mechanical Engineers, 2013. – Т. 56321. – С. V07BT08A009.

© Галиева К.А., Солнышкина О.А., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ПК «РН-ВЕГА»

При моделировании распределения давления в системе «трещина-пласт», как правило, емкостные свойства трещины (пористость и общая сжимаемость системы) принимаются равными свойствам продуктивного пласта [1]. При этом лабораторные исследования на пропантной пачке и данные производителей пропанта показывают, что эти параметры могут отличаться от свойств породы в несколько раз. В данной работе выполнено численное исследование влияния параметров трещины гидроразрыва пласта (ГРП), которые кратно отличаются от параметров продуктивного пласта, на кривые изменения давления в процессе эксплуатации добывающей скважины с постоянной величиной притока [2].

Распределение давления в трещине ГРП добывающей скважины описывается одномерным уравнением пьезопроводности [1]:

$$\varphi_f c_{ft} \frac{\partial P_f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_f}{\mu} \frac{\partial P_f}{\partial x} \right) + \frac{q_f}{w_f h}, \quad (1)$$

распределение давления в низкопроницаемом продуктивном пласте рассчитывается из двухмерного уравнения пьезопроводности:

$$\varphi_m c_{mt} \frac{\partial P_m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_m}{\mu} \frac{\partial P_m}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k_m}{\mu} \frac{\partial P_m}{\partial y} \right), \quad (2)$$

где φ_m и φ_f — пористости пласта и трещин; c_{mt} и c_{ft} — общая сжимаемость в пласте и в трещинах; k_m и k_f — проницаемости пласта и трещин; q_f — интенсивность притока и расхода; w_f — величина раскрытия трещин; h — высота пласта; μ — вязкость жидкости; P_m и P_f — давления в продуктивном пласте и трещинах; x и y — координаты. Индексы m и f относятся к матрице и трещинам ГРП соответственно.

На рисунке 1 (б) представлено сравнение результатов численного моделирования работы добывающей скважины с трещиной ГРП.

В результате сравнения установлено, что в случае, когда емкостные свойства трещины принимаются равными свойствам продуктивного пласта, выход на линейный режим происходит раньше, чем в случае, когда сжимаемость пласта больше сжимаемости трещины. Поэтому для достоверной оценки фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) продуктивного пласта и трещины важно учитывать подобное различие.

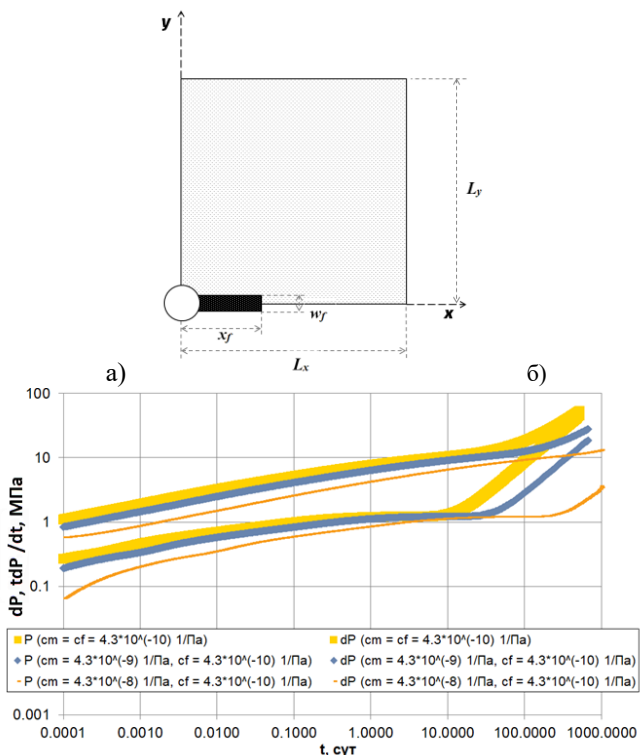


Рис. 1. а) Схема расчетной области; б) Сравнение результатов моделирования: желтый график – сжимаемости пласта и трещины равны

$$(c_{mt} = c_{ft} = 4.3 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{Па}}),$$

синий график – сжимаемость пласта на порядок больше сжимаемости трещины ($c_{mt} = 4.3 \cdot 10^{-9} \frac{1}{\text{Па}}, c_{ft} = 4.3 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{Па}}$), оранжевый график - сжимаемость пласта на два порядка больше сжимаемости трещины

$$(c_{mt} = 4.3 \cdot 10^{-8} \frac{1}{\text{Па}}, c_{ft} = 4.3 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{Па}})$$

Литература

1. Давлетбаев А.Я., Фильтрация жидкости в пористой среде со скважинами с вертикальной трещиной гидроразрыва пласта // Инженерно-Физический Журнал 2012. ТОМ 85 № 5 (108). С. 919 -924.

2. Гидродинамические исследования скважин в низкопроницаемых коллекторах / А.Я. Давлетбаев, Г.Ф. Асалхузина, Р.Р. Уразов, В.В. Сарапулова. – Новосибирск: ООО «ДОМ МИРА», 2023. – 176 с.

ISBN 978-5-6049467-7-0

3. <https://rn.digital/rnvega/>

© Байкова Р.А., Давлетбаев А.Я., Адельгужина Э.М., 2024

Нурияхметова Д.Э.,
студ. 3 к. ФТИ ПМФ УУНиТ, г. Уфа
Валиуллина В.И.,
асп. 3 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А., к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Вязкость неньютоновской жидкости в отличие от ньютоновской зависит от силы, действующей на жидкость, или от скорости течения жидкости. Если воздействовать на неньютоновскую жидкость механическими усилиями, мы получим совершенно другой эффект, жидкость начнет принимать свойства твердых тел и вести себя как твердое тело. Основной целью исследования было изучение реологических свойств неньютоновских и неньютоновских жидкостей.

В настоящей работе была экспериментально изучена вязкость ньютоновской жидкости модельной эмульсии типа «вода в масле», состоящая из вазелинового масла, дистиллированной воды и поверхностно-активного вещества Span 80 и неньютоновской жидкости – кокосового масла. Основной частью экспериментальной установки являлся ротационный вискозиметр Brookfield DV II+pro, подключенный к термостату Wise Circu WCB-6, а также реовискозиметр Гепплера подключенный к термостату LAUDA Alpha RA8. Были проведены замеры зависимостей скорости сдвига от напряжения сдвига при различных температурах (26°C–60°C).

В ходе эксперимента выяснилось, что вискозиметр Brookfield DV II+pro оказался более точным, но при низких температурах не эффективен, в отличие от реовискозимера Гепплера, который способен делать измерения при низких температурах. Неньютоновская жидкость зависит нелинейно от скорости деформации. Несмотря на то, что при повышении температуры вязкость неньютоновских жидкостей может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от типа жидкости и ее структуры, экспериментальные результаты показали, что измеренная вязкость жидкостей значительно снижалась с повышением температуры.

Литература

1. Мустафаева Г.Р. Реологические модели, присущие течению неньютоновских нефтей // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2018. – № 4. – С. 40-42.

Латыпов В.Р.,
маг. 2-го г. об. ФТИ УУНиТ, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа
Бикбулатова Г.Р., ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа
Науч. рук.: Давлетбаев А.Я.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ЗАТРУБНОМ ПРОСТРАНСТВЕ В МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЕ В ПК «РН-ВЕГА»

В настоящее время мониторинг работы механизированных скважин при разработке нефтяных месторождений осуществляется путем периодического измерения забойного давления и других параметров работы скважины. Для прямого измерения давления в механизированных добывающих скважинах, необходимо их оснащение системами погружной телеметрии (ТМС). Однако, не во всех скважинах присутствует данное оборудование и, соответственно, не во всех скважинах есть возможность проводить прямые замеры давления в стволе скважины.

В неоснащенном ТМС фонде скважин забойное давление получают расчетным методом в результате замера динамического уровня жидкости $H_{дин}$, а также в результате исследований методом отжима $H_{дин}$. При этом нередко наблюдаются случаи, когда измеренный динамический уровень жидкости оказывается ниже глубины спуска УЭЦН, либо имеются большие расхождения между рассчитанным по $H_{дин}$ и измеренным по ТМС давлениями [1].

В данной работе рассматривается возможность определения скорости звука в механизированных добывающих скважинах с помощью специализированного расчетного модуля в ПК «РН-ВЕГА» [2-3]. Целью работы является повышение достоверности определения забойного давления в механизированной добывающей скважине путем корректировки расчета скорости звука в ПК «РН-ВЕГА» с учетом температуры пласта, пластового давления и компонентного состава газа в межтрубном пространстве.

Литература

1. Махота Н.А., Давлетбаев А.Я., Бикбулатова Г.Р. [и др.]. Повышение точности определения забойного давления методом эхометрирования // Нефтяное хозяйство. 2014. № 18. С. 48-50.

2. Ишмуратов Т.А., Давлетбаев А.Я. и др. Определение средней скорости звука в межтрубном пространстве механизированной скважины. Патент RU 2 804 085. 26.09.2023.

3. <https://rn.digital/mvega/>

© Латыпов В.Р., Бикбулатова Г.Р., Давлетбаев А.Я., 2024

Адельгужина Э.М.,
ст. техник ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа
Акрамов И.Р.,
техник ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа
Науч. рук.: Ишкин Д.З.,
гл. спец. ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа
Давлетбаев А.Я.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ г. Уфа

ПОВЫШЕНИЕ ОХВАТА «МАЛОЗАТРАТНЫМИ» ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПК «РН-ВЕГА»

Одним из важных элементов, позволяющих осуществлять эффективную разработку газовых месторождений, являются газодинамические исследования скважин (ГазДИ). В последние годы для исследования скважин, работающих в условиях низкопроницаемых коллекторов, развитие получили «малозатратные» методы, которые не предусматривают длительной остановки скважины. Одним из таких исследований является анализ динамических данных дебита и давления (АДД) [1]. Данный метод имеет ряд преимуществ перед классическими ГазДИ, поэтому важной задачей на сегодняшний день является повышение охвата исследованиями АДД. В отдельных случаях количество замеров дебита по газовым скважинам недостаточно для достоверной оценки фильтрационных параметров пласта.

В связи с этим целью работы является повышение дискретности данных замера дебита на ранних временах с момента ввода в эксплуатацию. Для этого предлагается усовершенствовать и апробировать алгоритм повышения качества динамических данных по дебитам на основе алгоритмов машинного обучения, реализованный в ПК «РН-ВЕГА» [2]. Виртуальный расходомер на основе методов машинного обучения позволяет рассчитать дебиты жидкости на основе данных забойного давления и отдельных промысловых замеров дебита скважин. Задачей данной работы является апробация существующего алгоритма и его доработка для газовых скважин.

Проверка качества работы алгоритма проводилась на синтетических примерах (рис. 1). Тестирование осуществлялось по следующей схеме: на каждом тестовом примере был удален начальный участок данных по дебиту и с помощью алгоритма были рассчитаны отсутствующие замеры

дебита, после чего восстановленные при помощи алгоритма значения сравнивались с фактическими данными.

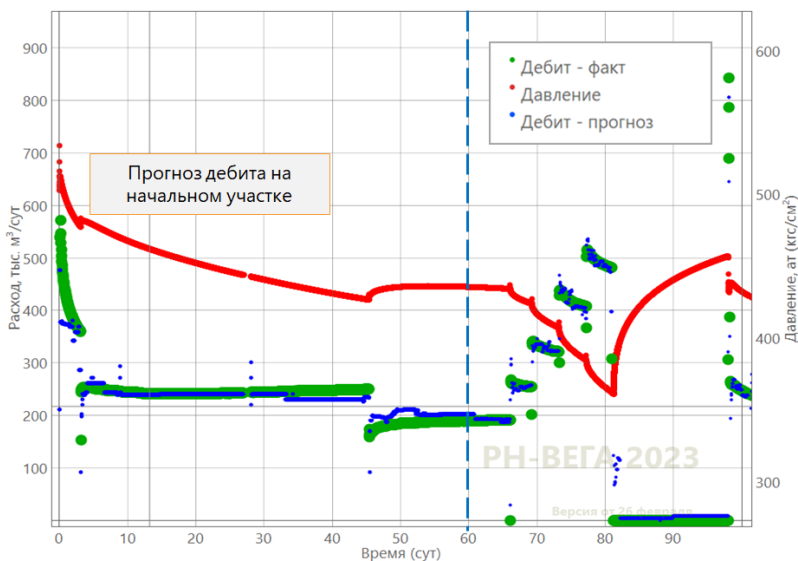


Рис. 1. Результаты апробации алгоритма по восстановлению данных по дебитам газовой скважины в ПК «РН-ВЕГА»

Помимо восстановления отсутствующих данных по дебиту газа на начальном участке был рассмотрен сценарий повышения качества и дискретности данных с помощью виртуального расходомера на примере промысловых данных газовой скважины. Результатом является существенное повышение качества динамических данных, что, в конечном счете, привело к повышению достоверности результатов интерпретации исследований методом АДД и к увеличению охвата исследованиями скважин. Это получилось реализовать за счет дополнения промысловыми данными по отдельным скважинам, по которым ранее, без применения виртуального расходомера, получение достоверных результатов интерпретации не удавалось осуществить.

Литература

1. Гидродинамические исследования скважин в низкопроницаемых коллекторах / А.Я. Давлетбаев, Г.Ф. Асалхузина, Р.Р. Уразов, В.В. Сарапулова. – Новосибирск: ООО «ДОМ МИРА», 2023. – 176 с. ISBN 978-5-6049467-7-0
2. <https://rn.digital/rnvega/>

© Адельгужина Э.М., Акрамов И.Р.,
Ишкин Д.З., Давлетбаев А.Я., 2024

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО РАССЛОЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Процессы осаждения капель одной жидкости в другой всегда были и остаются актуальной задачей механики жидкости. Прогнозирование поведения и управление дисперсными системами является сложной задачей из-за взаимодействий между фазами как на микроскопическом, так и на макроскопическом уровнях [1].

В данной работе проводится численное моделирование гравитационного расслоения полидисперсной эмульсии типа вода в масле в прямоугольной ячейке с помощью многомерного подхода. Решение системы уравнений с начальными и граничными условиями и с замыкающими соотношениями проводилось численно методом контрольного объема в программной среде OpenFOAM. Считается, что капли не сливаются, максимальная плотность упаковки равна $C_{max}=0,64$. Рассмотрена эмульсия с 4 разными размерами капель, соответствующими экспериментальным данным.

В результате адаптации численной модели к экспериментальным данным определены концентрации капель каждого размера: крупных капель в эмульсии меньше всего, далее идут очень мелкие и мелкие капли, больше всего в объеме эмульсии содержание капель среднего размера. Видно, что предложенная модель для описания оседания капель полидисперсной эмульсии хорошо описывает экспериментальные данные.

Предложена методика численного моделирования расслоения полидисперсной системы, основанная на представлении полидисперсной системы как совокупности квазиоднодисперсных систем и рассмотрении их совместной динамики.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-11-00298).

Литература

1. Valiullina V. et al. Experimental and numerical study of the water-in-oil emulsion thermal motion in rectangular cavity with a heated bottom // Adv. Probl. Mech. II. 2020. (Lecture Notes Mech. Engrg., 2022). DOI: 10.1007/978-3-030-92144-6_9.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Электрофорез – процесс переноса примеси электрическим полем. Это один из важнейших процессов в микросистемах полного анализа (Lab-on-a-chip). Одно из направлений моделирования электрофореза – это рассмотрение переноса жидкости электрическим полем в бездиффузионном приближении. В такой модели рассматриваются процессы в длинных и тонких капиллярах [1].

Изучение данной модели можно свести к задаче о переносе одной примеси в среде, электрическая проводимость которой зависит от концентрации[2]:

$$c_t + \operatorname{div} i = 0, \quad (1)$$

$$i = -\varepsilon \nabla c + \mu c E. \quad (2)$$

Литература

1. Ширяева Е.В. Математическое моделирование переноса примесей электрическим полем в плоских микроканалах: специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»: автореферат на соискание кандидата физико-математических наук / Ширяева Е.В.; Южный Федеральный Университет. – Ростов-на-Дону, 2010. – 24 с.
2. Жуков М.Ю., Ширяева Е.В. Использование пакета конечных элементов FreeFem++ для задач гидродинамики, электрофореза и биологии [Текст] / М.Ю. Жуков, Е.В. Ширяева. – 1-е изд. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2008. – 256 с.

© Миров Ф.С., Киреев В.Н., 2024

Фаррахетдинова А.И.,
студ. 1 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Сахибгареев Э.Э.,
асп. 3-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОГРАНИЧЕННОЙ ОБЛАСТИ

На сегодняшний день существует множество программных пакетов (OpenFOAM, FreeFEM, ANSYS Fluent), позволяющих с достаточно высокой скоростью решать задачи теплообмена и гидродинамики, используя численные методы. Однако большинство таких пакетов являются зарубежными, поэтому в рамках импортозамещения возникает необходимость создания отечественного пакета, воспроизводящего функционал моделирования таких физических процессов, как явление теплопереноса, конвекции. В данной работе рассматривается получение дискретного аналога для одномерной стационарной задачи теплопроводности на основе метода контрольного объема (МКО) и разработки программного кода для решения полученных алгебраических уравнений с помощью алгоритма Томаса [1] (TDMA, Tri-Diagonal-Matrix Algorithm), также известного как метод прогонки, имеющего сложность $O(n)$.

Суть метода контрольных объемов заключается в разбиении рассматриваемой области на конечное множество контрольных объемов с узловыми точками в каждом из них и получении для каждого контрольного объема дискретного аналога дифференциального уравнения. Полученные линейные уравнения решаются методом прогонки, который представляет собой нахождение неизвестных путем рекуррентного выражения уравнений.

Алгоритм, решающий задачу теплопроводности, был реализован на языке программирования Python с использованием парадигмы объектно-ориентированного программирования (ООП) и встроенных библиотек NumPy, Numba. Проведено сравнение численного и аналитического решений задачи нахождения распределения температуры в зависимости от длины. По итогу работы получено хорошее согласование результатов.

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., 2024

Семенова Н.А.,
 маг. 2-го г. об. ФТИ УУНиГ, г. Уфа
 Науч. рук. Давлетбаев А.Я.,
 к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиГ, г. Уфа

ВЛИЯНИЕ ГЛИНИСТЫХ ПРОПЛАСТКОВ И РАСЧЛЕНЕННОСТИ В РАЗРЕЗЕ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СКВАЖИНЫ В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

В последнее время все больше месторождений с трудноизвлекаемыми запасами вовлекаются в разработку. Эта категория включает в себя такие объекты, как месторождения со сверхнизкопроницаемыми коллекторами, которые характеризуются сложным геологическим строением, высокой расчлененностью и высоким содержанием глинистых включений. Известно, что глинистые пропластки обладают сжимаемостью, превышающую сжимаемость песчаных интервалов. Необходимо отметить, что механические свойства глин оказывают непосредственное влияние на процессы перераспределения давления и фильтрации.

Анализ зависимости коэффициента сжимаемости пор от относительной глинистости, которая была получена В.М. Добрыниным [1], свидетельствует, что с ростом относительной глинистости возрастает сжимаемость порового пространства коллектора (рисунок 1).

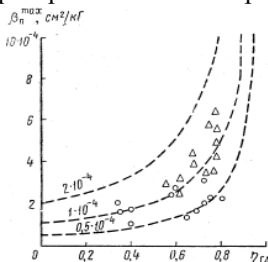


Рис. 1. Зависимость коэффициента сжимаемости пор от относительной глинистости

На рис. 1 изображена зависимость коэффициента сжимаемости пор коллектора от относительного содержания глинистых включений, вычисленная с помощью уравнения (1).

$$\beta_{п} = \frac{1}{(1 - \eta_{гл})} \cdot \beta_{п}' \quad (1)$$

$$\eta_{гл} = \frac{V_{вк}}{V_{п}'} = \frac{\frac{V_{вк}}{V}}{\frac{V_{п}}{V} + \frac{V_{вк}}{V}} = \frac{C_{гл}}{\varphi + C_{гл}} \quad (2)$$

На сегодняшний день в гидродинамических симуляторах изменение коэффициента сжимаемости порового пространства в объеме продуктивного пласта не учитывается, а принимается единое осредненное значение по результатам исследований образцов керна.

Чтобы оценить влияние коэффициента сжимаемости, создано шесть синтетических гидродинамических моделей. По результатам гидродинамического моделирования получены графики изменения пластового давления и дебита нефти скважины для моделей №1-6 (рис. 2).

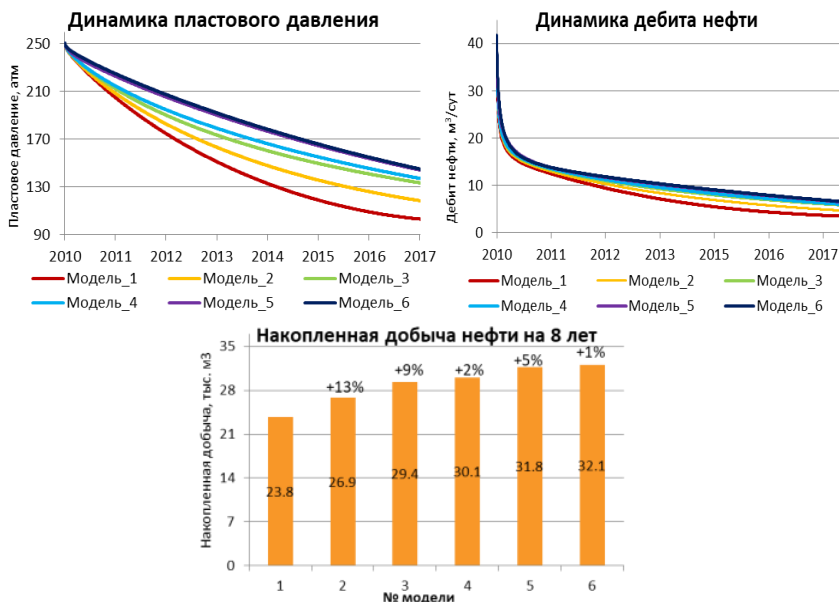


Рис. 2. Графики изменения основных показателей разработки

Результаты моделирования показывают наличие значительного эффекта наличия глинистых интервалов на темпы падения добычи жидкости и пластового давления.

Литература

1. Добрынин В.М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа. М.: Недра, 1970. 239 с.
2. Кардопольцева А.М. и др. Влияние глинистых пород в разрезе продуктивного пласта на темпы падения добычи жидкости в низкопроницаемых коллекторах // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 1. С. 56-60. DOI: 10.24412/2076-6785-2023-1-56-60

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА ПРИ РАСШИРЕНИИ

Дросселирование газа описывается эффектом Джоуля-Томсона. Этот процесс заключается в том, что газ, медленно проходя через диафрагму или мелкопорное препятствие, может охлаждаться или нагреваться в соответствии с разностью давлений в правой и левой частях от препятствия и начальной температурой. На практике используется отрицательный эффект Джоуля-Томсона: охлаждение газа после дросселирования. Этот метод используют при транспортировке природного газа по трубам. Газ специально охлаждают, тем самым избавляя его от лишней влаги, во избежание образования газовых гидратов. Газовые гидраты представляют собой лед с большим содержанием природного газа.

Дросселирование газа - это изохальтный процесс, в котором теплообмена между газом и окружающей средой через стенки трубы не происходит.

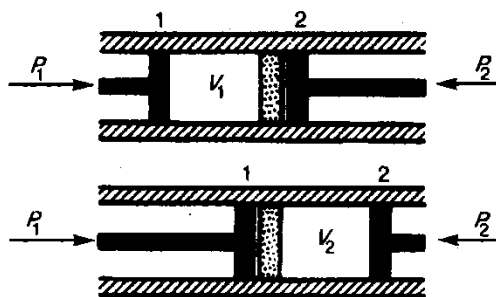


Рис. 1. Схема дросселя

Под перепадом давлений газ движется стационарно и до препятствия, и после, поэтому изменение кинетической энергии маленькое. При этом энтальпия постоянна:

$$p_1 \cdot V_1 + U_1 = p_2 \cdot V_2 + U_2 \quad (1)$$

С точки зрения молекулярно-кинетической теории внутренняя энергия есть сумма кинетической энергии движения молекул и потенциальной энергии межмолекулярного взаимодействия.

Тождество [1] не должно нарушаться. Если после дросселирования газ расширяется, то расстояния между молекулами становятся больше, следовательно, потенциальная энергия (одна из составляющих внутренней энергии) увеличивается за счет кинетической энергии. Тогда тепловое движение становится меньше - газ охлаждается.

Изменение температуры при дросселировании можно найти через коэффициент Джоуля-Томсона. Коэффициент Джоуля-Томсона характеризуется изменением температуры при изменении давления на 1 атм.:

$$\frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{(T \cdot (\frac{\partial V}{\partial T})_p - V)}{c_p} \quad (2)$$

При дросселировании разность давлений может измеряться в МПа. Поэтому для определения конечной температуры применяется интегральный эффект Джоуля-Томсона:

$$T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_I \cdot dP = \int_{P_1}^{P_2} \frac{(T \cdot (\frac{\partial V}{\partial T})_p - V)}{c_p} \cdot dP \quad (3)$$

При дросселировании природного газа с молярной массой 21,48 г/моль через расчетные данные можно получить зависимости конечной температуры в двух случаях:

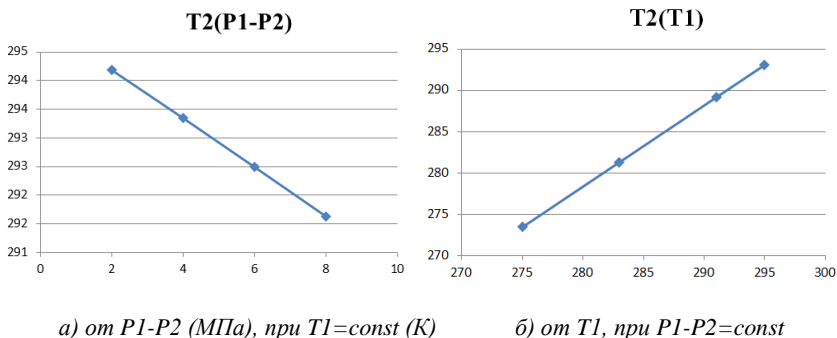


Рис. 2. Зависимости T2 от P1-P2 и T2 от T1

Литература

1. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика, т. II. М.: Наука, 1990, 552 стр.
2. <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/026/443.htm>
3. <https://www.mrg.tatar.ru/informatory/transportirovka/>

© Султанова Р.Р., Мухаметова З.С., 2024

Ардаширова М.Р., студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Нигаметьянова Г.А.,
зам. нач. отд. ГДИС, ООО «Уфимский НТЦ», г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО МОДУЛЯ В MICROSOFT EXCEL ДЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С БЕСКОНЕЧНОЙ ГРАНИЦЕЙ ПЛАСТА

Гидродинамическая модель вертикальной скважины с бесконечной границей пласта является математическим описанием потока жидкости в направлении от скважины к бесконечной границе пласта.

В данной модели учитывается распределение давления и скорости потока жидкости в пласте в зависимости от геологических параметров, таких как проницаемость и пористость горных пород, а также условий добычи и закачки жидкости. Для построения гидродинамической модели вертикальной скважины с бесконечной границей пласта используются уравнение сохранения массы, уравнение Дарси и уравнение состояния [1].

Эти уравнения позволяют описать движение жидкости в поровом пространстве горных пород и определить распределение давления и скорости потока вдоль скважины. Модель также учитывает геометрию скважины, ее радиус, длину, а также свойства пласта.

С помощью гидродинамической модели и численных методов решения дифференциальных уравнений можно оптимизировать процессы добычи и закачки жидкости, улучшить эффективность добычи нефти и газа, а также прогнозировать динамику пластового давления. Цель данной работы создать расчетный модуль на базе Microsoft Excel способный точно обрабатывать данные выбранной гидродинамической модели, что позволит упростить процесс анализа и обработки данных, а также обеспечить большую гибкость и удобство в работе. Для сравнения полученных результатов был использован модуль "Saphir" в ПК "Ecrin".

Развитие и совершенствование расчётного модуля может Microsoft Excel способствовать улучшению методов оценки и прогнозирования добычи углеводородов и повышению эффективности работы на месторождениях.

Литература

1. Деева Т.А., Камартдинов М.Р., Кулагина Т.Е., Маназеев П.В. Гидродинамические исследования скважин: анализ и интерпретация данных / ТПУ, Томск, 2009, 242 с.

© Ардаширова М.Р., Нигаметьянова Г.А., Мусин А.А., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ МИКРОКАНАЛОВ С ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ БОКОВЫМ СМЕЩЕНИЕМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Детерминированное боковое смещение (DLD) известный метод разделения частиц, который широко используется в таких областях как медицина, фармацевтика, биология и химия. Например, используя небольшое количество проб жидкости можно разделить клетки крови, которыми могут быть лейкоциты, тромбоциты и др. С помощью микрофлюидных устройств (МФУ) возможны сортировка и разделение, удерживание и культивирование биологических объектов [1]. Устройство DLD сортирует частицы по размерам и деформируемости в зависимости геометрии устройства [2]. Размер каналов и форма поперечного сечения могут меняться в зависимости от целей исследования, поэтому важной задачей является изучение особенностей формы геометрии.

В данной работе рассматривается численно моделируемое течение в микроканале микрофлюидного устройства с детерминированным боковым смещением элементов круглого поперечного сечения. Рассматривается течение при малых числах Рейнольдса ($Re \ll 1$), потому описывается уравнениями Стокса с краевыми условиями прилипания и условиями периодичности течения.

Задача решается с использованием метода граничных элементов (МГЭ), который очень эффективен при решении задач трехмерного моделирования, поскольку все расчеты связаны только с границей рассматриваемых объектов. Специфика уравнений Стокса заключается в том, что они линейны и могут быть решены методом граничных элементов. Кроме того, подобный подход к дискретизации рассматриваемой области позволяет точнее описывать границы сложных объектов, а также изменение их формы, и решать задачи для бесконечных областей с минимальными затратами оперативной памяти вычислительной системы и времени вычислений.

В данной работе изучено влияние геометрии микроканалов с DLD на интегральные характеристики. На рисунке 1 показаны линии тока, продольные и поперечные компоненты поля скорости при течении в микроканале со столбиками круглой формы.

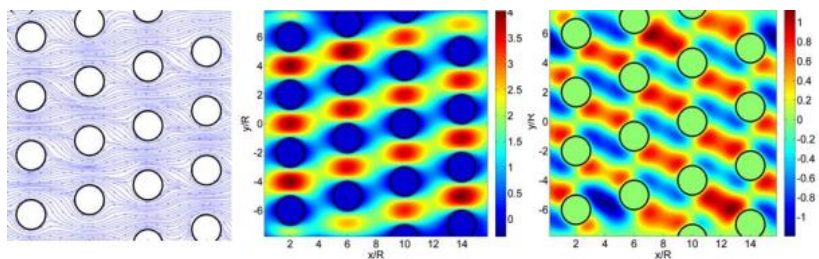


Рис. 1. Результаты моделирования для линий тока, продольной U_x и поперечной U_y составляющих скоростей для столбиков круглого поперечного сечения, $Q = 4,2557$ мкл/мин

Видно, что смещение рядов приводит к изменению потока: линии тока меняют траекторию при обтекании препятствий в виде столбиков. Максимум скорости сконцентрирован между столбиками в направлении y .

Таким образом, было проведено численное моделирование течения в канале с детерминированным боковым смещением элементов внутренней структуры различной геометрии. Получены картины течения, распределение продольных и поперечных составляющих скоростей течения. Исследовательские данные, полученные в ходе данной работы, окажут существенное влияние на понимание динамики разделения и захвата деформируемых дисперсных включений в каналах такого типа. Эти результаты помогут углубить знания о механизмах сортировки в микрофлюидных устройствах и откроют новые возможности для их применения в различных областях науки и техники.

Литература

1. Кухтевич И. В., Евстапов А. А., Букатин А. С. Микрофлюидные устройства для исследований клеток (обзор) // Научное приборостроение. – 2013. – Т. 23. – №. 4. – С. 66-75.
2. Zhanov 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.

© Туйгунова Д.М., Солнышкина О.А., 2024

РАДИОАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СКВАЖИН

Актуальность обусловлена тем, что геофизические исследования скважин (ГИС) или каротаж занимают одно из приоритетных мест в геологической, нефтяной, угольной и рудной промышленности. В основе методов лежит измерение естественного или искусственного гамма-излучения, выделяемого горными породами, что в дальнейшем дает возможность получить сведения о структуре и свойствах осадочных и магматических пластов. Самостоятельно или в комплексе с другими методами они используются для решения ключевых задач геофизических исследований. А именно, благодаря этим методам, возможно диагностировать структуру залежей, оценивать пластовые свойства, определять геологическое строение объектов разработки, выявлять расположение пород с высокой радиоактивностью, выделять коллекторы, вычислять запасы залежей нефти и газа, регулировать разработку и эксплуатацию месторождений, а также планировать различные технические мероприятия по добыче, в том числе и процесс бурения. Для этих целей, как правило, применяют электрокаротаж и радиокаротаж.

Цель статьи – проанализировать радиоактивные методы исследования скважин при бурении на нефтегазовых месторождениях.

Гамма-каротаж представляет собой метод, основанный на регистрации естественного гамма-излучения. Естественная радиоактивность возникает в горных породах в случае содержания в них элементов уранового U и ториевого Th семейств и изотопа калия ^{40}K . Следует учитывать, что эти элементы главным образом сосредоточены в глинах, вследствие чего по ГК определяется глинистость и составляется линия глин. Отклонение кривой линии влево показывает низкое содержание глин и возможное наличие коллектора на данном участке, высокие значения гамма активности указывают на глинистые отложения. Глинистость позволяет определить фильтрационные свойства, связанных с потоком жидкостей или газа в подземных структурах, и оказывает влияние на проведение и интерпретацию других геофизических методов.

Гамма-гамма-каротаж заключается в облучении и регистрации гамма-квантов в необсаженных скважинах. В зависимости от энергетического спектра различают плотностной гамма-гамма-каротаж, который показывает плотность горной породы, и литоплотностной гамма-гамма-

каротаж, позволяющий определить индекс фотоэлектрического поглощения. Благодаря нахождению плотности, в дальнейших исследованиях упрощается процесс обнаружения геологических запасов. Следует отметить, что с помощью ГГК определяется параметр пористости, который необходим для выявления значения газонасыщения и нефтенасыщения [1].

Спектрометрический гамма-каротаж долгое время является одним из стандартных методов исследований нефтегазовых скважин. В его основе лежит регистрация гамма-излучения естественно-радиоактивных элементов. Следует отметить, что СГК применяется для определения состава горных пород, выявления разломов и зон минерализации по изменению радиационного фона, идентификации зон, обогащенных углеводородами. В зависимости от вида отложений используется один из индикаторов S_{Th} , J_{Th+K} , S_K и другие. Так в случае карбонатных пород эффективнее всего проявляет себя S_{Th} , по причине не информативности других индикаторов. Помимо этого, с помощью уранового эквивалента определяется концентрация всех радиоактивных элементов, благодаря чему выражается общая радиоактивность, которая используется для нахождения параметра глинистости [2].

Таким образом, использование рекомендуемого набора методов приобретает важное значение как при литологическом расчленении разреза, так и особенно при изучении газовых и газоконденсатных залежей, и существенно повышает геологическую эффективность разведочных работ. Следует подчеркнуть, что методы ГИС являются гарантом для эффективных разработок и эксплуатации месторождений нефти, угля, руды и других полезных ископаемых.

Литература

1. Гершанок В.А. Геофизика. Ядерная геофизика и геофизические методы исследования скважин: учебное пособие / В.А. Гершанок, А.И. Губина / под ред. В.И. Костицына; ПГНИУ. – Пермь, 2021. – Ч. 1. – 136 с.
2. Урманов Э.Г. Обеспечение эффективности спектрометрического гамма-каротажа при обследовании разрезов нефтегазовых скважин: учебно-методическое пособие / Э.Г. Урманов. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 136 с.

© Ахмадеев Р.Р., Ковалева Л.А., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ КАРТ ИЗОБАР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОПОРНОГО ФОНДА СКВАЖИН, ПОСТРОЕННЫХ ПО МЕТОДУ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Одним из основных инструментов по контролю за энергетическим состоянием пласта являются карты пластовых давлений, построенные на основе гидродинамических исследований скважин. Как правило, карты пластовых давлений, строятся по методу интерполяции, при котором используют известные значения давления в определенных точках для оценки неизвестных в других точках. При этом гидродинамические исследования требуют прямых финансовых затрат, а также могут привести к потере части добычи нефти из-за временной остановки работы добывающих скважин. Актуальным является вопрос числа замеров и распределения замеров пластового давления, обеспечивающего достаточную точность карт изобар.

Целью данной работы является определение оптимального числа замеров пластового давления и области их распределения для создания надежной карты пластовых давлений.

Решение поставленной задачи осуществлялось за счет двумерной гидродинамической модели. В качестве исходных данных при построении карт изобар по методу интерполяции использовались значения из карты средних пластовых давлений по двумерной гидродинамической модели. Были рассмотрены различные варианты распределения замеров между добывающим, нагнетательным и неактивным фондами скважин и количества замеров. После этого проводилось сопоставление полученных карт с исходной картой средних пластовых давлений.

Для рассматриваемых условий определено минимальное количество замеров, позволяющих получить качественную карту пластовых давлений. Выданы рекомендации по составлению опорного фонда скважин в зависимости от видов скважин, для наиболее эффективного контроля за энергетическим состоянием пласта.

Литература

1. Иктисанов В. А., Байгушев А. В. Расчет опорной сети скважин для определения пластового давления // Нефтепромысловое дело. – 2018. – №. 9. – С. 12-16.

© Волкова К. Е., Евлампиев Я.В., Мусин А.А., 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СЦЕНАРИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИНЫ ПРИ ВЫВОДЕ ЕЕ НА УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ РАБОТЫ

В работе [1] показана целесообразность проведения гидродинамического исследования скважин (ГДИС) методом индикаторной диаграммы (ИД) [2] при выводе скважины на режим (ВНР). Однако из-за малой длительности ВНР такой подход осложнен необходимостью определения сценария проведения исследования, который позволит определить параметры пласта с наибольшей достоверностью. Для этого в [1] на основе многовариантных расчетов на гидродинамической модели созданы матрицы применимости сценариев.

Такой подход имеет ограничения, связанные с тем, что определение оптимального варианта проведения ГДИС на скважине с отличающимися (от уже рассчитанных случаев) параметрами требует проведения новых трудозатратных многовариантных расчетов.

На основе многовариантных расчетов для различных свойств пласта и жидкости было показано, что при равенстве коэффициентов пьезопроводности для двух случаев оптимальным будет являться один и тот же сценарий проведения ГДИС. Таким образом, показано, что нет необходимости проведения расчетов для каждой скважины в отдельности, можно использовать уже готовые матрицы применимости.

Литература

1. Тимершаехов Д.Ф. Моделирование в симуляторе «рн-ким» гидродинамических исследований со ступенчатым изменением дебита жидкости и давлений при выводе скважины на установившийся режим работы // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. – 2023. – С. 162-163.
2. Валеева Э.З., Асалхузина Г.Ф., Давлетбаев А.Я. Моделирование исследований методом установившихся режимов закачки в низкопроницаемых коллекторах // Нефть и газ. 2016. № 6. С. 39-46.

© Тимершаехов Д.Ф., Давлетбаев А.Я., 2024

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МИКРОКАНАЛАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Необходимость подробного исследования гидродинамических процессов в различных условиях на микроуровне обусловлена влиянием множества физических параметров и особенностей среды на движение жидкости в пористых средах. Изучение течений вязкой жидкости в микроструктурах с неровностями в виде распределенных групп элементов различной формы имеет значение при конструировании отдельных элементов микротеплообменников. Микротеплообменники представляют собой устройства, в которых жидкость, протекая через различные структуры, отводит тепло от устройства. Эффективность охлаждения зависит от характеристик жидкости, материала, из которого изготавливаются чип и от параметров геометрии канала, через которую проходит жидкость. В настоящее время существуют ограничения при использовании подходов к численному моделированию динамики жидкости в сложных системах микроканалов, которые связаны с количеством объектов, скоростью проведения расчетов и геометрией рассматриваемых областей.

В настоящей работе рассматривается задача о течении вязкой несжимаемой жидкости в плоском прямоугольном микроканале. Внутри этого микроканала различным образом распределены недеформируемые столбики, представляющие собой в совокупности микромодель двойной пористости [1]. Все процессы происходят достаточно медленно при характерных числах Рейнольдса меньше единицы. Таким образом, установившееся течение жидкости описывается стационарными уравнениями Стокса и уравнением неразрывности. На стенках канала и поверхности внутренней структуры задается условие прилипания, а на входе и выходе канала – условие периодичности. Движение жидкости осуществляется за счет перепада давлений, заданного на рассматриваемом участке микроканала.

Для решения задачи использовался программный модуль, основанный на методе граничных элементов (МГЭ). МГЭ демонстрирует эффективность при решении трехмерных задач в областях со сложной геометрией [2]. Главным достоинством МГЭ является отсутствие необходимости дискретизации всей трехмерной области, поскольку все

расчеты физических параметров связаны только с границами рассматриваемых областей.

Исследовалось то, как расположение твердых элементов внутри микроканала влияет на картины течений и его гидродинамическое сопротивление. При сохранении значения пористости среды менялось количество и пространственное распределение столбиков внутри микроканала, а также их площади поперечного сечения. Показано существенное влияние внутренней топологии участка структуры на гидродинамическое сопротивление. При диагональном размещении двух цилиндрических элементов внутри канала основной поток жидкости приходился на область в центре между ними. Предложенный метод и результаты исследования также могут быть использованы для конструирования микротеплообменников и изучения актуальных проблем, связанных с изучением и разработкой методов воздействия на одно- и многофазные потоки в средах с различными масштабами пористости.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00697 <https://rscf.ru/project/24-19-00697/>.

Литература

1. Солнышкина О.А., Батыршин Э.С., Питюк Ю.А. Исследование гидродинамических потоков в микромоделах сред с двойной пористостью // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2021. № 4. С. 9-18.
2. Солнышкина О.А., Фаткуллина Н.Б., Булатова А.З. Трехмерное моделирование однофазных и многофазных течений в микроканалах с неровностями // Сибирский журнал индустриальной математики. 2023. Т. 26. № 2. С. 130–141.

© Курбанова С.С., Солнышкина О.А., 2024

Мукимова Р.Ш.,
студ. 2 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Нигаметьянова Г.А.,
зам. нач. отдела ГДИС, ООО «Уфимский НТЦ», г. Уфа
Науч. рук.: Мусин А.А.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

СОЗДАНИЕ РАСЧЕТНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С БЕСКОНЕЧНОЙ ГРАНИЦЕЙ ПЛАСТА

Вертикальная модель скважины играет ключевую роль, считаясь одной из самых простых моделей в гидродинамическом исследовании. На ее основе образуются другие более сложные модели.

В данной работе рассмотрена вертикальная модель скважины с бесконечной границей пласта и был проведен ее анализ. Такой тип практически не встречается сейчас в природе, однако значительно упрощает математический расчет и анализ, упрощая дальнейшее изучение пластов и скважин.

Математическая основа анализа ГДИС – уравнение пьезопроводности, описывает неустановившееся, однофазное, одномерное течение флюида в пористой среде:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial P}{\partial r} \right) = \frac{\phi \mu c_t}{k} \frac{\partial P}{\partial t} \quad (1)$$

Постоянно растущий спрос на программные обеспечения для гидродинамических исследований скважин (ГДИС) создает необходимость для новых программ.

Для разработки расчетного модуля был использован язык программирования Python с использованием библиотек для математических вычислений, научных расчетов, визуализации результатов моделирования. Его преимущество заключается в простом синтаксисе. Использовалась среда разработки Visual Studio для эффективного проведения расчетов и проверки данных. Для сравнения полученных результатов, был использован модуль "Saphir" в ПК "Ecrin".

Литература

1. Деева Т.А., Камартинов М.Р., Кулагина Т.Е., Мангазеев П.В. Гидродинамические исследования скважин: анализ и интерпретация данных // ТПУ, Томск, 2009, 242 с.

© Мукимова Р.Ш., Нигаметьянова Г.А., Мусин А.А., 2024

Валиуллина В.И., асп. 3 г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Мусин А.А., к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Ковалева Л.А., д.т.н., проф. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДИНАМИКУ ТЕЧЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ В УСЛОВИЯХ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

В нефтедобывающей отрасли есть проблема эффективного расслоения водонефтяной эмульсии, которая неизбежно присутствует в добываемой продукции. Интерес представляет разрушение мелкодисперсной эмульсии, так как крупнодисперсная в любом случае расслоится с течением времени. Исследование поведения эмульсий при воздействии внешних физических полей, например, при электромагнитном воздействии, для достижения их коалесценции является актуальной задачей.

В работе была проведена серия экспериментов при различной конфигурации экспериментальной установки. Изначально эксперименты проводились без какого-либо воздействия в горизонтальном положении. Это показало незначительную эффективность, так как отслоившаяся вода оставалась на дне ячейки. В последующих экспериментах ячейка была наклонена под углом 15° . При таком наклоне отслоившаяся вода не задерживалась на дне ячейки. Исследования влияния электромагнитного поля на расслоение эмульсий проводилось в ячейке с наклоном 15° . При низкочастотном (НЧ) воздействии частота поля составила 500 кГц, напряжение $V_{pp}=300В$. При высокочастотном (ВЧ) воздействии частота поля составила 8МГц, напряжение поля $V_{pp}=300В$ [1]. Обнаружено, что при НЧ воздействии капли воды собираются в межэлектродном пространстве и уносятся потоками жидкости при увеличении расхода. При ВЧ воздействии капли уносятся потоками жидкости в течение всего эксперимента. Чем интенсивнее расход, тем большее количество капель унесется потоком жидкости из межэлектродного пространства. Коалесценция капель при ВЧ воздействии происходит интенсивнее и размер образовавшихся капель после ВЧ воздействия больше, чем после НЧ воздействия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-11-00298.

Литература

1. Муллаянов А.И., Осипова Р.Ш., Мусин А.А., Ковалева Л.А. Исследование процесса коалесценции капель эмульсии в неоднородном переменном электрическом поле при наличии межфазной асфальтеновой пленки на границе раздела масло-вода // Письма в ЖТФ. 2022. Т. 48. № 2. С. 27-29.

© Валиуллина В.И., Мусин А.А., Ковалева Л.А., 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО МИКРОКАНАЛА

Понимание особенностей динамики многофазного потока в пористой среде на микроуровне имеет важное значение для разработки методов повышения нефтеотдачи. В подземных геологических формациях нефть часто захватывается в форме ганглиев в порах из-за больших капиллярных сил на границе раздела между нефтяной и водной фазами. Эти силы вызывают капиллярное давление, которое является функцией геометрии пор, межфазного натяжения между двумя флюидами и смачиваемости породы. Для фундаментального понимания процессов, происходящих при вытеснении остаточной нефти в микропорах пористой среды, необходимо проведение комплексных экспериментально-численных исследований.

Как известно, при движении жидкости вследствие присущего ей свойства вязкости, в потоке возникают силы внутреннего трения, создающие сопротивление движению, на преодоление которого затрачивается часть механической энергии, переносимой жидкостью. Эта часть, необратимо переходя в теплоту, оказывается безвозвратно потерянной. Поэтому при проектировании гидросистем одна из задач конструктора – расчет потерь энергии. Такая задача может быть решена при условии знания причин и владения приемами количественных оценок этих потерь. Однако ввиду сложности кинематики и динамики движения жидкости количественная оценка потерь энергии не всегда может быть получена расчетным путем.

Целью данной работы является экспериментальное изучение движение дисперсных систем в модели пористой среды нефтяного пласта на примере однофазного течения обратной эмульсии в микроканале переменного сечения. Для получения эмульсии в качестве дисперсной среды, или вытесняющей жидкости, был взят тетрадекан, в объеме 8000мкл, затем к нему добавили 0,88мкл агента- Span80, что составляет 1% от объема всей жидкости.

В результате, получили дисперсную систему, с каплями воды, размеры которых варьировались от 30 до 60мкм (рис. 1).



Рис. 1. Движение эмульсии в микроканале 100мкм

В ходе экспериментального изучения течения жидкостей в микроканалах получили, что объемный расход варьировался в диапазоне от 2 до 8 мкл/мин. Число Рейнольдса в микроканале диаметром 50 микрон варьировалось от 0,6 до 2,7; а для микроканала диаметром 100 микрон, числу Рейнольдса соответствуют значения от 0,36 до 1,4. Значения посчитанных коэффициентов гидравлического сопротивления указаны в Таблице 1.

Табл. 1. Коэффициенты гидравлического сопротивления

| Q мкл/мин | 2 | 4 | 6 | 8 |
|-----------|--------|-------|-------|-------|
| H=50мкм | 1452,3 | 745,3 | 511,7 | 287,8 |
| H=100мкм | 1869,7 | 744 | 466,4 | 343,4 |

Литература

1. Microfluidics: Fluid physics at the nanoliter scale. Rev. Mod. Phys., 77:977–1026, 2005.
2. Ren M, Guo W, Guo H, Ren X. Microfluidic fabrication of bubble-propelled micromotors for wastewater treatment. ACS Applied Materials & Interfaces. 2019. DOI: 10.1021/acsami.9b05925.

© Сафина Э.Р., Саметов С.П., 2024

Овинов Е.В.,
маг. 1-го г. об. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Саметов С.П.,
к.ф.-м.н., гл. спец. ООО «РН-БашНИПИнефть»,
н.с. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

РАЗРАБОТКА МИКРОФЛЮИДНОГО УСТРОЙСТВА ТИПА КЕРН-НА-ЧИПЕ

Микрофлюидные чипы – это инновационные устройства, используемые для проведения анализов и тестирования на микроскопическом уровне. Они представляют собой небольшие пластиковые или стеклянные чипы, на поверхности которых находятся каналы и резервуары для проведения различных химических и биологических экспериментов. В настоящей работе проведено экспериментальное исследование фильтрационного течения в микрофлюидном чипе, содержащем шлиф кернового материала. Традиционные эксперименты с кернодержателем могут нести дополнительные расходы на обслуживание. Кернодержатель требует ежедневного ухода и очистки, что может потребовать значительных ресурсов и времени для его обслуживания.

Микрофлюидный чип с шлифом зерна реализован в виде полимера с углублением, накрываемом сверху полимером и двумя армирующими стеклами. Такой способ компоновки позволяет облегчить визуализацию экспериментов для изучения фильтрации, так как непосредственно кернодержатель представляет собой закрытую трубу.

Вид такого микрофлюидного устройства представлен на рис. 1.

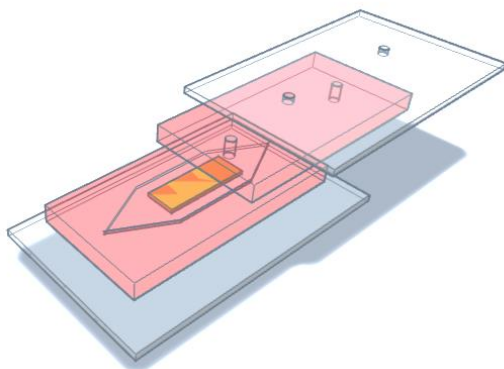


Рис. 1. Принципиальная схема микрофлюидного чипа содержащего шлиф зерна

На рисунке красным цветом обозначен полимерный материал, сверху и снизу которого прикреплено стекло. Оранжевый цвет показывает место шлифа керна в устройстве.

В ходе экспериментальных замеров были получены значения проницаемости пористой модели. Также была подтверждена работоспособность такого микрофлюидного устройства.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 21-9-10212.

Литература

1. Singh R. et al. Real rock-microfluidic flow cell: A test bed for real-time in situ analysis of flow, transport, and reaction in a subsurface reactive transport environment //Journal of contaminant hydrology. – 2017 – Т. 204 – pp. 28-39.

© Овинов Е.В., Саметов С.П., 2024

Ефимова М.В., маг. 1-го г. об. ФТИ УУНиТ,
техник ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа;
Ишкин Д.З.,
гл. спец. ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа
Науч. рук.: Давлетбаев А.Я.,
к.ф.-м.н., доц. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОЗАТРАТНЫХ ВИДОВ ГАЗДИ ДЛЯ ПОДБОРА СКВАЖИН-КАНДИДАТОВ НА ГТМ НА ГАЗОВЫХ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

На сегодняшний день существует большой набор традиционных и «малозатратных» методов гидродинамических исследований скважин, успешно апробированных на нефтяном фонде месторождений [1]. Для получения наиболее достоверных результатов оценки параметров пласта используется комплексный подход к проведению исследований скважин. В данной работе выполнена попытка спроецировать комплексный подход [2] по исследованию скважин на газовом месторождении.

Объектом исследования являются скважины Уренгойского месторождения Ново-Уренгойского лицензионного участка (НУЛУ) и Восточно-Уренгойского лицензионного участка (ВУЛУ). По результатам интерпретации динамических данных 89 скважин, выполнена оценка динамики изменения пластового давления и определены параметры пласта, на основе чего рассчитан факторный анализ (ФА) причин снижения дебита скважин с разложением на составляющие: пластовое давление, забойное давление и коэффициент продуктивности.

На рис. 1. представлен пример интерпретации АДД в ПК «РН-ВЕГА» [3] на скважине ХХ202. За рассматриваемый период снижение дебита составило 306 тыс. м³/сут., из которых 895 тыс.м³/сут за счет снижения пластового давления, 696 тыс.м³/сут. за счет забойного и 107 тыс.м³/сут. за счет Кпрод. Исходя из полученных значений сделан вывод, что скважина является кандидатом на проведение операции повторного ГРП. В декабре 2023 года операция повторного ГРП была произведена, прирост дебита газа составил ~71 тыс. м³/сут., что является хорошим показателем эффективности ГТМ.

Таким образом, предлагаемый подход позволил без дополнительных потерь в добыче, выполнить оценку ФЕС, динамики пластового давления и факторный анализ причин снижения добычи скважин. Также сформирован рейтинг скважин-кандидатов на мероприятия по интенсификации добычи.

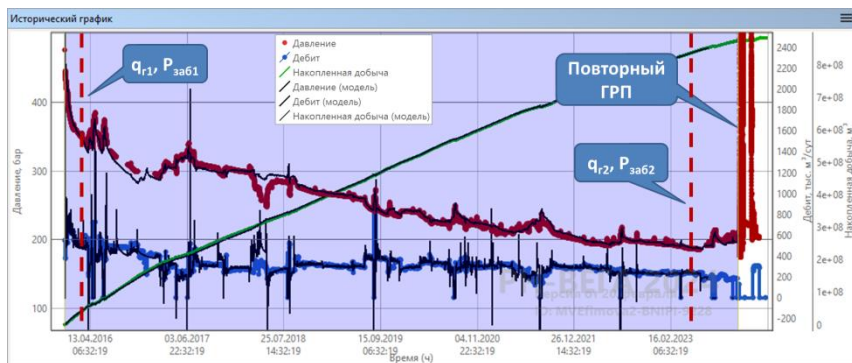


Рис. 1. АДД на скважине XX202

Литература

1. Гидродинамические исследования скважин в низкопроницаемых коллекторах / А.Я. Давлетбаев, Г.Ф. Асалхузина, Р.Р. Уразов, В.В. Сарапулова. – Новосибирск: ООО «ДОМ МИРА», 2023. – 176 с. ISBN 978-5-6049467-7-0.
2. Комбинирование анализа добычи и недослеженных ГДИС методом КВД в условиях низкопроницаемых пластов для газовых скважин / Ишкин Д.З., Нуриев Р.И., Давлетбаев А.Я. [и др.] // SPE-181974-RU.
3. <https://rn.digital/mvega/>

© Ефимова М.В., Ишкин Д.З., Давлетбаев А.Я., 2024

СЕКЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ РАДИОТЕХНИКИ И СВЯЗИ»

УДК 621.314.63

Шугубаева С.Б., студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Кузнецов Д.П., студ. 4 к. ФТИ УУНиТ, г. Уфа
Науч. рук.: Лопатюк А.В., ст. преп. ФТИ УУНиТ, г. Уфа

ИССЛЕДОВАНИЕ 4-Х КАНАЛЬНОЙ 10 ГИГАБИТНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ СОДЕРЖАЩЕЙ DWDM

Технология DWDM-это расширение оптической сети. Устройства DWDM (мультиплексор или Mux для краткости) объединяют выходные данные нескольких оптических передатчиков для передачи по одному оптическому волокну. На приемном конце другое устройство DWDM (демультиплексор, или сокращенно Demux) разделяет объединенные оптические сигналы и передает каждый канал в оптический приемник. Между устройствами DWDM используется только одно оптическое волокно (для каждого направления передачи). Вместо того чтобы требовать одного оптического волокна на пару передатчика и приемника, DWDM позволяет нескольким оптическим каналам занимать один волоконно-оптический кабель.

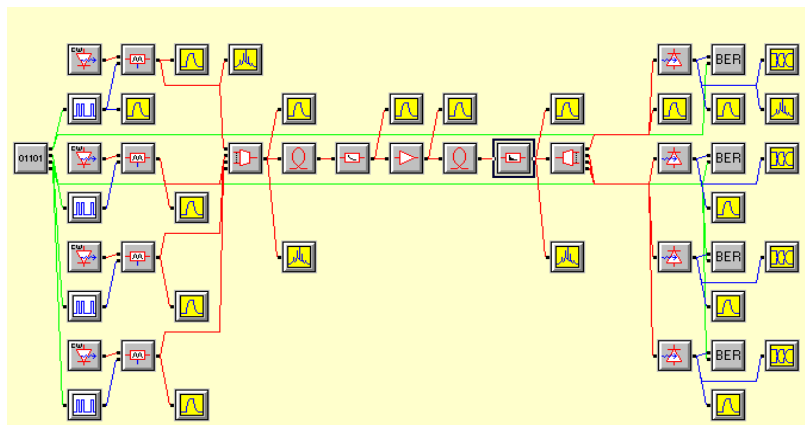


Рис. 1. Модель ВОЛП со спектральным разделением каналов, разработанная в системе автоматического проектирования LinkSim

Четыре оптических сигнала на разных длинах волн, соответствующих частотному плану, поступают в оптический мультиплексор. После первого участка оптического волокна ставится EDFA усилитель для компенсации

потерь. Качество принятого сигнала можно оценить при помощи глаз-диаграммы и BER-тестера.

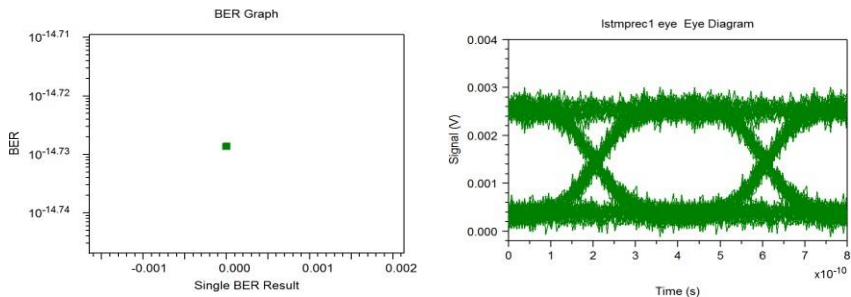


Рис. 2. а) Глаз-диаграмма выходного сигнала б) показание BER-тестера

По данным рис.2. видно, что качество сигнала хорошее, коэффициент битовой ошибки (BER) $10^{-14.73}$, что ниже предельно допустимого значения.

Рассмотрим как повлияет на линию связи мощность излучения источника и скорость передачи данных.

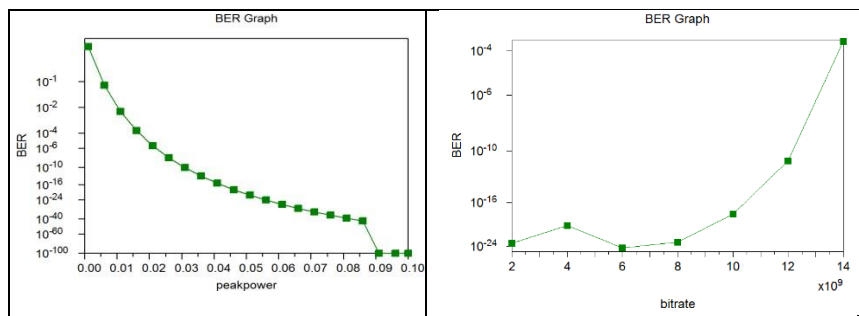


Рис. 3. Зависимость показания BER тестера от мощности излучателя (а) и от скорости передачи данных (б)

Требуемое качество передачи достигается при мощности излучения источника 35 мВт. По полученным результатам рис. 3б можем сказать, что моделируемая DWDM система может работать при скорости передачи данных до 12 Гб/с и возможна реализация предварительной коррекции ошибок с сохранением работоспособности линии связи.

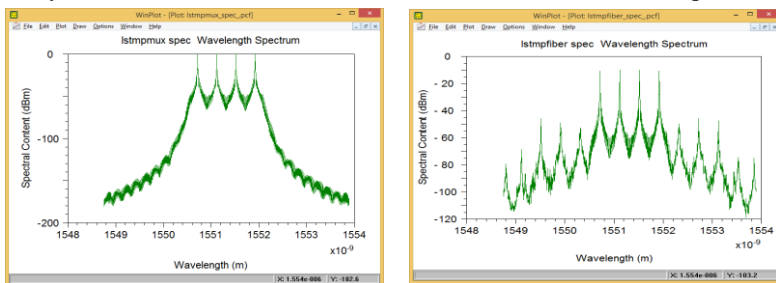
Литература

1. Лопатюк А.В. Моделирование высокоскоростной магистральной DWDM системы передачи. Труды XIV Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании», 2023 г. С. 66.

© Шугубаева С.Б., Кузнецов Д.П., Лопатюк А.В., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ЭФФЕКТА 4-Х ВОЛНОВОГО СМЕШЕНИЯ В 4-Х КАНАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

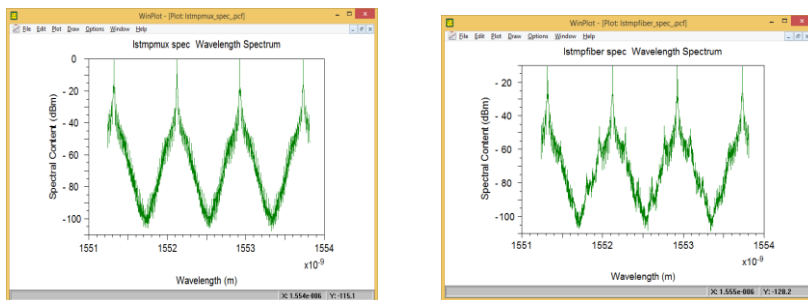
Ряд нелинейных эффектов (четырёхволновое смешение, генерация гармоник) возникает в результате параметрического усиления, когда оптический волновод (световод) играет пассивную роль среды распространения, в которой нескольких оптических волн взаимодействуют благодаря нелинейному отклику возбуждаемых ими электронов внешних оболочек. Эти нелинейные эффекты приводят к уширению спектра излучения источника за счет появления комбинационных гармоник.



a) после мультиплексора

б) после волокна

Рис. 1. а) График спектра при значении $sample_rate_x = 8$ после мультиплексора до волокна б) График спектра при значении $sample_rate_x = 8$ после волокна



a) после мультиплексора

б) после волокна

Рис. 2. а) График спектра при значении $sample_rate_x = 7$ после мультиплексора до волокна б) График спектра при значении $sample_rate_x = 7$ после волокна

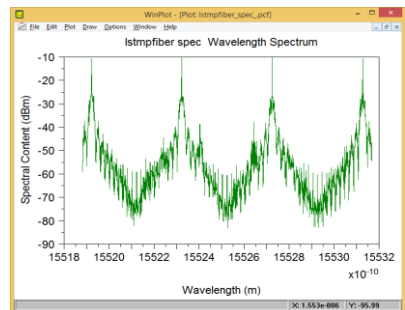
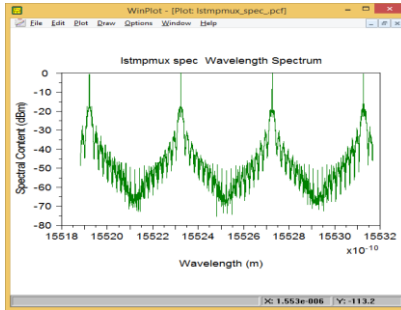


Рис. 3. а) График спектра при значении $sample_rate_x = 6$ после мультиплексора до волокна б) График спектра при значении $sample_rate_x = 6$ после волокна

В формате основной программы САПРа LinkSim исследуем как при различных значениях $sample\ rate$ - число фотонов, предающих один бит, изменяется спектр и эффект четырехволнового смешения.

В одноканальной оптической линии связи влияние четырехволнового смешения может привести к следующим последствиям:

Перекрывание спектра: Эффект FWM может привести к перекрыванию спектра различных каналов связи, что может затруднить разделение и декодирование сигналов.

Уменьшение качества передачи данных: из-за возможного возникновения искажений и помех в сигналах FWM может уменьшить качество передачи данных по оптической линии связи.

Необходимость компенсации: для борьбы с негативными эффектами четырехволнового смешения могут потребоваться специальные методы компенсации и управления нелинейными эффектами в оптических системах.

Из данных рисунков можно сделать вывод, что с уменьшением значения $sample_rate$ происходит увеличение мощности возникающих дополнительных гармоник и действие четырехволнового смешения проявляется сильнее.

Литература

4. Кузнецов Д.П., Шурубасва С.Б., Лопатюк А.В. Исследование амплитудной модуляции. Сборник материалов VII Всероссийской научно-методической конференции, г. Уфа, 10 – 11 ноября 2023 г., стр. 135.

© Кузнецов Д.П., Шугубасва С.Б., Лопатюк А.В., 2024

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАКАЧКЕ

На сегодня существуют два направления развития источников накачки импульсных ламп для твердотельных лазеров, это традиционный разряд импульсного или постоянного напряжения однополярным током и диодная накачка.

Полупроводниковая накачка диодными лазерами на сегодня является наиболее эффективной и распространенной, так как обладает максимальным КПД, минимальными массогабаритными параметрами, а также сравнительно узкой шириной спектра излучения, совпадающей с полосой поглощения твердотельного лазера. Однако требуется стабилизация температурного режима диодных лазеров накачки для совпадений полос излучения с полосой поглощения активного элемента.

Традиционный вид накачки, который мы называем условно С-накачкой, обладает минимальным КПД, хотя является самым простым. Минимальный КПД объясняется тем, что полоса излучения сильно отличается от полос поглощения активного элемента твердотельного лазера.

Целью данной работы является высокочастотная накачка твердотельного лазера с ламповой накачкой в импульсно-периодическом режиме с целью создания оптимальных спектров излучения плазмы в лампах накачки со спектром поглощения активного элемента твердотельного лазера [1].

В экспериментах использовались ВЧ генераторы собственной разработки, которые перекрывали диапазон частот от 1 МГц до 6 МГц, могли работать в импульсно-периодическом режиме. Импульсно-периодический режим осуществляется в 2 этапа: на 1 этапе мы поджигаем лампу, на втором этапе, подавая высокочастотные колебания, мы качиваем энергию в лампу.

При проведении эксперимента на графике (*рис. 1*) мы наблюдаем только линейчатый спектр излучения высокочастотной накачки твердотельного лазера в импульсно-периодическом режиме, что говорит о возможности повышения КПД ВЧ накачки, так как отсутствует сплошной спектр, который является мешающим фактором.

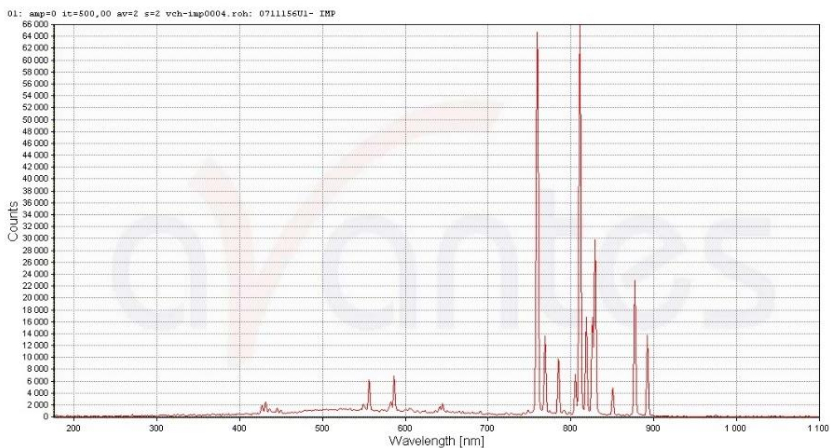


Рис. 1. Спектр излучения высокочастотной накачки
в импульсно-периодическом режиме

Таким образом, нам удалось осуществить импульсно-периодический режим высокочастотной накачки в указанных лампах.

В результате экспериментов нами были исследованы различные лампы высокого давления, низкого давления, а также с разными газовыми наполнениями.

Проведены измерения спектральных параметров излучения на разных частотах при разных давлениях и с разными газами.

В связи с этим нами была рассмотрена накачка высокочастотными импульсами тока твердотельного лазера на гранате.

Приведены характерные осциллограммы тока и напряжения на лампе. Проанализированы сравнительные характеристики данной лампы при ВЧ накачке и питании постоянным током.

Показана перспективность использования высокочастотного источника питания для накачки твердотельных лазеров.

Литература

1. А.М. Вальшин, Р.Ф. Тавлыкаев, Г.М. Михеев, С.М. Першин Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке, инженерная физика №3, 2015, стр. 42-49.

© Абзалилов Д.А., Вальшин А.М., 2024

СЕКЦИЯ «ПУТЬ В НАУКУ»

Закирьянов И.Ф.,
уч. 10 Б кл. МАОУ «Лицей № 153», г. Уфа
Науч. рук.: Алликас А.Г.,
«Уфимская космошкола», г. Уфа

КОНЦЕПЦИЯ ПОЛЁТА НА МАРС И ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС

Марс является одной из наиболее важных целей современной мировой космонавтики, представляет исследовательский и стратегический интерес для человечества. Концепции полёта человека и грузов к Марсу разрабатываются с XX века. Проанализировав многие идеи и разработки [1-7], получив необходимые знания, я и моя команда разработали свою концепцию полёта к Марсу, продумали её. Моей личной более глубокой задачей являлась разработка межпланетного транспортного комплекса (МТК) и взлётно-посадочного комплекса (ВПК). Была продумана их концепция, конструкционные особенности, созданы 3D-модели (рис. 1), и изготовлены макеты аппаратов в масштабах 1:144 и 1:72 (рис. 2). Были проведены основные расчёты двигательных и массовых характеристик МТК, двигательные, массовые, топливные и посадочные характеристики ВПК. В основном использовались формула Циолковского $v = \ln(M_1/M_2)$, формула зависимости характеристик ионного двигателя $N = I_{уд}P/2\eta$, законы Ньютона, геометрические преобразования (с самостоятельным выводом некоторых формул) и др. Так же для повышения точности расчётов я написал программу на языке Python.

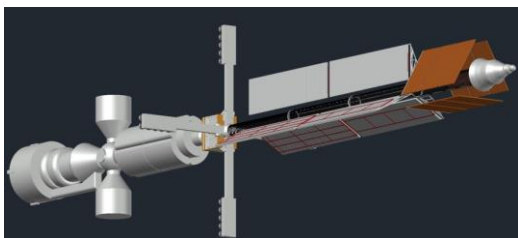


Рис. 1. 3D-модели межпланетного транспортного комплекса и взлётно-посадочного модуля

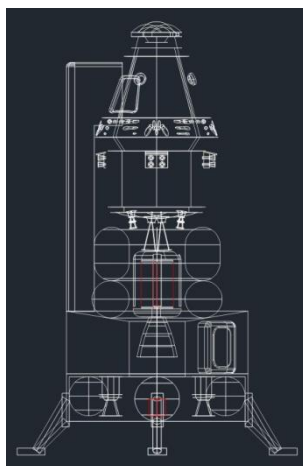




Рис. 2. Макеты МТК и ВПК, изготовленные методом 3D-печати

Литература

1. Пилотируемая экспедиция на Марс. А. С. Кортеев, Российская Академия Космонавтики, 2006.
2. Курс на Марс. Самый реалистичный проект полета к Красной планете. Роберт Зубрин, Рихард Вагнер. 1996, 2001 Robert Zubrin, Изд. «Эксмо», 2017.
3. Космические аппараты. Под общей редакцией проф. К.П. Феоктистова.
4. Спускаемые аппараты. Е.И. Попов. Издательство «Знание», 1985 г.
5. Обзор проектов пилотируемых полётов к Марсу. И.В. Безяев, С.Ф. Стойко ПО «Металлист», РКК «Энергия».
6. Механика космического полёта в элементарном изложении. В.И. Левантовский. Москва «Наука», 1980 г.
7. Расчёт основных рабочих характеристик ионного двигателя мощностью 20-30 Вт. МАИ, Алдонин Ф.И., Ахметжанов Р.В.

© Закирьянов И.Ф., Алликас А.Г., 2024

ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА

Сбор энергии представляет из себя преобразование окружающей энергии в полезную электрическую энергию. Большинство устройств окружающих нас являются источниками неиспользуемой энергии, такими как механические колебания, солнечный свет, воздушные потоки, тепло и т.д. Основной нашей целью является улавливание и накопление этой неиспользуемой энергии. Существует несколько механизмов для получения энергии из этих источников, такие как, электромагнитные, электростатические, пьезоэлектрические и магнитострикционные. Среди доступных методов сбора энергии, на основе механического движения, являются пьезоэлектрические преобразователи получившие наибольшее применение из-за высокой плотности энергии при относительно низких механических уровнях напряжений. В связи с особенностями молекулярной структуры материалов и, как следствие, наличия поляризованности, пьезоэлектрические материалы способны преобразовывать приложенное механическое напряжение в электрический заряд.

Мониторинг и раннее выявление отклонений в функционировании сердечного цикла являются очень важными методами и оказывают значительное влияние на профилактику сердечных заболеваний и связанных с ними осложнений. В настоящее время в области биомедицинской инженерии растет потребность в устройствах, способных непрерывно, эффективно и в режиме реального времени измерять и контролировать широкий диапазон параметров сердечного цикла с использованием легкодоступных и многоцветных зондов. В рамках настоящей работы проведен литературный обзор и попытка контроля за состоянием сердечной деятельности с использованием пьезодатчиков. Растущее число пожилых семей с одним человеком становится причиной смерти одиноких людей, и это социальная проблема. В рамках данной работы предлагается разработать систему наблюдения за пожилыми семьями, устанавливая пьезоэлектрические датчики внутри дома. У этой системы мало проблем с конфиденциальностью, поскольку пьезоэлектрический датчик обнаруживает только вибрационный сигнал человека. Пьезоэлектрический преобразователь улавливает вибрации от

ударов сердца и преобразует их в электрические выходные сигналы. С этой целью для извлечения соответствующего электрокардиограмме сигнала были использованы пьезоэлементы. Механико-электрический преобразователь энергии состоит из двух частей, а именно механической и электрической. Устройство включает в себя механическую часть, принимающую колебания и преобразователь. Механическую часть подвергается динамической нагрузке, а преобразователь - материал с пьезоэлектрическими свойствами преобразует механическую энергию в электрическую. Далее электрические колебания с помощью АЦП преобразовываются в двоичный код и отправляются в память компьютера для обработки и принятия решения.

Литература

1. Ерофеев, Н.К. Пьезоэлектрические преобразователи: учебное пособие / Н.К. Ерофеев, С.А. Карпов. – 3-е изд. – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2016. – 64 с.
2. Анисимова, Г.В. Исследование основных характеристик пьезоэлектрических преобразователей ультразвуковых импульсных дефектоскопов общего назначения / Г.В. Анисимова. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2014. – 15 с.
3. Murata: пьезоэлектрические, магниторезистивные и пирозэлектрические датчики. – Москва: ДМК Пресс, 2010. – 80 с.

© Пауткин Д.П., Першина Е.Ю., 2024

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

| | |
|---|----|
| Пересторонина А.В., Кудрейко А.А. ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ МОЛЕКУЛ АЗОКРАСИТЕЛЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 3 |
| Наумов Е.К., Дмитриев С.В. ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ..... | 5 |
| Наумова Д.М., Дмитриев С.В. ОСНОВНЫЕ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ, ЕГО МЕХАНИЗМЫ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ..... | 7 |
| Шарипов Р.А. РЕЛЯТИВИСТСКОЕ УЖЕСТОЧЕНИЕ И СМЯГЧЕНИЕ БЫСТРО ДВИЖУЩИХСЯ ПРУЖИН..... | 8 |
| Филиппова В.В., Гареева З.В. ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ В МНОГОСЛОЙНОЙ НАНОПЛЕНКЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ..... | 9 |
| Филиппов М.А., Вахитов Р.М. УСТОЙЧИВЫЕ СОСТОЯНИЯ ВИХРЕПОДОБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПРОСТРАНСТВЕННО МОДУЛИРОВАННЫХ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЁНКАХ..... | 11 |
| Джумаев Ф.Н., Фахретдинов М.И., Екомасов Е.Г. НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ УРАВНЕНИЯ φ^4 С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ..... | 13 |
| Ибрагимова А.Р., Вахитов Р.М. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ..... | 14 |
| Ильясова Г.Ф., Вахитов Р.М. МАГНИТНЫЕ $k\pi$ -СКИРМИОНЫ В НЕОДНОРОДНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ..... | 16 |
| Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф. АНАЛИЗ РЕШЕТКИ МАГНИТНЫХ СКИРМИОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФУНКЦИЙ ГРИНА..... | 18 |
| Косарев И.В., Ибрагимов М.Р., Кистанов А.А. ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ОБЪЕМНЫХ И ДВУМЕРНЫХ ТЕРНАРНЫХ НИТРИДАХ $Zn_2(V, Nb, Ta)N_3$ | 20 |

| | |
|--|----|
| Фасхутдинов Р.А., Антонов Г.И., Екомасов Е.Г. ДИНАМИКА ДВУХ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ С РАЗНОЙ ПОЛЯРНОСТЬЮ В ТРЕХСЛОЙНЫХ СТНО..... | 22 |
| Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ВОЛНЫ УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ТРЕМЯ ПРОТЯЖЕННЫМИ ПРИМЕСЯМИ С УЧЕТОМ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛН..... | 23 |
| Кубатиева М.Р., Закирьянов Ф.К. УГЛОВЫЕ МОДЕЛИ ДНК..... | 24 |
| Галимова А.Д., Закирьянов Ф.К. ПОПЕРЕЧНЫЕ МОДЕЛИ ДНК..... | 25 |
| Нугуманов А.Г., Шарафуллин И.Ф. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ МАГНИТНОЙ РЕШЕТКИ..... | 26 |
| Нугуманов Р.Р., Абдрахманов Д.И., Шарафуллин И.Ф. ВЛИЯНИЕ ОБМЕННО-РЕДУЦИРОВАННОГО ДЕФЕКТА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СКИРМИОНОВ В АНТИФЕРРО- МАГНИТНЫХ ФРУСТРИРОВАННЫХ ПЛЁНКАХ..... | 28 |

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

| | |
|--|----|
| Селовсянова Л.З., Акманова Г.Р. ЗОННАЯ СТРУКТУРА ДВУМЕРНЫХ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ..... | 29 |
| Рожнова Е.А., Сафина Л.Р., Баймова Ю.А. ПРИМЕНИМОСТЬ МЕЖАТОМНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ ГРАФЕН/МЕТАЛЛ..... | 31 |
| Алексеева К.В., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д. СИНТЕЗ НОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ $Cu_{1.5}Na_{0.5}S$ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СТРУКТУРЫ..... | 32 |
| Казакбаев А.Р., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д. СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СОЕДИНЕНИЯ $Cu_{1.7}Na_{0.3}S$ | 33 |
| Мустакимов И.Р., Альмухаметов Р.Ф., Давлетшина А.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СОЕДИНЕНИИ $Cu_{1.9}Na_{0.1}S$ | 35 |
| Полякова П.В., Лисовенко Д.С., Баймова Ю.А. УПРУГИЕ СВОЙСТВА ГРАФИНОВ: МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИНАМИКА..... | 37 |

| | |
|---|----|
| Габбасов Р.Р., Классман Е.Ю., Валитов В.А., Галиева Э.В. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ЭК79 И ЭП975..... | 39 |
| Тагирова А.А., Галиева Э.В., Классман Е.Ю., Валитов В.А. МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДОФАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ЭК61 И ЭП741НП..... | 41 |
| Сафина Л.Р., Крылова К.А., Баимова Ю.А. МЕХАНИЗМЫ ДЕФОРМАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛА Ni C КОМПОЗИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ ГРАФЕН/Ni ПРИ ОДНООСНОМ НАГРУЖЕНИИ..... | 43 |
| Кирилук К.К., Мусабилов И.И. МИКРОСТРУКТУРА И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА СИСТЕМЫ Ni-Mn-Ga В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ..... | 44 |
| Галиев Л.Р., Ибатуллина А.В., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ СПЛАВА $Ag_{0.15}Cu_{1.81}Se$ | 46 |
| Аккубеков Ш.А., Ахметгалиев Б.М., Палымбетов Р.Ш., Балапанов М.Х. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕРМО-Э.Д.С. НАНОКОМПОЗИТНОГО СПЛАВА $K_{0.01}Cu_{1.96}S$ | 48 |
| Гайфуллин Р.Ю., Мусабилов И.И. ВЛИЯНИЕ ВСЕСТОРОННЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ КОВКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТИПА «ОЖЕРЕЛЬЕ» В СПЛАВЕ ГЕЙСЛЕРА СИСТЕМЫ Ni-Mn-Ga-Cu..... | 50 |
| Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф. СТРУКТУРНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КОБАЛЬТЕ, ПОЛУЧЕННОМ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ..... | 52 |
| Ибрагимов М.Р., Назаров К.С. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА Al-Ti..... | 54 |
| Гатауллина Я.Р., Латыпова О.Э., Автократова Е.В., Маркушев М.В., Ситдинов О.Ш. ВЛИЯНИЕ ВСЕСТОРОННЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ КОВКИ НА СТРУКТУРУ И СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ Al-Mg-Sc-Zr СПЛАВА..... | 56 |

| | |
|---|----|
| Адельгареева И.И., Ситдиков О.Ш., Маркушев М.В., Автократова Е.В. МИКРОСТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ ХОЛОДНОКАТАНОГО УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО СПЛАВА 1570С ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ..... | 58 |
| Латыпова А.Р., Давлетшина А.Д. ЗОННАЯ СТРУКТУРА Cu_2S | 60 |

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА И БИОФИЗИКА»

| | |
|---|----|
| Хасанова И.Я., Кутлуева А.И., Зелеев М.Х. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА..... | 62 |
| Губачева О.Н., Фазылов Д.И., Зелеев М.Х. АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ ПОЛИПОВ ЭНДОМЕТРИЯ..... | 64 |

СЕКЦИЯ «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

| | |
|---|----|
| Юмалин Т.Т., Салихов Р.Б. ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ГАЗОВЫЙ СЕНСОР..... | 66 |
| Павлик В.В., Грешняков В.А. ПОЛУЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОИНТЕРКАЛИРОВАННЫХ ГРАФИНОВЫХ СЛОЕВ..... | 68 |
| Сычева М.А., Зильберг Р.А. ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ПОРИСТОСТЬЮ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ ТРИПТОФАНА..... | 70 |
| Гильманов Д.Р., Салихов Р.Б. ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ФОТОТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ (2-ЭТИЛ-3-МЕТИЛИНДОЛ)..... | 72 |
| Фахрисламова Д.У., Остальцова А.Д., Салихов Р.Б. ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК НА СЕНСОРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ ПОИАНИЛИНА К ПАРАМ АММИАКА..... | 74 |
| Остальцова А.Д., Салихов Р.Б. ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПЛЕНОК НА СЕНСОРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ ПОИАНИЛИНА К ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА..... | 76 |

| | |
|---|----|
| Остальцова А.Д., Салихов Р.Б. ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА С ОДНОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ К ПАРАМ АММИАКА..... | 78 |
| Фахрисламова Д.У., Остальцова А.Д., Салихов Р.Б. ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА С ОДНОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ К ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА..... | 80 |
| Сагидуллина А.Р., Салихов Р.Б. ЭЛЕКТРОННЫЕ СЕНСОРЫ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЁНОК PANI и C60..... | 82 |
| Бурханова А.Д., Абдрахманов В.Х. УМНАЯ ФЕРМА С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ LoRaWAN..... | 84 |
| Айдагулов А.А., Салихов Р.Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ДОПИРОВАННЫХ ПЛЕНOK ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ..... | 86 |
| Поищенко К.Е., Абдрахманов В.Х. МОНИТОРИНГ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА LoRaWAN С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ТОКА НА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ КОМПРЕССОРОВ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК..... | 88 |
| Биканасов Б.У., Абдрахманов В.Х. ТРЕКЕР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ GPS, BLE И LORAWAN..... | 90 |
| Гималтдинов А.А., Салихов Р.Б. РАЗРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОТРАНЗИСТОРОВ..... | 92 |
| Кунысбаев И.А., Салихов Р.Б. РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ | 94 |
| Айдагулов А.А., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. КОНТРОЛЬ ЖИВОТНЫХ НА УМНОЙ ФЕРМЕ С ПОМОЩЬЮ LORAWAN..... | 96 |
| Кунысбаев И.А., Салихов Р.Б. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА НА ПОДСТАНЦИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ..... | 98 |

| | |
|---|-----|
| Давлетшин Т.Ю., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ ТРУДА..... | 100 |
| Резванов Т.Р., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. УМНЫЙ КОДОВЫЙ ЗАМОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАКА RIGHTESН И ТЕЛЕГРАММ-БОТА..... | 102 |
| Резванов Т.Р., Салихов Р.Б. РАЗРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОРЕЗИСТОРОВ | 104 |
| Хусаинова А.Э., Салихов Р.Б. РАЗРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ..... | 106 |
| Лазарев Н.А., Салихов Р.Б. РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА..... | 108 |
| Фролов В.В., Салихов Р.Б. РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПАРОВ АММИАКА..... | 110 |
| Кушбоков Н.А., Остальцова А.Д., Абдрахманов В.Х. КОНТРОЛЬ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN..... | 112 |
| Давлетбердин И.И., Абдрахманов В.Х. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN..... | 114 |
| Халитов Т.А., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА ПРИ ПОМОЩИ ИИ..... | 116 |
| Рогашев Е.А., Салихов Р.Б. ГАЗОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АММИАКА В ВОЗДУХЕ | 118 |
| Сагидуллина А.Р., Сафаргалин И.Н., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В ПОМЕЩЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ RFID С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IOT..... | 120 |
| Гильманов Д.Р., Сафаргалин И.Н., Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х. ОСВЕЩЕНИЕ, АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ С ПОМОЩЬЮ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА RIGHTESН И ТЕЛЕГРАММ-БОТА..... | 122 |
| Лазарев Н.А., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. УДАЛЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ НА УМНОЙ ФЕРМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ЗВУКА, ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ..... | 124 |

| | |
|---|-----|
| Фролов В.В., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN..... | 126 |
| Валиев В.Р., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ NVIOT..... | 128 |
| Гималтдинов А.А., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. УДАЛЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОТЕЧКИ ТРУБОПРОВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORAWAN..... | 130 |
| Мухаметдинов Ч.Р., Терес Ю.Б., Зильберг Р.А. ХИРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ СО (II) КАК МОДИФИКАТОРЫ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОМЕРОВ..... | 132 |
| Шарафутдинов Д.А., Усманов Э.И., Валиев Р.Р. МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 3D – НАПЕЧАТАННОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6, ПОДВЕРГНУТОГО КВД И ТО..... | 134 |
| Мухитова Л.Р., Муллагалиев И.Н. ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ..... | 136 |

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОФИЗИКА»

| | |
|---|-----|
| Садыков Р.Р., Шарипов Т.И. САМОБАЛАНСИРУЮЩИЙСЯ РОБОТ..... | 138 |
| Теляубаев Т.Ю., Рыжиков О.Л. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КАРОТАЖ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН..... | 140 |
| Абдрахимов С.А., Шарипов Т.И. НАБЛЮДЕНИЕ МОЛЕКУЛ ДНК. ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ..... | 142 |
| Полухин Р.В., Шарипов Т.Ш. РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-АКУСТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА, КОТОРОЕ ПРЕОБРАЗУЕТ ЗВУКОВОЙ СИГНАЛ FUZZ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЭФФЕКТОМ DELAY..... | 144 |
| Валиев А.И., Шарипов Т.И. АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕБНОЙ АУДИТОРИИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА..... | 145 |

| | |
|--|-----|
| Мочалов А.Н., Шарипов Т.И. КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РОЯ ДРОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА..... | 147 |
| Мусин А.И., Шарипов Т.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПЛАТЫ RASPBERRY PI 4 В КАЧЕСТВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УХОДА ЗА ДОМАШНИМИ ПИТОМЦАМИ..... | 148 |
| Зиёев Ф.С., Шарипов Т.И. ПОЛУЧЕНИЕ АСМ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДНК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ..... | 150 |
| Шахмаев Р.Р., Шайхитдинов Р.З. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОДЯНОГО МОСТИКА..... | 152 |
| Гильманов И.В., Гимранов И.Р., Рыжиков О.Л. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ МЕТАЛЛОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ QUICKFIELD STUDENT 6.4..... | 154 |
| Миназов И.И. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ШАГАЮЩЕГО МАРСОХОДА НА БАЗЕ AVR..... | 156 |
| Бахтияров Э.М., Рыжиков О.Л. МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЛЭШ ПИРОЛИЗА..... | 158 |

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

| | |
|---|-----|
| Мухтарова А.М., Закиров М.Ф. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОЛОННЫХ ПЕРЕТОКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОМЫСЛОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН..... | 160 |
| Аликов К.Р., Хабиров Т.Р. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАКОЛОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ФЛЮИДА С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ТЕРМОМЕТРИИ..... | 162 |
| Алимова М.Р., Вахитова Г.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДА СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ГАММА-КАРОТАЖА ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТОРОВ..... | 164 |
| Кадыров А.В., Давлетшин Ф.Ф. ПЛОСКОРАДИАЛЬНЫЙ ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ПОТОК УПРУГОЙ ЖИДКОСТИ. ОСНОВНАЯ ФОРМУЛА ТЕОРИИ УПРУГОГО РЕЖИМА ФИЛЬТРАЦИИ. УРАВНЕНИЕ ПЬЕЗОПРОВОДНОСТИ..... | 166 |

| | |
|---|-----|
| Шайхинуров.Ш.Н., Вахитова Г.Р. АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАРБОНАТНЫХ РАЗРЕЗАХ..... | 167 |
| Сынгизова Н.Ю., Вахитова Г.Р. ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ФРАНСКОГО ЯРУСА КАПИТОНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ..... | 169 |
| Гилязов М.Ф., Рамазанов А.Ш. ГИДРОПРОСЛУШИВАНИЕ ПЛАСТОВ. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.. | 171 |
| Асфина Р.Р., Давлетшин Ф.Ф. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН..... | 173 |
| Каримова Д.Ф., Вахитова Г.Р. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ВЫНГАПУРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ..... | 175 |
| Буджогра С., Шарафутдинов Р.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ГАЗОКОНДЕНСАТНОМ ПЛАСТЕ С УЧЕТОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ И ТЕПЛОТЫ КОНДЕНСАЦИИ..... | 177 |
| Бабаназаров Д.И., Шарафутдинов Р.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПЛАСТЕ С УЧЁТОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ТРЕХФАЗНЫХ ПОТОКАХ..... | 179 |
| Тавлыкаев С.Р., Мухутдинов В.К. ПОСТРОЕНИЕ ФАЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПЛАСТОВ ТЕРРИГЕННОЙ ТОЛЩИ..... | 181 |
| Шарафутдинов Р.Т., Космылин Д.В. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АЗИМУТАЛЬНО- РАСПРЕДЕЛЁННОГО ДАТЧИКА СТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛОВ ПРИТОКА ФЛЮИДА..... | 182 |
| Хомутова В.Е., Шарафутдинов Р.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НЕФТИ, ВОДЫ И ГАЗА ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ВЫШЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕНИЯ НЕФТИ ГАЗОМ..... | 184 |
| Близнецов Н.А., Мухутдинов В.К. АЛГОРИТМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ГИС В ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ..... | 186 |

| | |
|---|-----|
| Маннанов Т.Р., Стручков А.С. ПЕТРОУПРУГОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЭФФЕКТИВНОЙ СРЕДЫ ПО ПЛАСТАМ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ..... | 188 |
| Сулейманова М.Д., Шарафутдинов Р.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В СЛОИСТО НЕОДНОРОДНОМ ПЛАСТЕ БОЛЬШОЙ ТОЛЩИНЫ С УЧЕТОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ..... | 190 |
| Аликов Р.Р., Усманова Э.С., Вахитова Г.Р. ОЦЕНКА МАЛОМОЩНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ТИМАНСКОГО ГОРИЗОНТА ШКАПОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ..... | 192 |
| Гарифуллина Д.И., Мухутдинов В.К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В НАГНЕТЕТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ ТЕРМОДЕБИТОМЕРОМ ПО СЕРИИ ЗАМЕРОВ НА РАЗНЫХ СКОРОСТЯХ..... | 194 |
| Мухаметшина А.И., Мухутдинов В.К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН..... | 195 |
| Карачурин А.И., Закиров М.Ф. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ПРИ СУЖЕНИИ СТВОЛА СКВАЖИНЫ..... | 196 |
| Садовский Г.М., Низаева И.Г. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНО- МАГНИТНОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ В СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ..... | 198 |
| Басыров И.Г., Низаева И.Г. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО КАРОТАЖА ПРИ НАЛИЧИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ В БУРОВОМ РАСТВОРЕ..... | 200 |
| Исламов Р.А., Шарафутдинов Р.Ф. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЯ- ТОМСОНА ДЛЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ..... | 202 |
| Басимова А.Х., Мухутдинов В.К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ В СТВОЛЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ ПО ДАННЫМ ПГИ... | 204 |
| Мениев Ф.В., Вахитова Г.Р. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИС..... | 205 |

Гильфанова И.Р., Коломасова С.А.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА НАСЫЩЕННОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ ПЛАСТА ЮС1 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИВЫХ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ..... 206

СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

Ким А.С., Гильманов А.Я., Шевелёв А.П.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ХЛАДАГЕНТА В ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРЕ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ ЖИДКОСТЬ-ПАР..... 208

Таирова К.Н., Шевелёв А.П., Гильманов А.Я.

КРИТЕРИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВЕРШЕНИЯ ФАЗЫ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА В ПРОЦЕССЕ ПАРОВАИТАЦИОННОГО ДРЕНАЖА..... 210

Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р., Валиуллина В.И., Мусин А.А.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ОСАЖДЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ МЕТОДОМ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА..... 213

Абдульмянов Д.Р., Давлетбаев А.Я.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В СКВАЖИНЕ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА И АПРОБАЦИЯ ПОДХОДОВ ПО ОЦЕНКЕ СРЕДНЕГО ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ..... 215

Турумтаева Г.И., Давлетбаев А.Я.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗОХРОННЫМ МЕТОДОМ В СКВАЖИНЕ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАЗРЫВОМ ПЛАСТА В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРАХ..... 216

Гайсарова Л.В., Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А.

РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИИ МИКРОФЛЮИДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ МОНОДИСПЕРСНЫХ КАПЕЛЬ..... 217

Усманов Б.А., Галеев Р.Р., Мусин А.А., Зиннатуллин Р.Р.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО НАГРЕВА..... 219

Галиева К.А., Солнышкина О.А.

МИКРОФЛЮИДНЫЙ ПОДХОД К СОРТИРОВКЕ КЛЕТОК..... 220

Байкова Р.А., Давлетбаев А.Я., Адельгужина Э.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ПК «РН-ВЕГА»..... 222

| | |
|---|-----|
| Нурияхметова Д.Э., Валиуллина В.И., Мусин А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ..... | 224 |
| Латыпов В.Р., Бикбулатова Г.Р., Давлетбаев А.Я. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ЗАТРУБНОМ ПРОСТРАНСТВЕ В МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЕ В ПК «РН-ВЕГА»..... | 225 |
| Адельгужина Э.М., Акрамов И.Р., Ишкин Д.З., Давлетбаев А.Я. ПОВЫШЕНИЕ ОХВАТА «МАЛОЗАТРАТНЫМИ» ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПК «РН-ВЕГА»..... | 226 |
| Юлмухаметова Р.Р., Ковалева Л.А., Мусин А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО РАССЛОЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ ЭМУЛЬСИИ..... | 228 |
| Миров Ф.С., Киреев В.Н. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ..... | 229 |
| Фаррахетдинова А.И., Сахибгареев Э.Э., Мусин А.А. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОГРАНИЧЕННОЙ ОБЛАСТИ..... | 230 |
| Семенова Н.А., Давлетбаев А.Я. ВЛИЯНИЕ ГЛИНИСТЫХ ПРОПЛАСТКОВ И РАСЧЛЕНЕННОСТИ В РАЗРЕЗЕ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СКВАЖИНЫ В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРАХ..... | 231 |
| Султанова Р.Р., Мухаметова З.С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА ПРИ РАСШИРЕНИИ..... | 233 |
| Ардаширова М.Р., Нигаметьянова Г.А., Мусин А.А. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО МОДУЛЯ В MICROSOFT EXCEL ДЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С БЕСКОНЕЧНОЙ ГРАНИЦЕЙ ПЛАСТА..... | 235 |
| Туйгунова Д.М., Солнышкина О.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ МИКРОКАНАЛОВ С ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ БОКОВЫМ СМЕЩЕНИЕМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ..... | 236 |
| Ахмадеев Р.Р., Ковалева Л.А. РАДИОАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СКВАЖИН.. | 238 |

| | |
|---|-----|
| Волкова К.Е., Евлампиев Я.В., Мусин А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ КАРТ ИЗОБАР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОПОРНОГО ФОНДА СКВАЖИН, ПОСТРОЕННЫХ ПО МЕТОДУ ИНТЕРПОЛЯЦИИ..... | 240 |
| Тимершаехов Д.Ф., Давлетбаев А.Я. ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СЦЕНАРИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИНЫ ПРИ ВЫВОДЕ ЕЕ НА УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ РАБОТЫ..... | 241 |
| Курбанова С.С., Солнышкина О.А. МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МИКРОКАНАЛАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ..... | 242 |
| Мукимова Р.Ш., Нигаметьянова Г.А., Мусин А.А. СОЗДАНИЕ РАСЧЕТНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С БЕСКОНЕЧНОЙ ГРАНИЦЕЙ ПЛАСТА..... | 244 |
| Валиуллина В.И., Мусин А.А., Ковалева Л.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДИНАМИКУ ТЕЧЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ В УСЛОВИЯХ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ..... | 245 |
| Сафина Э.Р., Саметов С.П. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО МИКРОКАНАЛА | 246 |
| Овинов Е.В., Саметов С.П. РАЗРАБОТКА МИКРОФЛЮИДНОГО УСТРОЙСТВА ТИПА КЕРН-НА-ЧИПЕ..... | 248 |
| Ефимова М.В., Ишкин Д.З., Давлетбаев А.Я. ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОЗАТРАТНЫХ ВИДОВ ГАЗДИ ДЛЯ ПОДБОРА СКВАЖИН-КАНДИДАТОВ НА ГТМ НА ГАЗОВЫХ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ..... | 250 |

СЕКЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ РАДИОТЕХНИКИ И СВЯЗИ»

| | |
|---|-----|
| Шугубаева С.Б., Кузнецов Д.П., Лопатюк А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ 4-Х КАНАЛЬНОЙ 10 ГИГАБИТНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ СОДЕРЖАЩЕЙ DWDM..... | 252 |
| Кузнецов Д.П., Шугубаева С.Б., Лопатюк А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ЭФФЕКТА 4-Х ВОЛНОВОГО СМЕЩЕНИЯ В 4-Х КАНАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ..... | 254 |

| | |
|--|-----|
| Абзалилов Д.А., Вальшин А.М. АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАКАЧКЕ..... | 256 |
|--|-----|

СЕКЦИЯ «ПУТЬ В НАУКУ»

| | |
|--|-----|
| Закирьянов И.Ф., Алликас А.Г. КОНЦЕПЦИЯ ПОЛЁТА НА МАРС И ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС..... | 258 |
| Пауткин Д.П., Першина Е.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА | 260 |

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

*X Межрегиональной школы-конференции
молодых ученых
(г. Уфа, 25 – 26 апреля 2024 г.)*

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.*

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 04.12.2024 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 10,54 Мб.
Заказ 225.

*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