БЕЙСЫЗЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ХАОС ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДАР. ТЕОРИЯ ЖӘНЕ ТӘЖІРИБЕ

11-ші Халықаралық ғылыми конференцияның

МАТЕРИАЛДАРЫ

22–23 қараша 2019 ж.



ХАОС И СТРУКТУРЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ. ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

МАТЕРИАЛЫ

11-й Международной научной конференции

22–23 ноября 2019 г.

CHAOS AND STRUCTURES IN NONLINEAR SYSTEMS. THEORY AND EXPERIMENT

MATERIALS

of the 11th International scientific conference

November 22–23, 2019

Репозиторий КарГУ

Қарағанды – 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

АКАДЕМИК Е.А.БӨКЕТОВ АТЫНДАҒЫ
ҚАРАҒАНДЫ МЕМЛЕКЕТТІК УНИВЕРСИТЕТІ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. АКАДЕМИКА Е.А.БУКЕТОВА

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ACADEMICIAN Ye.A. BUKETOV
KARAGANDA STATE UNIVERSITY

БЕЙСЫЗЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ХАОС ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДАР. ТЕОРИЯ ЖӘНЕ ТӘЖІРИБЕ

11-ші Халықаралық ғылыми конференцияның материалдары

22–23 қараша

ХАОС И СТРУКТУРЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ. ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Материалы 11-й Международной научной конференции

22–23 ноября

CHAOS AND STRUCTURES IN NONLINEAR SYSTEMS. THEORY AND EXPERIMENT

Materials of the 11th International scientific conference

November 22–23

Қарағанды
2019

Репозиторий КарГУ

УДК 530.1
ББК 22.3
Б38

Организационный комитет

Тажбаев Е.М. (*председатель*), Жанабаев З.Ж., Шрагер Э.Р., Алимкулов К.У., Акилбеков А.Т., Бактыбеков К.С., Болегенова С.А., Джайчибеков Н.Ж., Ершина А.К., Жаркын Е., Жумабеков Б.К., Ибраев Н.Х., Ибраимов М.К., Кажикенова С.Ш., Кокетай Т.А., Колмаков А.Г., Кульбачинский А.В., Купчишин А.И., Курытник И.П., Кучеренко М.Г., Кучерук В.Ю., Лежнин С.И., Мырзакулов Р., Нусупбеков Б.Р., Палеев Д.Ю., Потапов А.А., Прибатурин Н.А., Сакипов К.Е., Саулебеков А.О., Стоев Митко, Татыбеков А.Т., Тимошенко В.Ю., Трубицын А.А., Турмухамбетов А.Ж., Шарипов М.З.

Редакционная коллегия

Сакипова С.Е., Шаймерденова К.М., Чиркова Л.В.

Б38 **Бейсызық жүйелердегі хаос және құрылымдар. Теория және тәжірибе = Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент = Chaos and structures in nonlinear systems. Theory and experiment**: Материалы 11-й Междунар. науч. конф. — Караганда: Изд-во КарГУ, 2019. — 443 с. — Казахский – русский – английский.

ISBN 978-9965-39-781-3

В сборнике публикуются материалы докладов участников 11-й Международной научной конференции по проблемам нелинейной физики и инновационным технологиям в различных сферах физики, техники и образования, проводимой Карагандинским государственным университетом им. академика Е.А. Букетова.

УДК 530.1
ББК 22.3

Выражаем благодарность за спонсорскую помощь директору Карагандинского филиала АО «First Heartland Jysan Bank» Алимкулову Кайрату Усеиновичу

ISBN 978-9965-39-781-3

© Карагандинский государственный университет, 2019

Репозиторий КарГУ



КУСАИЫНОВ КАППАС КУСАИЫНОВИЧ

Ученый, педагог, доктор технических наук, профессор
Член-корреспондент Инженерной Академии Республики Казахстан

Репозиторий КарГУ

ПРОФЕССОР КУСАИЫНОВ К. - ОСНОВАТЕЛЬ КАРАГАНДИНСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ

Турмухамбетов А.Ж.[1], Сакипова С.Е.[2], Шаймерденова К.М.[2]

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]Карагандинский государственный университет им.Е.А. Букетова, Карагандса, Казахстан

Введение

С именем Каппас Кусаиыновича, в первую очередь, ассоциируются самые светлые воспоминания о доброжелательном и добром человеке с теплой улыбкой! Уверены, что это мнение большинства тех, кто хоть однажды встречался с ним по работе или другим делам. Прошло вот уже более 3-х лет, но до сих пор ощущается невосполнимость его как руководителя, учителя, коллеги и просто товарища и друга.

В данной публикации представлены основные этапы становления д.т.н., профессора Кусаиынова Каппас Кусаиыновича как ученого, педагога, основателя и руководителя школы экспериментальной теплофизики КарГУ. Кратко описаны наиболее важные научные достижения и результаты его деятельности, оказавшие существенный вклад в развитие теплофизической школы КарГУ. Авторы, многие годы работавшие вместе хотели передать какое большое влияние и поддержку оказал Каппас Кусаиынович на становление каждого сотрудника и студента как специалиста, и на развитие кафедры инженерной теплофизики имени проф. Ж.С. Акылбаева и физико-технического факультета в целом.

1. Некоторые сведения из биографии и факты профессиональной деятельности.

Кусаиынов Каппас родился 21 октября 1949 года в селе Сарыжыра Восточно-Казахстанской области. В 1974 году с отличием окончил физический факультет Казахского государственного университета им. С.М.Кирова в г.Алматы. В 1978 году после окончания очной аспирантуры был направлен на работу в КарГУ имени академика Е.А. Букетова. Каппас Кусаиынович в 1979 году защитил кандидатскую, а в 1999 году докторскую диссертацию. За время работы в КарГУ прошел весь путь становления от преподавателя, доцента, профессора. В 1996 году был избран действительным член-корреспондентом инженерной академии РК, многие годы работал ученым секретарем Диссертационного Совета, членом Координационного Совета ВАК РК по теплоэнергетике, ученым секретарем экспертного совета по физике и энергетике Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК. За заслуги и достижения в области высшего образования и науки был дважды удостоен республиканского гранта «Лучший преподаватель ВУЗа». Награжден почетными грамотами Министра образования и науки РК, грамотами акима Карагандинской области, нагрудными знаками «Почетный работник образования РК», «Заслуженный работник КарГУ». Многие годы Работал в редакционной коллегии научных журналов университета «Eurasian Physical Technical Journal», «Вестник КарГУ. Серия физика».

С 2003 года Каппас Кусаиынович заведует кафедрой инженерной теплофизики им. профессора Ж.С.Акылбаева. Кафедра теплофизики была основана в 1980 году в связи необходимостью подготовки специалистов-теплофизиков для Карагандинского региона. Половину первого преподавательского состава кафедры теплофизики составили ученики алматинской школы теплофизиков профессора Исатаева С.И., которых пригласил в КарГУ работавший в то время деканом Ж.С.Акылбаев, среди которых был Кусаиынов К.К., работавший в то время на кафедре общей и теоретической физики.

С самого начала своей профессиональной деятельности он зарекомендовал себя как ученый – экспериментатор, сумевший создать лабораторную базу кафедры. Достаточно упомянуть единственную в Казахстане Аэродинамическую трубу с диагональю открытой рабочей части 500мм, которую Каппас Кусаиынович сам лично по частям перевез из Алматы в Караганду и собрал. Вначале она была установлена в подвале старого корпуса, а

Репозиторий КарГУ

затем уже перевезена в нынешний корпус. Уникальность данной установки в том, что по результатам выполненных на ней экспериментов защищено более 40 кандидатских диссертаций, а впоследствии и до сих пор выполняются многочисленные диссертационные работы магистрантов и докторантов PhD.

Будучи заведующим кафедрой Каппас Кусаиынович требовал от сотрудников кафедры четкое соблюдение трудовой дисциплины, постоянно обновлять содержание дисциплин, что позволило обеспечить достаточно высокий уровень преподавания спецкурсов по теплофизике. Несмотря на свою занятость и не всегда хорошее самочувствие он всегда мог уделить внимание, проявить отеческую заботу и при необходимости оказать существенную поддержку в трудной ситуации любому сотруднику или студенту кафедры. Кроме того, он находил время и возможности для организации досуга сотрудников - стало хорошей традицией в конце учебного года выезжать всем коллективом кафедры на отдых в Каркаралинск.



Рис.3. В лаборатории электрогидравлики с профессором Митко Стоевым, КарГУ, 2014.



Рис.4. В Университете Латвии с профессором А.Яковичем, Рига, 2015.

В научной деятельности Кусаиынов К. поддерживал научные связи с ведущими научными центрами России, Украины, Германии, Болгарии, Латвии, и др. Для апробации результатов исследований и обмена опытом Каппас Кусаиынович принимал участие в качестве члена оргкомитета, и как приглашенный докладчик, во многих международных

Репозиторий КарГУ

конференциях в городах Казахстана и в Томске, Новосибирске, Москве, Киеве, Николаеве, Берлине, Мюнхене, Благоевграде (Болгария), Палермо (Италия) и др. Благодаря высокой эрудиции, человеческому обаянию и своему открытому характеру знакомился с ведущими специалистами, в дальнейшем поддерживал тесные научные и деловые отношения, многие из которых затем перерастали в дружеские. При возможности приглашал зарубежных специалистов для обмена опытом, чтения лекций и проведения научных проектов, а также совместного руководства диссертационными работами магистрантов и докторантов PhD.

2. Достижения и научно-технические разработки, получившие высокую оценку и нашедшие практическое применение.

Активно пропагандируя внедрение отечественных энерго-сберегающих, экологических чистых технологий в научной среде профессор Кусаиынов К. известен как высоко-квалифицированный специалист в области экспериментальной теплофизики. В рамках одной статьи невозможно даже просто перечислить все его разработки и изобретения, поэтому отметим лишь наиболее важные его научно-технические разработки, которые можно условно разделить на 2 направления:

1) электро-гидравлические явления и их применение в технологических процессах;

2) аэродинамические исследования и разработка ветрогенераторов применительно к климатическим условиям Карагандинского региона.

Электро-гидравлические явления и их применение в технологических процессах

Еще 80-х года прошлого века под руководством Каппаса Кусаиыновича была разработана, создана и успешно внедрена система аппаратуры для очистки труб и пучков труб теплообменников, получившая высокую оценку специалистов на многих промышленных предприятиях бывшего постсоветского пространства под названием «Искра», «Искра-ОТТ», «Искра-М». Технология восстановления эксплуатационных характеристик труб и пучков труб теплообменников путем разрушения и очистки отложений под воздействием электрических разрядов защищена рядом авторских свидетельств и патентов:

1.Кусаиынов К., Бектурганов Ж.С. Электрогидравлическое устройство для очистки труб. А.С. СССР №1768333 B08B 9/04 от 15.07.92.

2.Кусаиынов К., Жанабаев З.Ж., Мухамедин С.М., Уалиев Е.Б., Сакипова С.Е. Способ очистки труб, полностью забитых твердыми отложениями. Национальный Патент РК №10528 (2000/0132.1) от 08.02.2000.

На основе фундаментальных исследований обоснована возможность использования электрогидравлических явлений для извлечения фосфора из фосфорсодержащего шлама на производстве желтого фосфора. Созданная технология была апробирована в Новоджамбульском фосфорном заводе(г.Тараз) и подтверждена патентами:

– Кусаиынов К. и др. Способ получения термического фосфора из водной суспензии фосфорного шлама. Патент США №4822584 кл. С 01в25/01 от 18.04.1989.

– Кусаиынов К. и др. Способ получения термического фосфора из водной суспензии фосфорного шлама. Патент Великобритании №2199312 кл. С 10в25/02 от 6.06.1990.

Проведены фундаментальные исследования эволюции давления ударной волны, создаваемые электрическими разрядами в газожидкостной среде. Данные исследования легли в основу создания нового научного направления в нелинейной физике - теории самоорганизации многофазных и гидродинамических систем. Впервые было показано, что такие многофазные системы как газ + жидкость, жидкость + твердые частицы, газ + жидкость + твердые частицы можно исследовать как фрактальные объекты. Обнаруженные нелинейные эффекты роста амплитуды импульса давления в средах типа CO_2 + вода, а также нелинейный эффект поведения амплитуды импульса давления в зависимости от концентрации твердых частиц в жидкости объяснены с точки зрения фрактальной теории. На основе исследования динамики ударных волн, создаваемых электрическими разрядами в

Репозиторий КарГУ

жидкости в замкнутых полостях, обоснована возможность создания технологии интенсификации теплообменных промышленных процессов.

Под руководством профессора Кусаиынова К. разработаны новые технологии дробления и измельчения природных минералов (валостанит, кварц, кремний, золотосодержащие материалы) с помощью подводного электрического разряда с целью промышленного применения и извлечения ценных компонентов. На основе оптимизации параметров обработки разработана технология извлечения ценных компонентов, редких и благородных металлов из природных запасов и техногенного сырья РК:

- Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р., Ныгыманова А.С. др. Электрогидроимпульсное устройство для дробления и измельчения волластонитовых руд. Патент РК на изобретение №17857 от 15.08. 2006.

- Кусаиынов К.. Нусупбеков Б.Р., Шаймерденова К.М., Булкаирова Г.А. и др. Электроимпульсное устройство для измельчения природных минералов и металлургического кремния. Патент РК на изобретение №24079 от 22.04.2011.

- Кусаиынов К., Сакипова С.Е., Нусупбеков Б.Р., Хасенов А. и др. Электроимпульсный способ избирательного разрушения материала в жидкой среде. Инновационный патент РК на изобретение № 29005 от 15.10.2014.

Практическое применение электро-гидро-импульсных явлений в качестве технологического инструмента обработки и получения материалов с заданными размерами и свойствами нашли в различных отраслях добывающей и горнорудной промышленности, металлургии и энергетики - Кусаиынов К. и др. Электрогидроимпульсный бур. Иннов.патент № 12-4/444 от 11.06.2015.

На основе экспериментальных исследований введением зон с дополнительной подачей воздуха определены оптимальные условия для обеспечения более полного сгорания угля - Кусаиынов К., Сакипова С.Е., Корабейникова В.К. Способ сжигания экибастузского угля в паровом котле БКЗ-420-140-5. Патент на изобретение № 13930 от 5.11.2003. Исследование влияния импульсов давлений, создаваемых подводными электрическими разрядами на структуру и физико-химические свойства углей Карагандинского и Шубаркульского угольных бассейнов. Результаты исследований использованы при разработке технологии получения энергетического водоугольного топлива. Разработана электро-гидро-импульсная технология переработки шламов Шубаркульских углей - Кусаиынов К. и др. Форсунка для распыления водоугольного топлива. Инновационный патент № 20338 от 10.08.2015.

Исследование электрогидравлических явлений в многокомпонентной жидкости, в том числе в среде жидкого углеводородного топлива - как нефть. Установлен механизм влияния ударно-волновых воздействий на физико-химические свойства, на процессы разделения по компонентам, на процессы структурообразования и каталитические процессы. Результаты исследований использованы при разработке технологии переработки тяжелой нефти месторождений РК.

Исследование аэродинамики и разработка ветрогенераторов малой и средней мощности.

Второе направление научных исследований под руководством Каппаса Кусаиыновича связаны с тем, что на большей части территории Центрального Казахстана расположены зоны с низкими значениями среднегодовых скоростей ветра 2-3 м/с. В то же время, промышленные ветрогенераторы рассчитаны на скорость ветра от 5-7 м/с. Поэтому разработка и создание небольших ветроэнергетических установок для низкоскоростных ветропотоков до сих пор являются актуальными для Казахстана, что соответствует главным приоритетам развития отечественной энергетики.

Оптимизация ветроэнергетической установки, удовлетворяющей конкретным техническим требованиям, осуществлялась перебором и изготовлением большого числа геометрических форм лопастей с оценкой их аэродинамических параметров. Аэродинамические испытания вращающихся цилиндров переменного сечения с различными

Репозиторий КарГУ

поверхностями и лопастей динамически изменяемой формы позволили изучить физические закономерности их турбулентного обтекания и расширили представления о структуре и механизмах самоорганизации воздушного потока. Определены аэродинамические характеристики, выявлены условия оптимизации разработанных моделей при различных скоростях и углах атаки воздушного потока, как в лаборатории на аэродинамической трубе Т-1-М, так и в условиях естественного ветра в различных климатических сезонах.

Проведены экспериментальные исследования аэродинамики сложных течений вокруг системы вращающихся цилиндров переменного сечения с учетом эффекта Магнуса, аэродинамических параметров плоских лопастей с динамически изменяемой формой поверхностей с учетом эффекта парусности. Необходимо отметить, что разработки Каппас Кусаиыновича ветрогенератора с использованием эффекта Магнуса получили высокую оценку среди специалистов и энергетиков. В 2012 году на международном конкурсе научных разработок компании INTEL в штате Пенсильвания (США) среди участников из 69 стран разработка «Ветротурбина на основе эффекта Магнуса» была признана «лучшей среди лучших» в секции «Энергетика»!

Необходимо также отметить эффективность ветродвигателей с парусными лопастями, которые позволяют эффективно использовать энергию приземистых ветров малых скоростей и эффективно работают как при малых значениях скорости ветра, так и при больших. Кроме того, за счет динамически изменяемой формой лопастей, выполненных в виде треугольного «паруса» с подвижным концом, при изменении направления ветра на противоположное, направление вращения ветроколеса не изменяется, т.е. сохраняет первоначальное направления вращения оси ветротурбины (рисунок 1).

Полученные результаты аэродинамических испытаний оформлены в виде статей в рейтинговых научных журналах, апробированы на международных конференциях и подтверждены инновационными патентами РК:

- Кусаиынов К. и др. Ветроустановка на основе эффекта Магнуса. Инновационный патент РК № 20292 от 10.08.2015.

- Кусаиынов К. и др. Ветротурбина для малых скоростей ветра. Инновационный патент на изобретение РК № 30829 от 24.12.2015.

По результатам многочисленных испытаний различных типов ветрогенераторов была разработана и создана автономная гибридная ветроэлектростанция с номинальной мощностью 3.5 кВт, расположенная около корпуса физико-технического факультета. Основным источником энергии является ветротурбина с лопастями динамически изменяемой формы поверхности. Дополнительным источником энергии на случай безветренной погоды служит набор из солнечных панелей для производства электричества электричества. Система состоит из ветротурбины, гибридного контроллера, 2-х дополнительных солнечных контроллеров, инвертора, системы электрощиты с установленными 4-мя автоматами, 4-х дополнительных солнечных панелей, 6-ти аккумуляторов и т.д. Ветрогенератор вырабатывает три фазы переменного тока, контроллер обеспечивает постоянное напряжение для заряда аккумуляторов, которое затем с помощью инвертора преобразуется в переменное. В среднем за месяц на станции вырабатывается 625 кВт×ч, что обеспечивает работу в нормальном режиме электроприборов и освещение лабораторий, общей площадью 158 кв.м.

Частично комплектующие и измерительные приборы для станции и учебных лабораторий приобретались за счет научно-исследовательских финансируемых проектов по фундаментальным и прикладным программам, в которых Каппас Кусаиынович принимал участие как руководитель и ответственный исполнитель, к примеру, некоторые из них:

- «Электрогидроимпульсная технология переработки шламов Шубаркульских углей для получения водоугольного топлива» (проект №514-Ф-14),

- «Ветротурбина для малых скоростей ветра с динамической изменяемой формой поверхности лопастей» (проект №523-Ф-14);

Репозиторий КарГУ

- «Комплексная разработка, создание технологий, изготовление, теоретические и экспериментальные исследования опытно-промышленных образцов малых ветроэнергетических установок» (проект №538-Ф-15);

Исследования по оптимизации параметров ветрогенераторов, разработанных под руководством Каппаса Кусаиыновича, продолжаются в виде аэродинамических тестов в лаборатории и натурных испытаний, так и с применением компьютерных технологий, в частности, на основе программных комплексов ANSYS CFX и ANSYS FLUENT.

3. Основатель и организатор международной конференции «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент»

На протяжении всей деятельности в университете Каппас Кусаиынович был фанатично предан своему делу и как ученый–экспериментатор, и как педагог и руководитель. Профессор Кусаиынов К. был организатором проведения 9-и международных конференций Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент», которая проводится с 1997 года. Основной целью конференции является укрепление взаимодействия вузовской и академической науки, способствующего развитию инновационных научно-образовательных технологий.



Рис.5. В президиуме межд. конференции «Хаос …» в КарГУ им.Е.А.Букетова, Караганда, 2002.



Рис.6. Участники межд. конференции «Хаос …» в КарГУ им.Е.А.Букетова, Караганда, 2002.

Репозиторий КарГУ

За более чем 20-летнюю историю благодаря высокому уровню организации и проведения данная конференция получила поистине международный научный статус. В среднем на каждой конференции обсуждаются около 100-130 пленарных, секционных и стендовых докладов ученых и молодых исследователей из научных центров Казахстана и зарубежья. Каппас Кусаиынович благодаря неутомимой энергии мог организовывать выезд на великолепные заповедники региона – на Топарское озеро, на Чертово озеро в Каркаралинск, чтобы участники могли отдохнуть и пообщаться на природе. До сих пор многие участники выездных заседаний с удовольствием вспоминают об этом.



Рис. 7. Участники межд. конференции «Хаос …» в ЕНУ им.Л.Гумилева, Астана, 2008.



Рис.8. Регистрация участников межд. конференции «Хаос …» в КарГУ им.Е.А.Букетова, 2015.

Нынешняя 11-я конференция «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент», как дань памяти посвящена 70-летию со дня рождения профессора Кусаиынова К. Проведение конференции и сейчас продолжает способствовать дальнейшему укреплению сотрудничества кафедры и факультета с отечественными и зарубежными научными центрами, расширяется география участников.

Репозиторий КарГУ



Рис.9. Доклад профессора Панас А.И. на секционном заседании межд. конференции «Хаос …», 2015.



Рис.10. Участники на выездном заседании межд. конференции «Хаос …» в Каркаралинске, 2015.

Заключение

Как уже упоминалось выше, невозможно охватить и описать все грани личности Каппаса Кусаиыновича как ученого, педагога, друга и коллеги, но время показывает, высокий профессионализм, безупречная педагогическая деятельность, самоотверженный труд и значимые результаты научно-исследовательской работы профессора Кусаиынова К. внесли большой вклад в становление физико-технического факультета КарГУ имени Е.А. Букетова и способствовали развитию теплотехнической науки Центрального Казахстана.

Хотелось бы еще раз отметить невероятный оптимизм, силу воли, жизнелюбие и преданность работе Каппаса Кусаиыновича, благодаря чему с честью и мужественно преодолел выпавшие на его долю травмы и жизненные трудности. Конечно, в этом есть огромная заслуга его супруги Гульнары Болатовны, ее самоотверженная забота о нем после аварии и перенесенных многочисленных операций, когда он более года не мог ходить самостоятельно, и особенно, после безвременной кончины старшего сына Нурлана. Каппас

Репозиторий КарГУ

Кусаиынович смог не просто восстановиться и вернуться к работе, но еще подготовить к защите своих учеников, разработать новые технологии, написать ценные статьи, учебные пособия и монографии.

Под руководством профессора Кусаиынова К. подготовлены 1 доктор наук, 7 кандидатов наук, 2 доктора PhD и более 25 магистров. В настоящее время выпускники кафедры работают практически на всех объектах теплоэнергетики Караганды и области, и за ее пределами. За период работы в университете профессором Кусаиыновым К. опубликовано более 350 научных трудов, среди них 5 монографий, учебники, учебные пособия, 17 изобретений, запатентованных в Казахстане, России, США, Японии. Преподаватели и сотрудники кафедры стараются достойно продолжать начатые им дела и реализовывать его планы в жизнь. Как показывает практика, есть чем гордиться: только за последние 3 года успешно выполнены 5 грантовых проектов по прикладным темам, финансируемых МОН РК.

Продолжаются исследования аэродинамики цилиндрических тел, но уже как элементов разработанных оригинальных ветротурбин, работающих при низких скоростях ветра. Обновляется приборно-измерительный комплекс лабораторий с компьютерной обработкой экспериментальных данных. По результатам исследований ежегодно публикуются статьи в различных реферируемых журналах и престижных изданиях, разрабатываются новые спецкурсы с использованием инновационных образовательных технологий. Новшества внедряются и в учебно-образовательный процесс, обновляются базы практик, получены лицензии и ведется подготовка бакалавров, магистрантов и докторантов.

Надеемся и уверены, что основанная профессором К. Кусаиыновым научная школа и налаженные научные связи будут и в дальнейшем способствовать развитию отечественной экспериментальной теплофизики и электрогидравлики, подготовке высоко-квалифицированных специалистов высшей школы.

Репозиторий КарГУ

ПЛЕНАРЛЫҚ БАЯНДАМАЛАР
PLENARY REPORTS
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Х.Ж. Байшагиров, Б.М. Омаров
Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан, bayshagir@mail.ru

О создании малых ветроэнергетических установок в Казахстане

В последние годы актуальны вопросы использования чистой и устойчивой энергетики, которая является сферой массового применения высоких технологий, катализатором «широкого» социального и экономического развития. Она также обеспечивает более высокое качество жизни и переход всего общества к новому технологическому укладу, чему посвящены основополагающие концептуальные исследования [1]. Эта концепция предусматривает согласованную реализацию национальных инициатив «Зеленый мост», «Зеленый рост», Глобальная энергоэкологическая стратегия и учитывает решения Конференции ООН по устойчивому развитию в сферах энергетики, экологии, экономики с учетом национальных интересов и особенностей.

В Казахстане действует Концепция по переходу страны на «зеленую экономику», утвержденная 6 лет назад президентом РК. Там указаны желаемые индикаторы доли электроэнергии от ВИЭ: 3% к 2020 году, 10% – 2030, 50% – 2050. Ветроэнергетика является существенным фактором достижения этих задач.По данным Министерства энергетики РК, эксплуатация ветроустановок в нашей стране началась еще в 2010 году. В этом году насчитывается уже 15 функционирующих объектов ВЭС с суммарной мощностью чуть менее 230 МВт, до конца года планируется ввести в эксплуатацию еще три объекта[2].

Среди Стратегических задач Концепции, связанных с энергией будущего, можно выделить создание трех Национальных индустриально-инновационных кластеров: «Ветроэнергетика», «Солнечная энергетика», «Биэнергетика и биоэкономика» с развитием, например, энергетического машиностроения и соответствующего производства новых материалов. На данный момент в ведущих ВУЗах страны начались работы по подготовке кадров для новой отрасли. Назарбаев Университет, ЕНУ, КазГУ, АУЭиС уже запустили свои программы по ВИЭ, в основном, для магистрантов и докторантов. Мы считаем, что нужна соответствующая государственная программа в этом направлении.

В сентябре 2019 года подведены итоги торгов по отбору проектов ВЭС[3],где победителями стали фирмы с аукционной ценой 19,27 - 19,33 тг/кВт*ч (без НДС). Это огромный шаг вперед для нашей страны, т.к. эти цифры уже сопоставимы с тарифами угольной энергетики.

В настоящее время потребление электроэнергии в сельском хозяйстве РК отстает от развитых стран в 7-10 раз и составляет около 1% от общего потребления электроэнергии (на уровне 0,9 млрд. кВт*ч) [1].Дело в том, что централизованное энергоснабжение находится в бедственном положении,и при малой плотности населения не представляется возможным восстановить линии электропередач традиционными методами, особенно, втруднодоступных и отдаленных местах.Для выхода из такойситуациицелесообразно в стране форсировать создание малых ветроэнергетических установок (МВЭУ).

В стране отдельными учеными разрабатывается несколько видов малых ветроустановок как с вертикальными, так и с горизонтальными осями вращения. К первой группе относятся разработки академика НАН РК Ершина Ш.А., академика НИА Болотова А.В., д.т.н.

Репозиторий КарГУ

Буктукова С.Н., академика НАН РК Отелбаева М.О. и к.т.н. Кунакбаева Т.О. Ко второй группе относятся опытные образцы д.т.н. Камбарова М.Н., д.т.н. Байшагирова Х.Ж., к.ф.-м.н.Жилкашиновой Э.М. и др.

Особняком стоит ветроэнергетическая установка д.ф.-м.н. Кусаинова К.К., разрабатываемая в стенах Карагандинского государственного университета им. Е.А. Букетова и Института прикладной математики МОН РК. Каждая ось вращающихся «лопастей» перпендикулярна к общей оси вращения ветроколеса (ротора), которое приводится в движение силой Магнуса. При этом ориентация осей в пространстве может не совпадать с вертикальным или горизонтальными направлениями. «Лопастями» могут служить различные цилиндры, усеченные конусы и другие тела вращения, как правило, с шероховатой боковой поверхностью[4]. Впервые установлены зависимости коэффициентов аэродинамической подъемной силы от скорости ветра, от скорости вращения цилиндров со сферическими торцами, от диаметра исследуемых тел. Определен диапазон оптимальных параметров, обеспечивающий стабильно максимальный коэффициент подъемной силы. Впервые разработан и создан малооборотистый синхронный торцовый генератор для ветроэнергетических установок.



Модель ВЭУ д.ф.-м.н.Кусаинова К.К.



ВЭУБ Бидарье академика Ершина Ш.А.

В НИИ математики и механики, КазНУ им. Аль-Фарабиакадемиком НАН РК, д.т.н., профессором Ершиным Ш.А. спроектирована и изготовлена действующая модель ветротурбины карусельного типа, могущая работать в режиме Дарье иБидарье. Ветроэнергетическая установка Бидарье (ВЭУБ) обеспечивает выработку электроэнергии при скорости 5-15 м/с. Номинальная мощность 7 кВт достигается при скорости ветра 7-8 м/с. Аварийная останов при 20 м/с, общая высота ВЭУ 10,6 м, масса 800 кг. ВЭУ устанавливается на легком фундаменте и дополнительно закрепляется с помощью тросовых растяжек. Вертикально-осевой ротор Бидарье состоит из двух коаксиальных валов, независимо вращающихся относительно друг друга в противоположных направлениях. Габариты роторов: мах наружного ротора – 2 м., длина лопасти – 4.5 м., мах внутреннего ротора – 1,7 м., длина лопасти – 4 м.Имеется патент РК [5].



ВРТБ академика Болотова А.В.

В Казахстане работают более 50 станций с ветровыми роторными турбинами – уникальной разработкой казахстанского ученого, д.т.н.,профессора Алматинского университета энергетики и связи, академика Болотова А.В. В ее основе использована вертикально-осевая роторная турбина с двумя вращающимися в противоположных направлениях модулями. Такая конструкция может давать ток даже на низких скоростях ветра, при которых пропеллерные станции не работают. Параметры ветровой роторной турбины Болотова: вес модуля – 750 кг, диапазон температур – (40) –(+40)С, мощность – 3-10 кВт, номинальная скорость - 12,3 м/с, особенности высокая безопасность (нет вибраций, открытых движущихся частей), повышенный ресурс, надежность, срок эксплуатации 10+ лет, не зависит от направления ветра, работа в условиях

Репозиторий КарГУ

турбулентности, модульность конструкции, низкие эксплуатационные расходы, синергетический эффект в комбинации с солнечными панелями[6].

Установка профессора Буктукова Н.С. (Институт горного дела МОН РК) может работать при любом направлении ветра и скорости – от 3 до 60-80 м/с, все 300-330 дней в году, при этом цена ее –5 тысяч долларов США. Так же в отличие от дорогих зарубежных ветростанций она имеет в комплекте генератор, мультиплексор, прибор управления аппаратурой, зарядку и устройство защиты аккумулятора. Простые подсчеты показывают, что стоимость казахстанского ноу-хау без учета исполнительных механизмов дешевле в 4 раза виндроторных и в 7 раз – лопастных установок: у ветростанции Буктукова нет башни, и она проста в изготовлении. Кроме того, изобретение может одновременно выступать и в качестве маяка как в степях Казахстана, так и на островах. Она хороша тем, что при увеличении скорости ветра ее лопасти сжимаются и приобретают форму трубы. И скоростной диапазон ее работы намного больше – от 3 до 70 м/с.



ВЭУ д.т.н.Буктукова Н.С.



Ветроэлектростанция к.ф.-м.н. КунакбаеваТ.О.и академика Отелбаева М.

В КазНУ им. Аль-Фараби под руководством доцента кафедры механики Кунакбаева Т.О., академика НАН РК Отелбаева М., предложена компактная многоэтажная модель ветроэлектростанции (КМВЭ), которая имеет ряд преимуществ перед обычными ветроэлектростанциями, расположенными в один этаж на земле. КМВЭ представляет собой многоэтажную конструкцию, на этажах которой располагаются ветротурбины различного типа. Преимущества КМВЭ: экономия территории, стабильное использование энергии ветра, воздушный коридор между этажами.В 2013 году в рамках выполнения инновационного гранта МОН РК «Разработка, изготовление и экспериментальные исследования эффективности компактной ветроэлектростанции» изготовлен и испытан экспериментальный образец трехэтажной компактной ветроэлектростанции[7].





ВЭУД д.т.н., Байшагирова Х.Ж.

В Кокшетауском госуниверситете им. Ш. Уалиханова создан опытный образец композиционной ветроэнергетической установки с диффузором (ВЭУД). Разрабатываемая из стеклопластика ВЭУД будет экологически чистым, удобным в эксплуатации переносным источником электроэнергии. Испытания показали, что ВЭУД в два раза мощнее, чем ВЭУ без диффузора. Главная теоретическая идея подтвердилась - диффузор эффективен. Параметры ВЭУД: масса - 95 кг, высота башни - 4 м, проектная мощность - 1кВт, температурный режим от минус 50° С до плюс 80° С, длительность эксплуатации 20 лет,

Репозиторий КарГУ

вырабатывает ток при скорости ветра 4-25 м / с . Монтаж (демонтаж) ВЭУД могут провести 3 работника в полевых условиях за 2-3 часа без подъемных устройств[8].

С использованиемресурсосберегающей технологиипереработки композиционных материалов были изготовлены из стеклопластика основные узлы и диффузор, благодаря которому увеличиваются длительность рабочего режима установки и география ее использования[9].Можно выделить также ее высокую мобильность, удобство в обслуживании, повышенные ремонтопригодность, стойкость к воздействию различных проявлениий климата, безопасность при самом широком диапазоне использования, бесшумность работы, незначительная металлоемкость, привлекательность дизайна, отсутствие радиопомех и т.д. ВЭУД окупается за 4-5 месяцев при использовании ее совместно с насосом «Водолей - 3» для подачи питьевой воды из скважины. Создание композиционной энергомашины является новым направлением для индустрии РК.

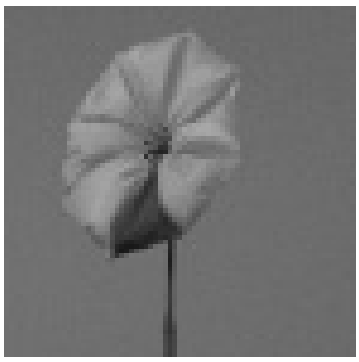
Профессором Камбаровым М.Н. (ТОО «Ecowatt») создана ВЭУ "Казканат"с параметрами: мощность - (макс. 15 кВт), номинальная - 5 кВт, скорость ветра - от 3 м/с до 40 м/с. без остановок, напряжение - 380/200 В, число лопастей - 2, размеры лопасти - нижняя хорда 1 м, верхняя хорда - 0,5 м радиус лопасти - 1,8 м, число опор - 2 (пространственные конструкции), высота - 2,4м, высота вала над грунтом - 2,4м,ориентация по ветру - за счет флюгерных эффектов лопастей и 4 плоских опор (без специальных механизмов), угол атаки лопастей - 8градусов.



ВЭУ «Казканат»
д.т.н.Камбарова М.Н.

В Национальной научной лаборатории при ВКГУ имени С. Аманжолова к.ф.-м.н. Жилкашиновой А. М.разработан, изготовлен и введен в эксплуатацию опытный образец парусного ветрогенератора мощностью 5,5 кВт с горизонтальной осью вращения в трехфазном исполнении, напряжением 380 вольт. Опытный образец установлен на учебно-научно-производственной базе ВКГУ «Сибины».

Технические характеристики: мощность – 2 кВт; высота ветроустановки – 4 м; диаметр ветроколеса – 2,5 м; количество парусов – 8; генератор – асинхронный; мультипликатор шестеренчатый прямозубый– 1:40; ветер страгивания с нагрузкой – 2 м/с[10].



Парусная ВЭУ к.ф.-
м.н.Жилкашиновой А.М.

Все разрабатываемые в Казахстане виды МВЭУ имеют право на реализацию, т.к. у каждого из них свой сектор потребителей или регион использования. Цена на энергию постоянно растет, а население, особенно сельское, не может позволить себе большие расходы: на одну казахстанскую семью приходится в среднем не более 5 кВт/часов в сутки, в то время как западный житель сегодня может потратить в 10 раз больше – 55 кВт/часов в сутки! И это при том, что республика находится в зоне с высокими запасами ветроэнергетики и солнечной активности. Чабаны потребляют и того меньше. Они и их семьи вынуждены больше заниматься ручным трудом, по старинке поить скот водой, добытой из колодца.

В 2004-2011г.г. осуществлялся проект ПРООН «Казахстан-инициатива развития рынка ветроэнергетики». Он связан с мониторингом ветрового потенциала в регионах и подготовкой соответствующих ТЭО по установке в 10 наиболее перспективных районах РК средней и большой мощности для выработки промышленного тока и передачи его в энергосеть.

О производстве больших ветряков в РК в полном объеме в ближайшие 5-10 лет говорить затруднительно, так как это связано с большими проблемами. Поэтому имело бы смысл для начала заняться ветряками малой мощности. Конкретный потребитель, например, из села

Репозиторий КарГУ

или пригородных районов больше нуждается в собственном источнике энергии. Это тем более осуществимо, так как для производства МВЭУ в РК имеются элементы правовой базы и другие возможности, требующие вложения ресурсов и усилий.

Наш опыт позволяет выявить те затруднения и проблемы, которые мешают быстрому доведению теоретической разработки (идеи) до выпуска конечной продукции на заводе:

1. Отсутствие у производственников стимулов поддерживать НИОКР.
2. Отсутствие рынкаМВЭУ и нехватка квалифицированных специалистов.
3. Основные результаты получены благодаря энтузиазму отдельных учёных.
4. Разобщенность авторов, создающих ветроагрегаты, отсутствие общей программы.
5. Не развитая научно-техническая и технологическая база для создания ВЭУ.

Совсем недавно в стране наметились серьезные подвижки в этом направлении.

Программы ГПФИИР, «Зеленый мост», «Экспо-2017» дают основу для развития малой ветроэнергетики в стране. Поэтому рекомендуем следующее:

1. В регионах страны создать научно-производственные лаборатории по МВЭУ.

2. Содействовать организации опытно-производственных и технологических участков, связанных с разработкой и созданием узлов для МВЭУ, в том числе из перспективных композиционных материалов (стеклопластик).

3. Проработать вопросы подготовки кадров, трансферта технологий.

4. Организовать мероприятия по формированию элементов рынка в области ВИЭ.

5. Создать в РК программу развития МВЭУ и координирующую структуру.

Таким образом, в стране создан широкий спектр самых разнообразных конструкций и типов опытных образцов и моделей МВЭУ, которые требуют этапа доводки до конкурентоспособного уровня для выхода на серийное производство.

Литературы:

1. Абыкаев Н.А., Кузнецов О.Л., Бертурганов Н.С., Спицын А.Т., Зейнуллин А.А., Шеулин А.С.К вопросу о концепции устойчивой энергетики будущего Казахстана до 2050г. //Вестник «КазНАЕН». -№2, Астана, 2013г., с.5-34.

2. https://eenergy.media/2019/06/17/vetroenergetika-kazahstana-vchera-segodnya-zavtra/

3. https://www.korem.kz/rus/press-centr/novosti_kompanii/?cid=0&rid=8608

4. Кусаинов К.К. Патент на полезную модель от НИИС РК «Ветровая энергетическая установка» № 802, согласно заявке № 2011/091.2.

5. Предварительный патент №19114 РК, F03D 3/06 (2006/01). Ветротурбина Бидарье /Ершина А.К., Ершин Ш.А. - № 2006/0166.1; заявлен.15.02.2006; опубл. 15.02.2008, бюл. №2.

6. Болотов А.В. «Энергия инновационного развития» // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. -2011.-№3. –С.79-86.

7. Кунакбаев Т., Отелбаев М. Свидетельствоо государственной регистрации прав на объект авторского права № 183 «Компактная ветроэлектростанция на базе карусельных ветротурбин типа Дарье и Савониус» от 01.02.2011г. МОН РК.

8. Mobile composite wind power plant with diffuser. BaishagirovKh.Zh.,Karimbaev T.D., Omarov B.M // First International Scientific Conference Alternative Energy Sources, Materials and Technologies (AESMT-2018), Plovdiv, Bulgaria (14-15 мая 2018г), С. 37 (Статьянарецензии Thomson Reuters).

9. Создание технического прототипа композиционной ветроэнергетической установки с диффузором (ВЭУД): отчет о НИОКР. Рук. Байшагиров Х. Ж. /КГУ им. Ш. Уалиханова МОН РК. - Кокшетау, 2018 г.- 60 с.- ГР 0118РК00949.

10. Жилкашинова А.М, Жилкашинов Р. Разработка эффективного парусного ветрогенератора мощностью 5,5 кВт // Региональный Вестник Востока. - №2(50).- 2011.

Репозиторий КарГУ

1-ШІ СЕКЦИЯ. *АСТРОФИЗИКАДАҒЫ, БЕЙСЫЗЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ДИНАМИКАЛЫҚ ХАОС ЖӘНЕ ӨЗІН-ӨЗІ ҰЙЫМДАСТЫРУ*

SECTION 1: *DYNAMICAL CHAOS AND SELFORGANIZATION IN NONLINEAR SYSTEMS, IN ASTROPHYSICS*

СЕКЦИЯ 1: *ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС И САМООРГАНИЗАЦИЯ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ, В АСТРОФИЗИКЕ*

Репозиторий КарГУ

З.Ж. Жанабаев, А.Ж. Турмухамбетов, А.Т. Агишев, Н.М. Усипов
Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, 050040, Казахстан. e-mail: aldiyar.agishev@gmail.com

Универсальный скейлинг скоплений галактик в расширяющейся вселенной

Введение

Недавние обзоры распределения галактик в местной группе [1] и на космологических масштабах [2] показали неоднородность распределения в пространстве, расширяющейся Вселенной с ускорением. Как указывается в работах [3,4] такое распределение может иметь масштабно-инвариантную, фрактальную структурность с размерностью в пределах *D=2.1-2.8*. Целью настоящей работы является поиск установления универсальной закономерности фрактального распределения галактик.

1. Корреляционные фрактальные размерности галактик

Для определения фрактальной размерности подобных распределений нами были рассчитаны корреляционные размерности по формулам:

$$\mathrm{D} = \lim_{\delta\to 0} \frac{\log \mathrm{C}(\delta)}{\log \delta}, \quad \mathrm{C}(\delta) = \lim_{\mathrm{N}\to\infty} \frac{1}{\mathrm{N}^2} \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{N}} \theta\left(\delta - \left[\mathrm{x_i} - \mathrm{x_j}\right]\right), \tag{1}$$

где

δ – масштаб измерения,

$C(\delta)$ – корреляционный интеграл,

N – число точек множества,

$\left[\mathrm{x_i} - \mathrm{x_j}\right]$ – расстояние между двумя парами точек, $(i \neq j)$, $\theta(f)$ – функция Хевисайда. $\theta(f) = 1$ при $f > 0$ и $\theta(f) = 0$ при $f < 0$. Ниже приведены результаты анализа распределения галактик, полученных по красным смещениям.

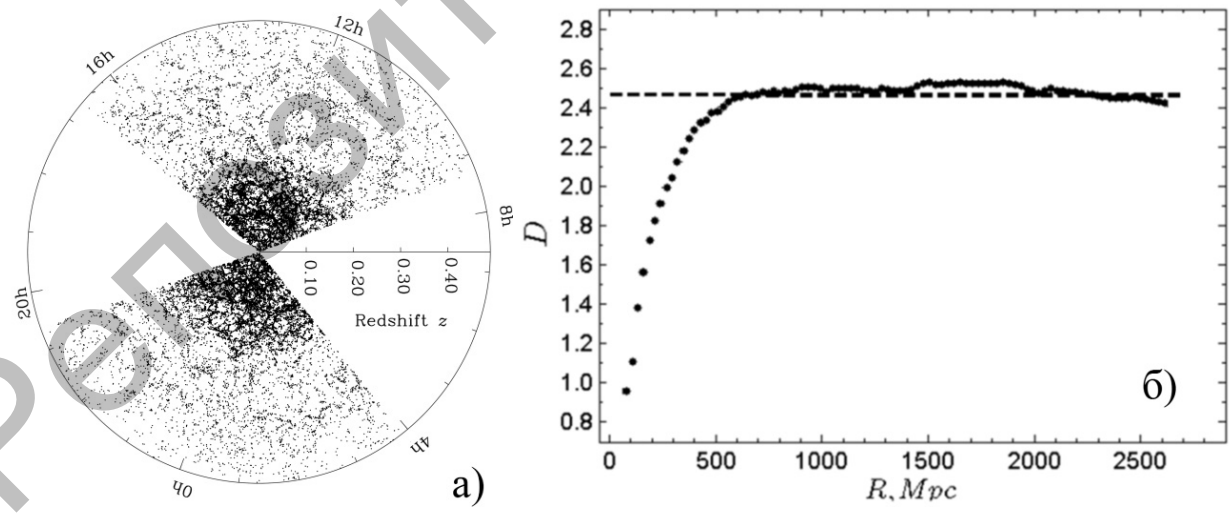


Рисунок 1. а) Изображение распределения галактик по красным смещениям согласно каталогу SDSS [2], б) Корреляционная размерность D множества галактик с большим количеством элементов $N = 1.8 \cdot 10^6$. Пространственный шаг задан в интервале $10^{-6} \div 10^{-3}$. Точки получены для интервалов расстояния $\Delta R = 28{,}3\ Mpc$.

Репозиторий КарГУ

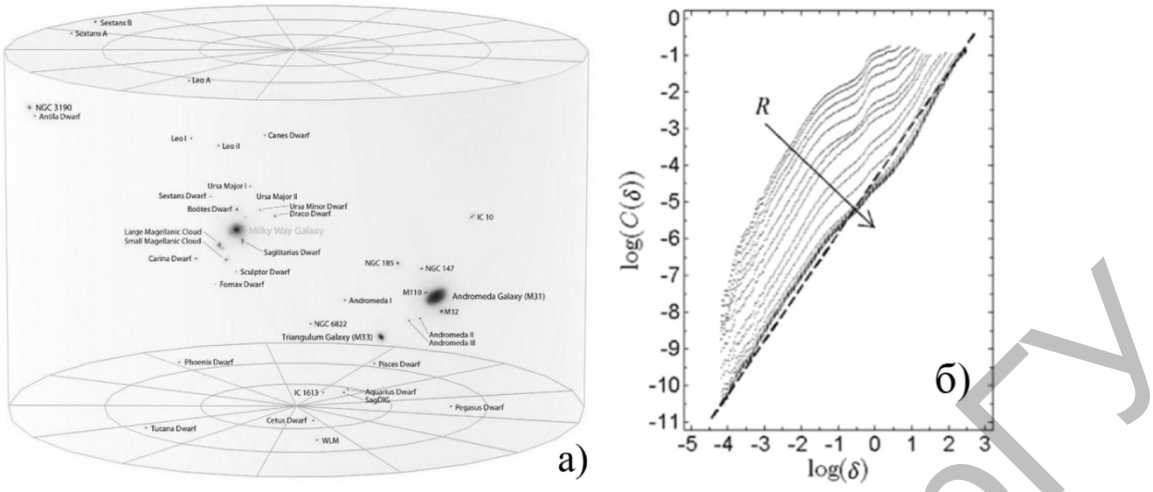


Рисунок 2. а) Изображение распределения галактик местной группы [1]. **б)** Зависимость корреляционного интеграла от масштаба измерения по данным каталога [1], которая имеет предельное поведение в виде штриховой линии $log\big(C(\delta)\big) = D * log(\delta)$, где D совпадает с размерностью $D = \log 5 / \log 3\,,\ d = 1,\ \gamma = 0.4649$ в интервале расстояний $0 < \Delta R \leq 25\ Mpc$, выбранном из требования гравитационно-волновой природы для ΔR и ΔH – точности определения постоянной Хаббла.

Выбор указанных каталогов связан с тем, что на данный момент они являются краевыми в задачах космологии. Каталог [1] включает обзор «Местной группы галактик», в которой, как отмечается в работе [5] влияние антигравитации минимально и возможно выделить расстояние «нулевой гравитации». Такой эффект достигается за счет равновесия в силах антитяготения и гравитации галактик друг к другу.

Данные результаты показывают существование универсального показателя скейлинга $\gamma = D - d = 0.4649$ (d – топологическая размерность) и возможной фрактальной природе распределения галактик, в пространстве расширяющейся Вселенной с ускорением.

2. Теоретическая основа наблюдаемого универсального скейлинга

Существует геометрическая модель фрактала со значением $\gamma = 0.4649$. Этот фрактал (Рис. 3), названный анизотропным, был предложен одним из авторов настоящей работы [6] для описания турбулентности в пограничном слое. Позже [7] было экспериментально теоретически показано, что фрактальная антенна, построенная именно на фрактале с размерностью $D = d + \gamma$ ($D = \log 5 / \log 3\,,\ d = 1,\ \gamma = 0.4649$) обладает наилучшими электро-динамическими, информационно-энтропийными характеристиками

На расстояниях вблизи нулевой гравитации ($R \approx R_*$) значения координат галактик $X(R)$ в радиальном направлении достигает максимума с ростом номера предфрактала (порядка иерархии фрактала). Хаусдорфова локальная размерность анизотропного фрактала $D = \ln 5 / \ln 3 = 1.4649$. Известны другие фракталы (Koch, Vicsek [8]) с такой же размерностью D, не зависящей от n, однако их топология не отражает специфику радиального расширения. Дело в том, что размерность D множества иерархий анизотропного фрактала зависит от n. Только при правильном выборе ΔR в одном направлении, следует ожидать $\gamma = 0{,}465$. Используемая нами модель в виде анизотропного фрактала является более подходящей к рассматриваемой задаче.

С другой стороны, можно получить результат $\gamma = 0.4649$ как отклонение от критерия информационного самоподобия $I_1=0.567$ [9] вызванного тем, что параметр неоднородности $q \to 0$ по статистике Цаллиса учитывается по формуле (2).

Репозиторий КарГУ

$$I_{1q,i+1} = \left(1 - (q-1)I_{1,i}\right)^{\frac{2-q}{q-1}} \quad (2)$$

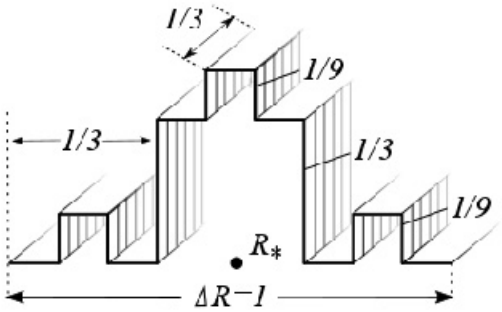


Рисунок 3. Анизотропный фрактал 2-го поколения ($n = 2$), у которого линии в одном направлении (в вертикальном) не деформируются. В изотропном пространстве в интервалах $R_* \pm \Delta R/2$ имеем фрактальные возмущения $X(R) > R$ в направлении по R. Значения $X(R)$ определяются высотой элементов n – предфракталов. Принято $\Delta R = 1$.

В статистике Цаллиса используется функция $\exp_q(x)$, которая при $q \to 1$ стремится к обычной экспоненте. При $q \to 0$ самоподобное значение нормированной энтропии стремится к единице, а самоподобная информация – к значению $I_1 \to \gamma = 0.4649$. Тем самым скейлинг $\gamma = 0.4649$ есть предельный случай масштабной инвариантности в динамике хаотических систем.

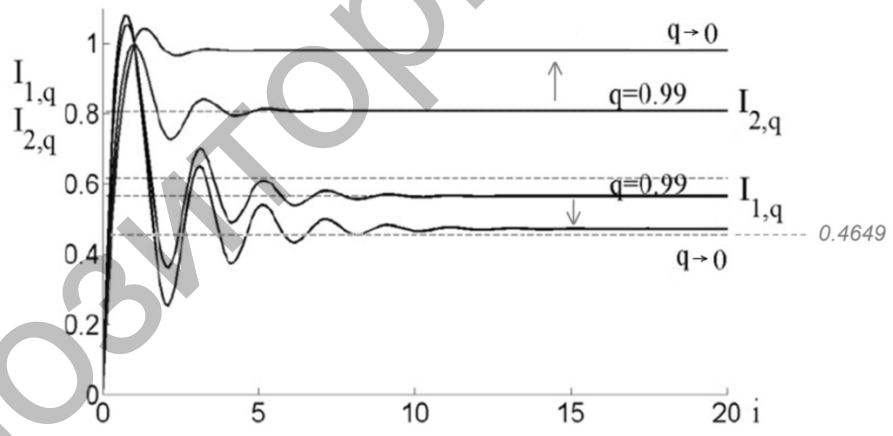


Рисунок 4. Диаграмма эволюции информации I_1 и энтропии I_2 при различных значениях параметра неоднородности q согласно теории по работе [9]

3. Нелинейная геометрическая модель распределения галактик

Описание структуры Вселенной дробными размерностями предложено еще в работах Б. Мандельброта – одного из основателей фрактальной геометрии. Однако для более детального адекватного описания космологических наблюдений оказались нужными новые понятия фрактальной геометрии.

Из-за флуктуаций космической материи, гравитационного взаимодействия галактик возникают локальные неоднородности – скучивание (кластеризация) галактик. По этой причине существуют расстояния R_* от барицентра кластера до его границы с нулевой гравитацией. Распределение галактик вокруг R_* будет, очевидно, неравномерным. Мы будем

Репозиторий КарГУ

пользоваться также наблюдаемым в природе важным фактом фрактальности геометрии кластеров – подобия галактик малых и больших масштабов.

При выборе малого значения $\Delta R = |R - R_*|$ фрактальная мера – расстояние $X(R, R_*)$ будет всегда больше, чем регулярная мера – координата R. Следовательно, скорость изменения $X(R, R_*)$ по R может возрастать с ростом R, что соответствует ускоренному расширению Вселенной. Подходящую геометрическую закономерность распределения галактик можно искать в виде структурно – самоподобных (масштабно – инвариантных), фрактальных закономерностей.

Известные теории фракталов предполагают независимый выбор масштаба измерения меры (аддитивной геометрической, физической величины) от величины самой определяемой меры. Вблизи критических значений, например, при $R \approx R_*$ мера сильно меняется, необходимо учесть указанную зависимость. Используя формулу Хаусдорфа фрактальную длину $X(R)$ определим в виде:

$$X(R) = R\left(\frac{\Delta X}{R_*}\right)^d \cdot \left(\frac{\Delta X}{R_*}\right)^{-D} = R\left(\left|1 - \frac{X}{R_*}\right|\right)^{-\gamma}, \Delta X = |X - R_*|, \gamma = D - d, \quad (3)$$

где d – топологическая, D – фрактальная размерность $X(R)$.

Метрика пространства нелинейно зависит от распределения материи (через свободный параметр R_*). С ростом параметров γ, R_* значения $X_{i+1}(R)$ хаотизируются (рис. 6а). Формула (3) может быть записана в трехмерном виде для координат *X, Y, Z:*

$$\begin{aligned} X(R) &= R\left(\left|1 - \frac{Y}{R_*}\right|\right)^{-\gamma}, \\ Y(R) &= R\left(\left|1 - \frac{Z}{R_*}\right|\right)^{-\gamma}, \\ Z(R) &= R\left(\left|1 - \frac{X}{R_*}\right|\right)^{-\gamma}. \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, можно анализировать трехмерную картину расширения Вселенной (Рис. 6 б).

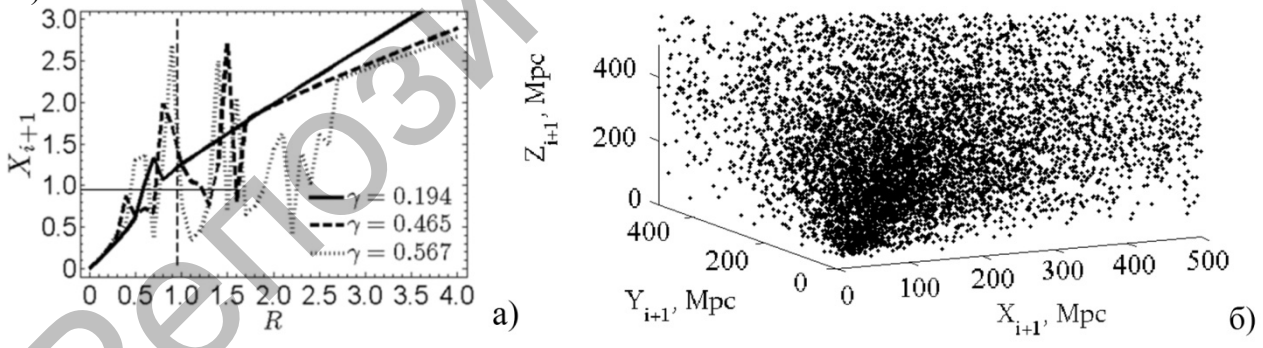


Рисунок 6. а) хаотизация значений $X_{i+1}(R)$ с ростом показателя скейлинга (γ) при $R_* = 0{,}96$, число итераций отображения для решения (3) равно 10^3; **б)** хаотическая картина распределения галактик в трехмерной системе согласно (4) при $\gamma = 0{,}4649$, $R_* = 50 \div 250$.

Отметим, что принятые в этом разделе теоретические положения соответствуют космологическим наблюдениям.

Заключение

Вокруг галактических образований в пространстве с нулевой гравитацией галактики двигаются хаотически, их положения образуют фрактальное множество с размерностью

Репозиторий КарГУ

близкой к $D = 2.4649$ в глобальном масштабе. Образование кластеров (скучивание) и их возможное фрактальное строение являются известным фундаментальным результатом физики открытых систем. Фрактальная размерность множества галактик в группах, кластерах, скоплениях соответственно возрастает и устанавливается универсальная степенная зависимость с показателем $\gamma = 0{,}4649$. Известные теории фракталов предполагают независимый выбор масштаба измерения меры (аддитивной геометрической, физической величины) от величины самой определяемой меры. Вблизи критических значений, например, на расстоянии нулевой гравитации искомая мера сильно меняется. Мы предложили формулу для фрактальной геометрической меры, зависящей от самой себя, через показатель скейлинга. Этот показатель теоретически обоснован нами и соответствует наблюдаемой структуре множества галактик согласно каталогам [1,2].

Литературы:

1. Karachentsev I. D. et al. A catalog of neighboring galaxies //The Astronomical Journal. – 2004. – Т. 127. – №. 4. – С. 2031.
2. Alam S. et al. The eleventh and twelfth data releases of the Sloan Digital Sky Survey: final data from SDSS-III //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2015. – Т. 219. – №. 1. – С. 12.
3. Maeder A. An alternative to the ΛCDM model: the case of scale invariance //The Astrophysical Journal. – 2017. – Т. 834. – №. 2. – С. 194.
4. Byrd G. et al. Paths to dark energy: theory and observation. – Walter de Gruyter, 2012. – Т. 2.
5. Chernin A. D. Dark energy and universal antigravitation //Physics-Uspekhi. – 2008. – Т. 51. – №. 3. – С. 253.
6. Жанабаев З. Ж. Фрактальная модель турбулентности в струе //Изв. СО АН СССР. Серия техн. наук. – 1988. – №. 4. – С. 57-60.
7. Zhanabaev Z. Z. et al. Electrodynamic characteristics of wire dipole antennas based on fractal curves //Journal of Engineering Science and Technology. – 2019. – Т. 14. – №. 1. – С. 305-320.
8. Feder J. Fractals. – Springer Science & Business Media, 2013.
9. Zhanabaev Z.Z., Kozhagulov Y.T., Khokhlov S.A. Scale invariance criteria of dynamical chaos //International Journal of Mathematics and Physics. – 2013. – Vol. 4, № 2. – P. 29-37

Е.А. Малков[1], А.А. Беков[2], С.Б. Момынов[2], И.Б. Бекмухамедов[2], И.С. Орынқұл[3]
[1]Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск, Россия, [2]Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, [3]КГКП «Алматинский колледж моды и дизайна», Алматы, Казахстан
e-mail: momynov_serzhan@mail.ru

Сечения пуанкаре потенциала хенона-хейлеса

Интерес к существованию третьего интеграла движения для звезд, движущихся в потенциале галактики, возродился еще в конце 50-х и начале 60-х годов прошлого столетия. Первоначально предполагалось, что потенциал имеет симметрию и не зависит от времени, поэтому в цилиндрических координатах (r, θ, z) это будет только функция от r и z. Должны существовать пять интегралов движения, постоянных для шестимерного фазового пространства. Однако интегралы могут быть либо изолирующими, либо неизолирующими. Неизолирующие интегралы обычно заполняют все доступные фазовые пространства и не ограничивают орбиту.

К тому времени, когда Хенон и Хейлес написали свою пионерскую статью, были только два известных интеграла движения: полная орбитальная энергия и угловой момент на единицу массы звезды. Легко показать, что по крайней мере два интеграла неизолируются. Предполагалось также, что третий интеграл также был неизолирован, потому что до сих пор не найдено никакого аналитического решения. Тем не менее наблюдения звезд вблизи

Репозиторий КарГУ

Солнца, а также численные вычисления орбит в некоторых случаях вели себя так, как если бы они подчинялись трем изолирующим интегралам движения.

Хенон и Хейлес попытались выяснить, могут ли они найти какое-либо реальное доказательство того, что должен существовать третий изолирующий интеграл движения. Проводя численные вычисления, они не слишком усложняли астрономический смысл проблемы; они требовали только, чтобы исследованный ими потенциал был аксиально-симметричным. Авторы также предположили, что движение было привязано к плоскости и перешло в декартово фазовое пространство (x, y, $\dot{x}$,$\dot{y}$). После некоторых испытаний им удалось найти действительный потенциал. Этот потенциал аналитически прост, так что орбиты можно вычислить довольно легко, но он все еще достаточно сложный, так что типы орбит нетривиальны. Этот потенциал теперь известен как потенциал Хенона и Хейлеса [1-3].

Потенциал Хенона-Хейлеса, несомненно, является одним из самых простых, классических и характерных примеров открытых гамильтоновых систем с двумя степенями свободы. На выше сказанную тему было посвящено большое количество исследований ученых [4-10].

Потенциал системы Хенона-Хейлеса определяется формулой:

$$U(x,y)=\frac{1}{2}(x^2+y^2+2x^2y-\frac{2}{3}y^3) \qquad (1)$$

В уравнении (1) видно, что потенциал фактически состоит из двух гармонических осцилляторов, которые были связаны возмущающими членами $x^2y-\frac{1}{3}y^3$.

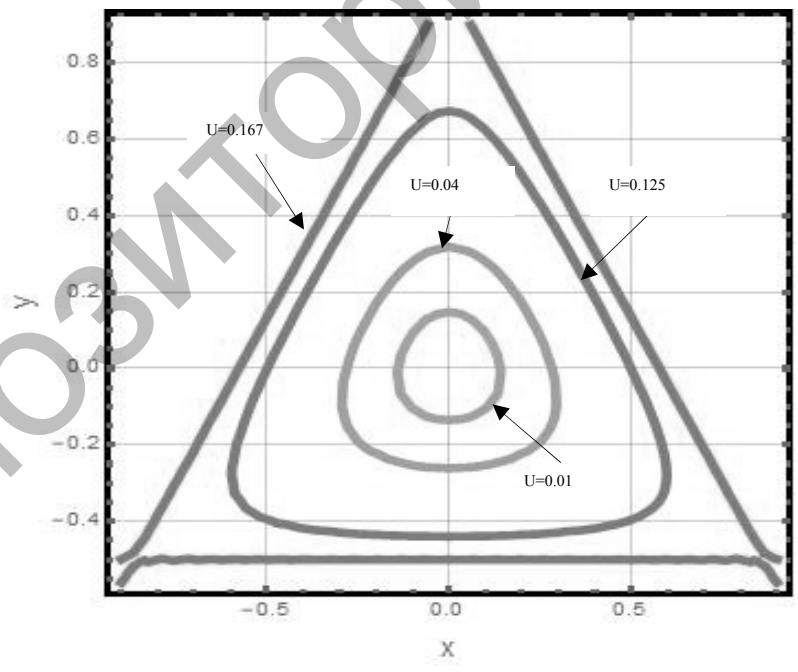


Рисунок 1 – Замкнутые эквипотенциальные кривые для модели Хенона-Хейлеса при различных значениях U.

Основными уравнениями движения для пробной частицы с единичной массой $(m=1)$ являются:

Репозиторий КарГУ

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\dfrac{\partial U}{\partial x} = -x - 2xy \\ \ddot{y} = -\dfrac{\partial U}{\partial y} = -y - x^2 + y^2 \end{cases} \quad (2)$$

Следовательно, гамильтониан системы (1) имеет вид:

$$H = \frac{1}{2}\left(\dot{x}^2 + \dot{y}^2\right) + \frac{1}{2}\left(x^2 + y^2\right) + x^2 y - \frac{1}{3}y^3 = h, \quad (3)$$

где $\dot{x}$ и $\dot{y}$ - импульсы на единицу массы, x и y – координаты системы; численное значение гамильтониана, которое сохраняется. Видно, что гамильтониан $h > 0$ симметричен относительно $x \to -x$, а H также проявляет симметрию вращения при $2\pi / 3$.

Ниже приведены зависимости координат от функций по времени для систем уравнений (2).

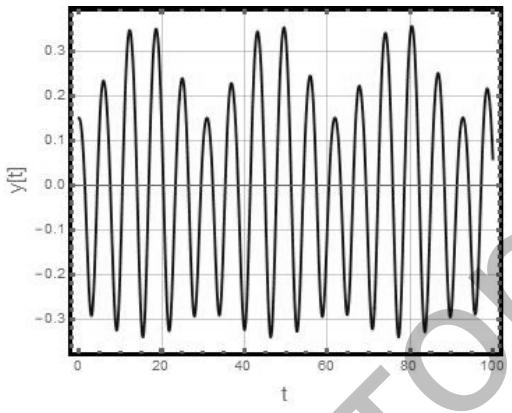


Рисунок 2 – Зависимость функции y от времени.

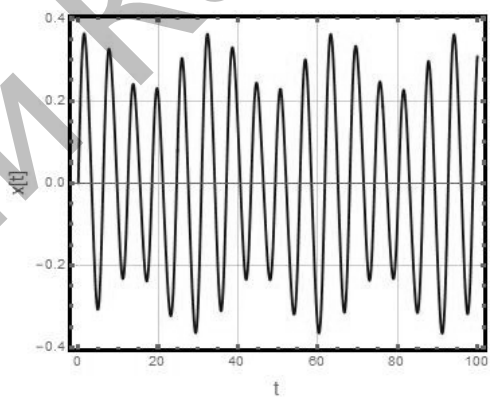


Рисунок 3 – Зависимость функции x от времени.

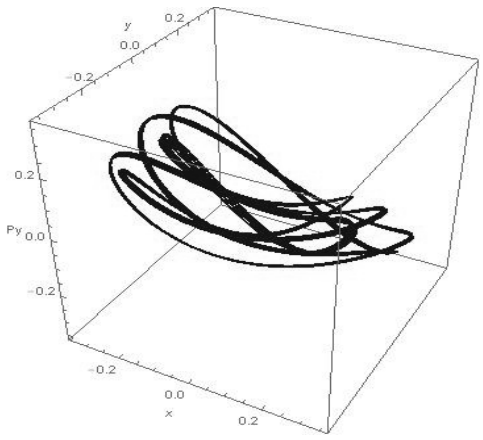


Рисунок 4 – Эволюционные траектории функций x, y, Py.

Для исследования системы Хенона-Хейлеса используется метод сечения Пуанкаре. Достоинства данного метода особенно проявляются, когда рассматриваются нелинейные

Репозиторий КарГУ

системы, для которых точные решения неизвестны. В этом случае фазовые траектории рассчитываются численными методами.

Для решения систем уравнений (2) выбираются граничные условия так, чтобы они удовлетворяли уравнение (3). Далее системы уравнения (2) решаются на основе метода Рунге – Кутты. Для построения сечения Пуанкаре выбираются те значения, которые пересекают плоскость $x=0$. Ниже представлены сечения Пуанкаре для систем Хенона-Хейлеса при разных значениях энергии: $E=1/12$, $E=1/8$, $E=1/6$. С увеличением энергии структура сечений разрушается. Полученные результаты согласуются с другими авторами[1,2].

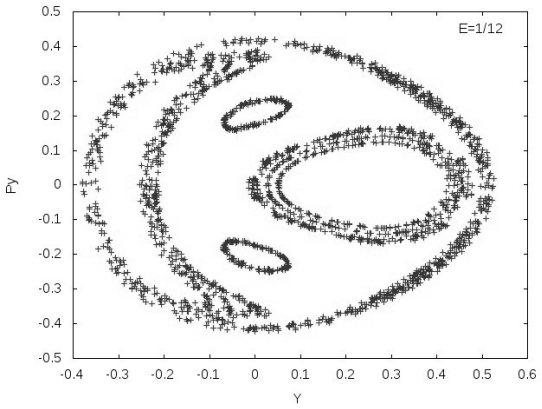


Рисунок 5 – Сечение Пуанкаре при $E=1/12$.

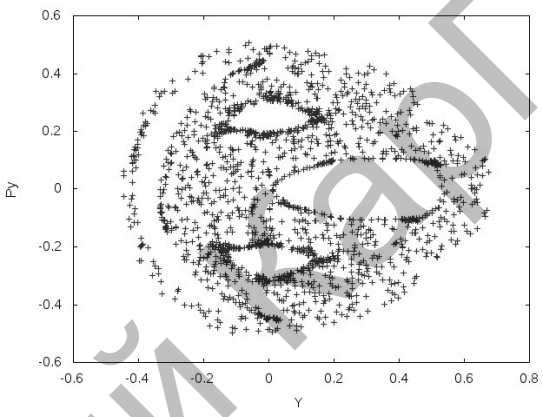


Рисунок 6 – Сечение Пуанкаре при $E=1/8$.

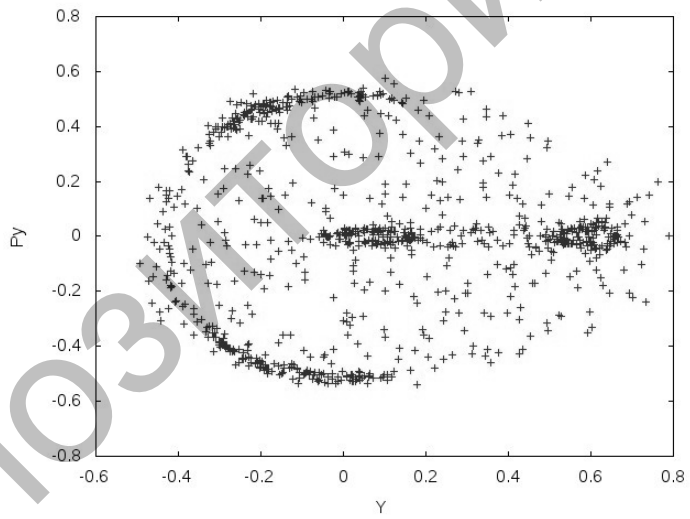


Рисунок 7 – Сечение Пуанкаре при $E=1/6$.

Таким образом, результаты, полученные численным методом, определяют колебания для модели Хенона-Хейлеса и служат основой для сравнительного анализа при определении аналитического отображения.

Литературы:

1. Лихтенберг А., Либерман М. Регулярная и стохастическая динамика. М:Мир, 1985- 529с.
2. Euaggelos E. Zotos Classifying orbits in the classical Henon-Heiles Hamiltoninan system. arXiv:1502.02510v1 [nlin.CD] 9 Feb 2015.
3. Вернов С. Ю., Построение решений обобщенной системы Хенона–Хейлеса с помощью теста Пенлеве, ТМФ, 2003, том 135, № 3, 409–419

Репозиторий КарГУ

4. Omarov Ch. T. and Malkov E. A. Chaotic Behavior of Oscillations of Self-Gravitating Spheroid Order and Chaos in Stellar and Planetary Systems ASP Conference Series, Vol. 316, 2004.

5. Euaggelos E. Zotos, A. Riaño-Doncel, F. L. Dubeibe Basins of convergence of equilibrium points in the generalized Henon-Heiles system arXiv:1803.07398v1 [nlin.CD] 20 Mar 2018

6. Euaggelos E.Zotos An overview of the escape dynamics in the Henon-Heiles Hamiltonian system arXiv:1709.04360v2 [nlin.CD] 14 Sep 2017

7. Aguirre J., Vallejo J.C., Sanjuan M.A.F. Wada basins and chaotic invariant sets in the Henon-Heiles system. Phys. Rev E 64, 066208-1-11 (2001)

8. Aguirre J., Sanjuan M.A.F. Limits of small exits in open Hamiltonian systems. Phys. Rev E **67**, 056201-1-7 (2003)

9. Aguirre J., Vallejo J.C., Sanjuan M.A.F. Wada basins and unpredictability in Hamiltonian and dissipative systems. Int. J. Mod. Phys. B **17**, 4171-4175 (2003)

10. Aguirre J., Viana R.L., Sanjuan M.A.F. Fractal structures in nonlinear dynamics. Rev. Mod. Phys. 81, 333-386 (2009)

А.А. Потапов, А.А. Пахомов, А.А. Потапов (мл.), В.А. Потапов
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия, potapov@cplire.ru

Обработка оптических текстурных снимков поверхности марса кепстральными фрактально - топологическими методами

Введение

Задача улучшения качества оптических изображений объектов, полученных при наличии искажений, обусловленных влиянием среды распространения и излучения, остается актуальной в области астрономии, управления транспортом и летательными аппаратами, а также, естественно, в воздушно-космических задачах (в частности, обнаружение и селекция целей). Отметим также, что в последние годы в научных кругах и средствах массовой информации заметно возрос интерес к такой малоизученной и полной загадок планете как Марс. Анализируются возможности создания на поверхности Марса поселений для добычи полезных ископаемых. Аналогичные гипотезы и программы также обсуждаются в отношения Луны. В связи с этим, авторы решили еще раз вернуться в недалекое прошлое, когда Марс активно исследовался. И с помощью собственных методов обработки изображений, искаженных неизвестной атмосферой, авторы попытаются детально восстановить наиболее интересные участки планеты.

Математическая постановка задачи

При регистрации оптического изображения расположенного на значительном удалении от фотоприемника или фотокамеры неизбежно сказывается искажающее влияние среды распространения принимаемого излучения. Поэтому общая постановка задачи обработки или восстановления кадра изображения сводится к решению уравнения свертки с двумя неизвестными, после частичного или полного устранения аддитивного фона [1-7]:

$$i(\vec{x}) = \int o(\vec{r})h(\vec{x} - \vec{r})d\vec{r}\ , \qquad (1)$$

где $i(\vec{x})$ - регистрируемое изображение, $o(\vec{r})$ - исходное неизвестное изображение неизвестного объекта, $h(\vec{x},\vec{r})$ - неизвестный импульсный отклик оптической системы, формирующей изображение.

Переходя к пространственным спектрам, приходим к выражению:

$$I(\vec{\omega}) = O(\vec{\omega})H(\vec{\omega}) \qquad (2)$$

Репозиторий КарГУ

Понятно, что без использования дополнительной информации данная задача неразрешима. В качестве дополнительной информации авторы использовали финитность и положительность неизвестного изображения $o(\vec{r})$. А также аппроксимировали передаточную функцию гауссоидой с неизвестной дисперсией. При этом рассматривался не непрерывный случай (2) , а дискретный – последетекторная обработка изображения. При этом все сомножители (2) являются двумерными полиномами конечной степени. Учитывая особенности двумерных дискретных полиномов конечной степени и аппарат меры Лебега можно доказать, что уравнение свертки в двумерном дискретном случае почти всегда (в смысле меры Лебега) решается однозначно [2, 5-7].

Практическое решение этой задачи даже при точном знании передаточной функции $H(\vec{\omega})$, где $\vec{\omega}$ - пространственные частоты, представляет собой также непростую задачу и сводится либо к винеровской фильтрации с неизвестным регуляризирующим множителем, либо к тихоновским регуляризирующим фильтрам, содержащим кроме регуляризирующего множителя несколько неизвестных стабилизирующих параметров [3]. Таким образом, возникает потребность в использовании гарантированно и монотонно сходящихся методах решения задачи.

Ответ на этот вопрос дает применение теории множеств и в частности использование операторов проекции на множества функций с заданными свойствами. При решении данной задачи можно использовать множество финитных и множество положительных функций, поскольку предполагается, что изображения имеют конечные размеры и представляют собой распределения интенсивности. При этом очевидно, что данные множества замкнуты.

В общем виде процедура решения подобных некорректных обратных задач сводится к выбору начальной оценки (изображения), проектированию ее на множество финитных функций (учет ограниченности по линейным размерам), проектированию на множество положительных функций (обнуление отрицательных значений) и проектирование на множество функций с заданной информацией о Фурье-спектре.

Согласно известной теореме из функционального анализа (теорема о точке), если всем априорным ограничениям соответствуют выпуклые множества, то подобная процедура монотонно сходится к единственному истинному решению [4-7]. На практике при создании алгоритмов обработке из-за неизбежных ошибок округления, определения размеров изображения, наличия шумов и т.д., процедура восстановления сходится в некую окрестность, охватывающую выбранную точку и лежащую на пересечении выпуклых множеств. С точки зрения восстановления изображения при применении данного подхода и при наличии шумов в итоге будет получено множество изображений очень похожих на истинное, но отличающихся от него небольшими флуктуациями интенсивности, находящимися в пределах дисперсии шума. Внешний же контур изображения почти не отличается от истинного, т.е. восстанавливается намного точнее, чем распределение интенсивности изображения.

Возвращаясь к исходной задаче (2) с точки зрения описанной теории, легко показать, что множество положительных и финитных функции выпуклы [4-7]. В то же время множество функции (2) с заданным произведением спектров представляют собой гиперболу, т.е. невыпуклое и незамкнутое множество. На первый взгляд, кажется, что теория проекций в этом случае неприменима. Однако описанная трудность вполне преодолима, если вспомнить методы кепстральной обработки сигналов и изображений, которые сводятся к переходу от самих комплексных спектров к их логарифмам. Фурье-спектры можно записать в виде:

$$I(\vec{\omega}) = \left|I(\vec{\omega})\right| \exp\{i \arg I(\vec{\omega})\} = \left|I(\vec{\omega})\right| \exp\{i\varphi_I(\vec{\omega})\}.$$

Репозиторий КарГУ

Возьмем от обеих частей (2) логарифмы и приравняем отдельно действительные и мнимые части:

$$Ln|I(\vec{\omega})| = Ln|O(\vec{\omega})| + Ln|H(\vec{\omega})| \qquad (3)$$

$$\varphi_I(\vec{\omega}) = \varphi_O(\vec{\omega}) + \varphi_H(\vec{\omega}).$$

Таким образом, из (3) видно, что после логарифмирования множество с заданным произведением превратилось в множество с заданной суммой. Хорошо известно, что множество с заданной суммой это линия, которая является предельным случаем выпуклого множества. Если ввести обозначение: $K_I(\vec{\omega}) = Ln|I(\vec{\omega})| + i\varphi_I(\vec{\omega})$, где $K_I(\vec{\omega})$ - кепстр изображения, то на языке кепстров уравнение (2) запишется в виде суммы:

$$K_I(\vec{\omega}) = K_O(\vec{\omega}) + K_H(\vec{\omega}). \qquad (4)$$

Таким образом, возможность перевода невыпуклого множества (2) в выпуклое множество (4) становится очевидной. Также становится очевидной сходимость метода решения уравнения свертки с использованием кепстральных спектров или кепстральных методов. Стоит отметить, что при моделировании подобной процедуры авторы использовали модифицированные кепстры, связанные со спецификой программы (БПФ); при этом модифицированный кепстр выглядит следующим образом:

$$K_I^M(\vec{\omega}) = Ln\{|I(\vec{\omega})| + c\}\exp i\varphi_I(\vec{\omega}),\ c = 0{,}00001,$$

константа c вызвана неопределенностью значения логарифма при малых значениях аргумента.

Легко видеть, что и для модифицированных кепстров линейность множества с заданной суммой сохраняется, т.е. сходимость метода гарантирована. Неизвестную передаточную функцию $H(\vec{\omega})$ авторы аппроксимировали гауссоидой, также как и ее импульсный отклик, поэтому эта функция является действительной и положительной и не имеет комплексной составляющей, что приводит к ускорению сходимости.

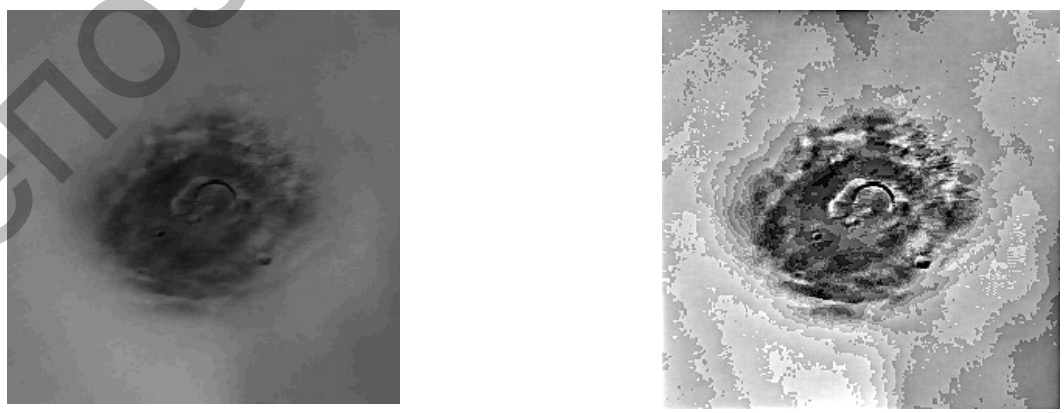


Рисунок 1. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

Репозиторий КарГУ

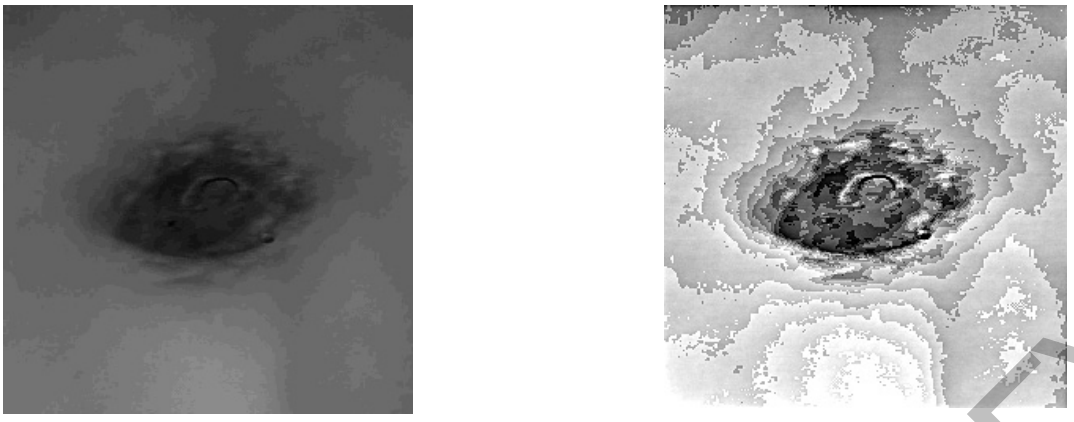


Рисунок 2. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

Рассмотрим характерные примеры. На рис. 1 - рис. 4 приведены результаты обработки Марсианского кратера Olympus Mons. Снимки сделаны космическим аппаратом Маринер в 1976 году. Оценочные размеры кратера - 25 км в высоту и 500 км в поперечнике.

На рис. 5 - рис. 7 приведены результаты обработки фрагментов Марсианского каньона Valles Marineris. Оценочные размеры его таковы: высота 10 км, длина 6000 км, ширина 200 км. Изображения получены в 1976 году аппаратом Викинг.



Рисунок 3. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

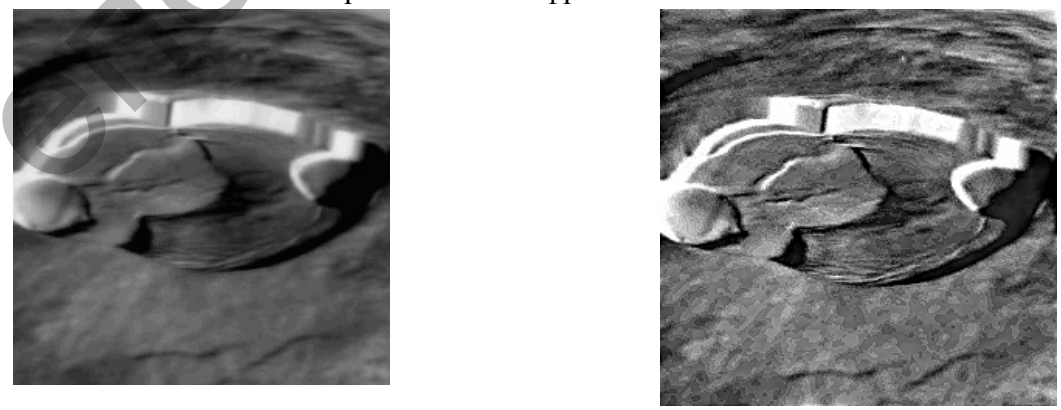


Рисунок 4. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

Репозиторий КарГУ

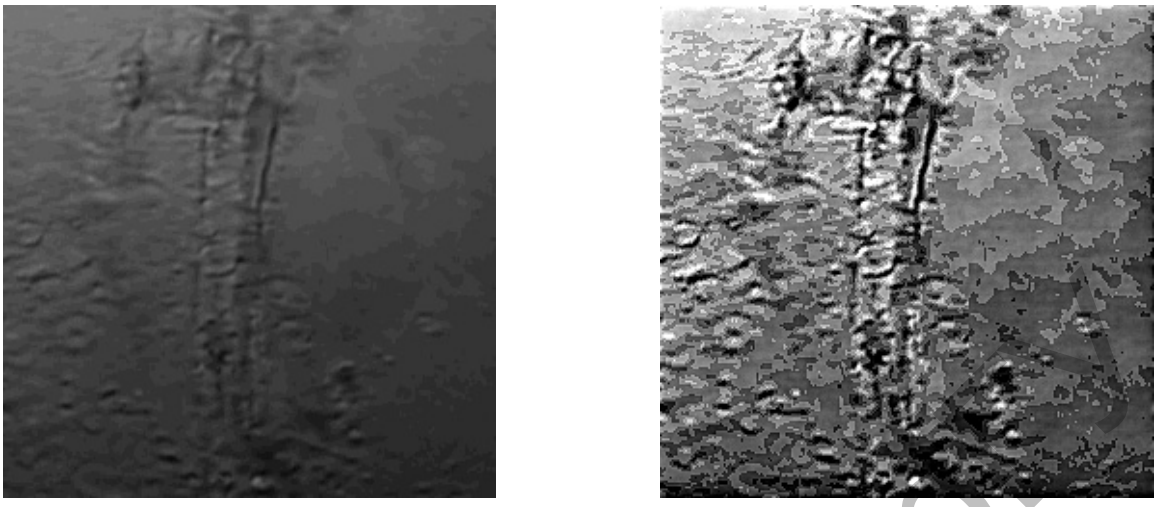


Рисунок 5. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

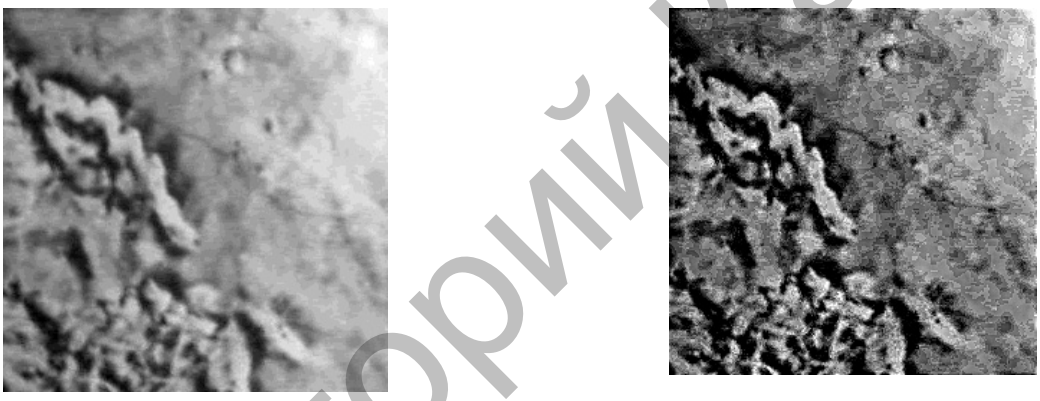


Рисунок 6. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

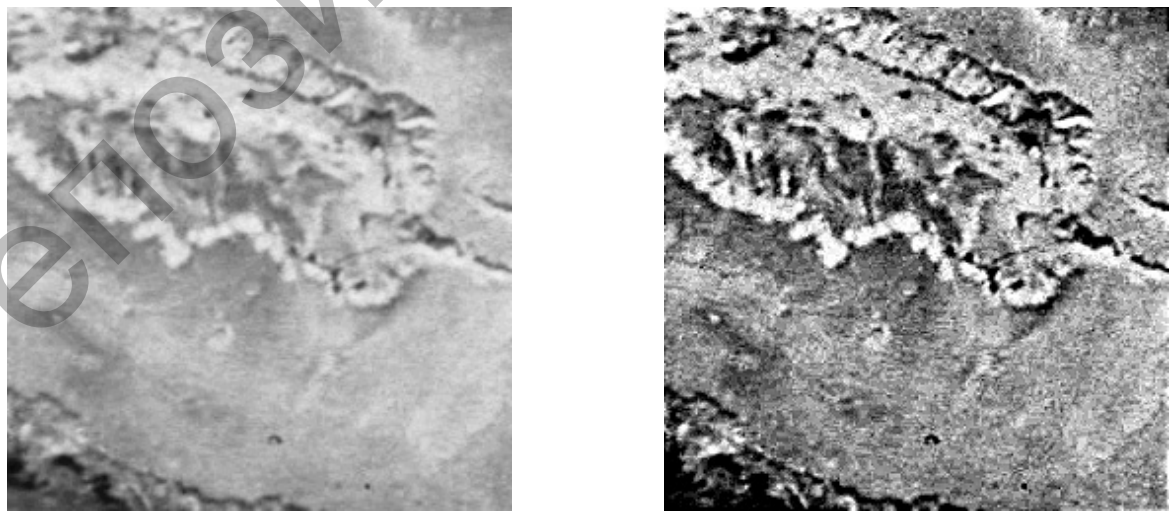


Рисунок 7. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

Репозиторий КарГУ

В качестве выводов, отметим, что приведенные в данной работе наши результаты обработки поверхности Марса наглядно демонстрируют эффективность рассмотренного подхода.

Работа была частично подержана Международным научно-техническим центром (проект № 0847.2, 2000–2005, США), Российским фондом фундаментальных исследований (проекты РФФИ №05-07-90349, 07-07-07005, 07-07-12054, 07-08-00637, 11-07-00203, 18-08-01356-а), а также проектом "Leading Talents" (проект № 00201502, 2016–2020) в Джинанском университете (Гуанджоу, Китай).

Литературы:

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. под ред. Д.С. Лебедева. – М.: Мир, 1982. – Книга 1.– 312 с.; Книга 2.– 480 с.

2. Троицкий И.Н., Устинов Н.Д. Статистическая теория голографии.– М.: Радио и связь,1981.– 327 с.

3. Hayes M.H. Reconstructing multidimensional sequence only from amplitude or phase Fourier-spectrum // IEEE Trans. Acoustic. Speech, Signal, Proc.– 1982.- V. 30.– № 3.– P. 140–152.

4. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений.– М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.

5. Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А.А. Потапова.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.– 496 с. (монография - по гранту РФФИ № 07 – 07 - 07005).

6. Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации.– М.: Логос, 2002.– 664 с.; Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. Изд. 2-е, перераб. и доп.– М.: Университетская книга, 2005.– 848 с.

7. Профессор Александр Алексеевич Потапов. Биобиблиографический указатель / Под ред. академика Ю.В. Гуляева.– М.: 2019.– 256 с. (Одобрено Ученым советом ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН 26.12.2018).

А.А. Потапов, А.А. Пахомов, В.А. Потапов, А.А. Потапов (мл.)
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия, potapov@cplire.ru

Цифровая обработка оптических текстурных снимков поверхности земли

Введение. В целом ряде важнейших отраслей науки и народного хозяйства регистрируемая и наблюдаемая информация обычно искажена влиянием неизвестной среды распространения и шумами регистрирующей аппаратуры [1]. Наиболее сильно этот эффект сказывается в оптике [2]. По характеру основных искажающих изображение факторов ниже мы рассматриваем исключительно атмосферные искажения [3].

Постановка и решение задачи. Задача формулируется, как улучшение визуального качества и разборчивости элементов изображения. Будем решать поставленную задачу с помощью набора фильтров, а также стандартных и модифицированных методов повышения яркости и контрастности [2]. Для устранения импульсного шума авторы использовали медианный фильтр с плавающим окном и линейными размерами от 21 до 7 элементов разрешения. Далее применялся модифицированный метод повышения яркости и контрастности с последующим визуальным просмотром и сравнением исходных и обработанных изображений. При этом коэффициент контрастности выбирался в пределах (0,7 – 0,9). Для значительного повышения качества изображения было достаточно однократного применения упомянутых фильтров.

Приведенные рис. 1 – рис. 4 демонстрируют работоспособность методов обработки, полученных в пассивном режиме наблюдения. Если в практических приложениях

Репозиторий КарГУ

необходима очень быстрая обработка – по мере поступления кадров, то можно ограничиться только модифицированным методом повышения яркости и контрастности.

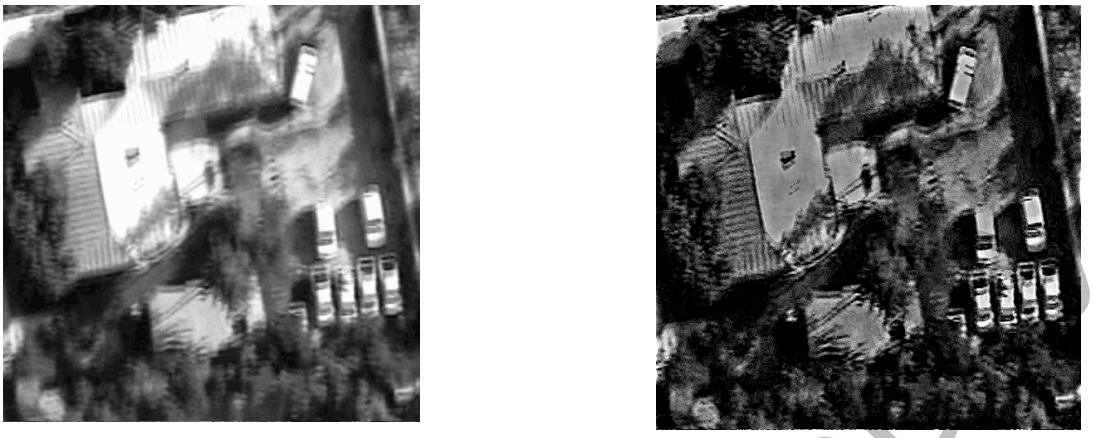


Рисунок 1. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента



Рисунок 2. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

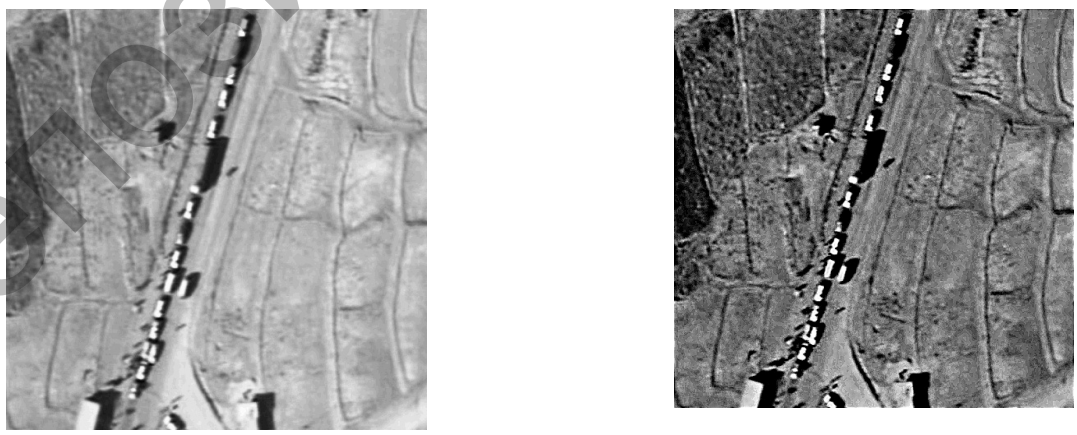


Рисунок 3. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

Репозиторий КарГУ

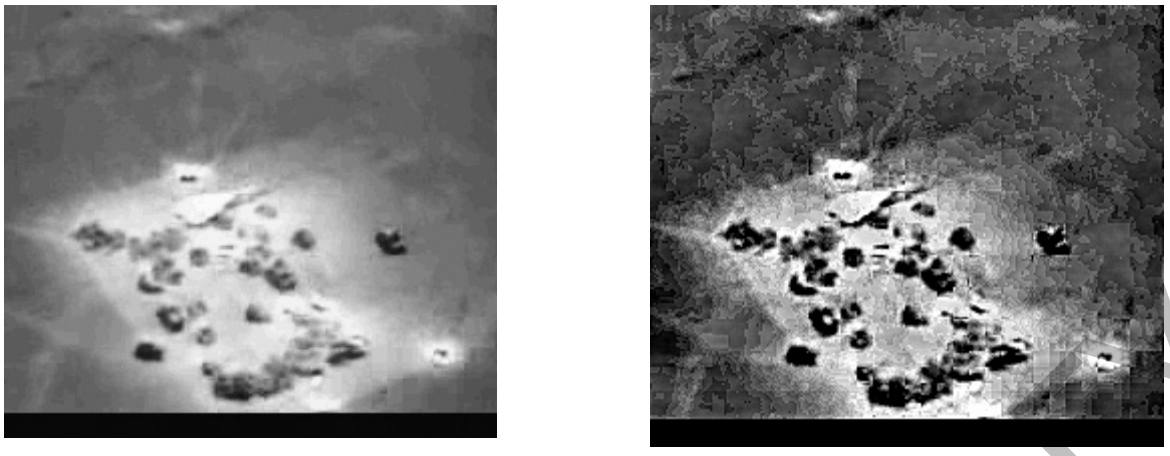


Рисунок 4. Слева - изображение фрагмента исходного снимка, справа - результат обработки этого фрагмента

Заключение.. Приведенные в данной работе результаты обработки различных типов изображений показывают, что описанные выше методики обработки вполне работоспособны и дают хорошее повышение качества и детализации результат обработки этого фрагмента обработанных изображений в пассивном режиме регистрации изображений. Дальнейшие исследования этого подхода предполагаются со значительным расширением фрактально-скейлинговых методов обработки [4, 5].

Работа была частично подержана Международным научно-техническим центром (проект № 0847.2, 2000–2005, США), Российским фондом фундаментальных исследований (проекты РФФИ №05-07-90349, 07-07-07005, 07-07-12054, 07-08-00637, 11-07-00203, 18-08-01356-а), а также проектом "Leading Talents" (проект № 00201502, 2016–2020) в Джинанском университете (Гуанджоу, Китай).

Литературы:

1. *Троицкий И.Н., Устинов Н.Д.* Статистическая теория голографии.– М.: Радио и связь,1981.– 327 с.

2. *Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А.* Новейшие методы обработки изображений / Под ред. *А.А. Потапова*.–М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.– 496 с. (*монография - по гранту РФФИ № 07 – 07 - 07005*).

3. *Пахомов А.А.* Быстрая обработка короткой серии искаженных атмосферой изображений // Радиотехника и электроника, 2007, т. 52, № 10, с. 56 – 59.

4. *Потапов А.А.* Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. Изд. 2-е, перераб. и доп.– М.: Университетская книга, 2005.– 848 с.

5. *Профессор Александр Алексеевич Потапов.* Биобиблиографический указатель / Под ред. академика *Ю.В. Гуляева*.– М.: 2019.– 256 с. (Одобрено Ученым советом ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН 26.12.2018;

A. Temiraliev[a,b], M. Abishev[b], A. Fedosimova[a,b], I. Lebedev[a], Y. Sidorov[b]
[a]*Institute of Physics and Technology, Satbaev University, Almaty, Kazakhstan*
[b]*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*
[*] *Corresponding author: abzal.temir@yandex.kz*

The formation of stable quark-gluon structure in nonlinear dynamics

Perturbative QCD does not describe processes at large distances when the perturbation theory for the expansion in strong coupling constant α_s is not applicable. Consideration of the contribution

Репозиторий КарГУ

to the quark-gluon distribution of gluons bremsstrahlung leads to a violation of Bjorken's scaling and it is determined by known linear evolution equations [1,2]. There are different approaches to accounting for mergers with non-perturbative nonlinearities at the gluon recombination [3,4]. In addition to the gluon splitting functions, the nonlinear gluon recombination processes become important. The recombination of gluons leads to saturation of gluon densities at low Björken $x \ll 1$ [5,6] as well as beyond the Froissart limit of the cross section at high energies. The evolution of transverse-momentum dependence of the parton densities had been studied in [7] and nuclear effects in structure function [8].

At the present one of the greatest achievements can consider the discovery of chaotic dynamics [9] in different areas of science. Chaotic behavior has been observed in a variety of systems including lasers, electrical circuits, fluid dynamics as well as computer models of chaotic processes. In frameworks of fractal analysis the hypothesis of universality at formation of hadrons is discussed in [10]. After that works it is clear that the dynamics at the chaos border often manifests scaling regularities. Scenario of transition to chaos means a sequence of bifurcations observed under slow variation of a control parameter on a way from regular to chaotic behavior, for example, via period-doubling cascade, quasi-periodicity, intermittency.

In the study of nonlinear systems with a large number of interacting objects, a decrease in the number of degrees of freedom during self-organization of states was revealed. Under the influence of quantum fluctuations, objects with a complex self-organizing structure can arise. Considering the evolution as a discrete quantum process we use the mathematical apparatus of discrete mappings within the framework of nonlinear dynamics theory**.** Using the method of Poincare sections (choosing the share of momentum as a one-dimensional section of the phase space of partons momentum distribution) we have an evolution equation:

$$\vec{x}_{t+1} = \hat{F}(\vec{x}_t, \lambda)$$

Hear $\hat{F}(\vec{x}_t, \lambda) = \lambda \cdot F_2(x, Q^2)$ with of nucleon structure function $F_2(x, Q^2)$ and $\boldsymbol{\lambda}$ is the control parameter that characterizes the degree of coupling embossed parton with the totality of the remaining partons in the nucleon at the certain energy $\sqrt{s}$. The operator $\hat{F}(\vec{x}_t, \lambda)$ represents the evolution nonlinear operator for one time step showing the momentum distribution on the momentum in the momentum representation**.** The Bjorken's/Feynman's variable x_t is the momentum fraction at discrete time index (**t**=0,1,2…**).** The parameter $\boldsymbol{\lambda}$ determines the character of observing regimes. To switch to continuous time allows the build, known as the Poincare section. In the framework of our quality approach we use the renormalization-group approach to the evolution equation, allowing to recreate a physical picture of the critical behavior. In common case $F(x) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} x^{a-1}(1-x)^{b-1}$ with parameters a=2+α, b=4 for quarks in the nucleon.

So for the quark-gluon cascade, we enter an iterative map in which a number of the quarks and gluons in (t+1)-th generation are proportional to the number of them in t-th generation. The number of partons are changing, but remains on total momenta. Thus, the probability to find a parton with a fraction of momentum ***x*** at time (*t+1)* is defined by the impulse distribution of partons in the time ***t***. Positive terms of hadron structure function $F_2(x, Q^2)$ meet the increasing of the quarks (q) and gluons (g) number at cascade: $q \to q + g$ and $g \to g + g$ and negative terms is the reduction, i.e. quark-antiquark, quark-gluon and gluon-gluon recombination: $(q + \bar{q} \to g,\ \ q + g \to q,\ \ g + g \to g)$. So using the method of Poincare sections (choosing the share of momentum as a one-dimensional section of the phase space of partons momentum distribution) and considering that the evolution operator is determined by hadron structure functions $F_2(x, Q^2)$, we use a one-dimensional map.

Numerical solution of the nonlinear equation has shown the existence of an evolution termination in the field of small values of parameter. Small perturbations do not change the $|q, g\rangle$

Репозиторий КарГУ

condition $\lambda \ll 1$. The increase in λ leads at first only to the excitation stable state. With further increase of the parameter occur repeated bifurcation (splitting) of period-doubling. calculations of the quarks phase trajectories have shown the presence of the chaotic dynamics at $\lambda \gg 0$ as a consequence of bifurcations. In a state of dynamic chaos two close orbits in phase space diverge exponentially with time with Lyapunov's coefficient in the exponent, which in a computer simulation, is calculated using parallel running of two close initial conditions and examines their divergence. By computer simulation the studies of the formation of stable structures in quark-gluon cascade, including recombination processes.

The nature of stability of fixed points (cycles) and the type of bifurcations of mappings are determined by their multipliers. In turn, multipliers are the own numbers of the Jacobian matrix perturbations. The maximum value x_{t+1} is found from $\frac{dx_{t+1}}{dx_t} = 0$. The Jacobian is $J = \left|\frac{dx_{t+1}}{dx_t}\right|$ and the map is stable at a point x_0 if $J(x_0) < 1$.

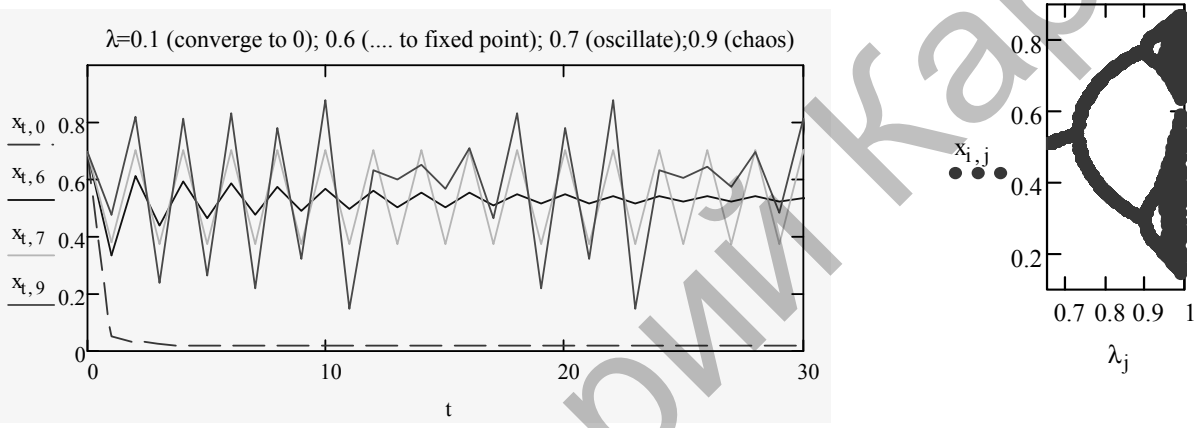


Figure 1 - Different evolutionary regimes for different parameters λ and self-similarity of the bifurcation diagrams

When the coupling constant $\alpha_s(Q^2)$ is small, the evolution is incoherent like linear equations [1,2], if the relationship is strong enough that can occur spontaneous synchronization quark-gluon movements.

There are nonperturbative effects associated with initial transverse momenta of partons inside the hadron and there are always fatal even quantum zero fluctuations. It is possible that a steady structure formation in nonlinear quark-gluon evolution is a real mechanism of hadronization. Arising in the quark-gluon cascade the strange attractor with a fractal self-similar structure display a new nonlinear phenomenon in the hadron physics is deterministic chaotic dynamics.

The dynamics of quark-gluon systems are highly sensitive to initial conditions. The strange quark attractors display a new nonlinear phenomenon in hadron and nuclear physics - dynamic chaos in quark-gluon evolution. The transition from regular to chaotic behavior occur via the sequence of bifurcations observed under slow variation of the control parameter. Any case it is important to establish where the regular and chaotic regimes are realized.

In order to distinguish between the chaotic and not chaotic modes, we compare orbits to close entry conditions in these modes. As a measure of this difference, we choose the difference module between values of corresponding orbits of the display, carried to the value of one of the orbits. At initial approach for the first trajectory x_0=0.5 and y_0=0.50001 for the second one. Results of calculations of trajectories for $\lambda = 0.75$ and $\lambda = 0.95$ dynamics are presented in Figure 2.

Opportunities for the formation of regular structures associated with the effective competition of different types of interactions: mergers and splittings of quarks and gluons. Under the influence

Репозиторий КарГУ

of the quantum fluctuations of the amplitudes of the processes there are structures which have some scale with complex self-organization.

In the quark-gluon cascade, the essential role is played by not only linear parts of the parton density, but also the higher order terms. Dynamic quark-gluon systems are highly sensitive to the initial conditions. The quark phase trajectories (strange attractor with a fractal structure) display a new nonlinear phenomenon in the hadron and nuclear physics - dynamic chaos in the quark-gluon evolution. Scenario of the transition to the chaos means a sequence of bifurcations observed under the slow variation of the control parameter. Thus, the hadron is non-linear quark-gluon system with its endogenous dynamic chaos. Using nonlinear dynamics of SF one can find that there is a transition to chaos at relativistic high energy (long time evolution at big $\lambda \to 1$) and nonlinearity of quark-gluon evolution leads to a steady hadron-like quark-gluon structure formation that is real mechanism for confinement. Understanding of the formation of structures in the microcosm of the nano-structures in particular is the source of technological innovation.

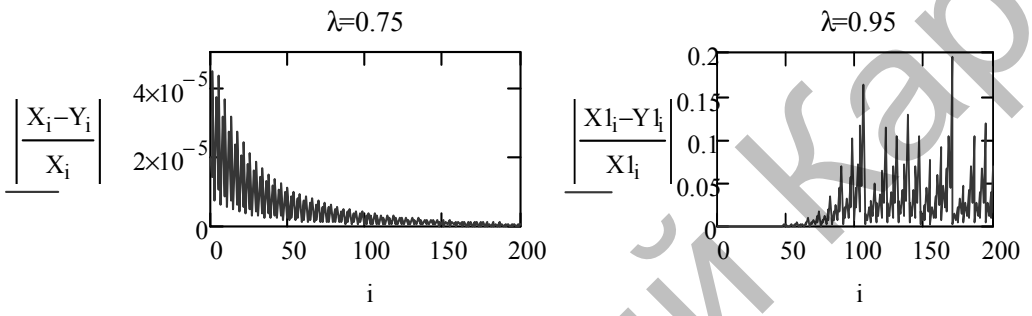


Figure 2 - The stability of the trajectories a) the convergence to the attractor trajectory; b) fixed scale invariance of the function

Appearance of stable structures in nonlinear quark-gluon cascade has been analyzed for mappings of hadron structure function $F_2(x, Q^2)$ at discrete time. May be steady structure formation in nonlinear quark-gluon evolution is a mechanism for confinement. In addition to the contribution of the energy associated with the interaction of partons there is a contribution of entropy of quantum fluctuations. Note that vacuum fluctuations are amplified during the expansion phase volume of the system.

References:

1. V. N. Gribov, L. N Lipatov // Sov. J. Nucl. Phys. 15 (1972) 438. Y. L. Dokshitzer // Sov. Phys. JETP. 46 (1977) 641. G. Altarelli, G. Parisi // Nucl. Phys. B126 (1977) 298.

2. E. A. Kuraev, L. N. Lipatov, V. S. Fadin // Sov. JETP. 44 (1976) 443. I. I. Balitsky, L. N. Lipatov // Sov. J. Nucl. Phys. 28 (1978) 822. L. N. Lipatov // Sov. Phys. JETP. 63 (1986) 904.

3. G. Boroun and S. Zarrin, The European Physical Journal Plus 128, 119 (2013)]. Yu. Kovchegov, A. Mueller, // Nucl. Phys. B329 (1998) 451

4. M. Lalung, P. Phukan, and J. K. Sarma arXiv:1801.06360v3 [hep-ph] (2019) A. Leonidov, D. Ostrovsky // Eur. Phys. J. Cll (1999) 495.

5. S. Beni´c et al. //Journal of High Energy Physics 2017, 115 (2017). C. Adloff // Eur.Phys.J. C13 (2000) 609; hep-ex/9908059.

6. W. Zhu and J. Lan, Nuclear Physics B 916, 647 (2017). Mueller AH and Qiu J. //Nucl. Phys B268 (1986) 427

7. I.O.Cherednikov, N.G.Stefans // arXiv: 1104.0168(2011).

8. A.T.Temiraliev // Sov. J. Nucl.Phys. 54(1)(1991)114.

9. M. Fejgenbaum // Phys.Usp. 141 (1983) 343.

10. A. V. Batunin // Phys.Lett. B327 (1994) 293.

Репозиторий КарГУ

М.Р.Жумаев, М.З.Шарипов, Н.Н.Миржонова
Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан
e-mail: mrjumaev2011@mail.ru

СРЕДНЯЯ ПЛОТНОСТЬ ЧИСЕЛ ЧАСТИЦ КВАНТОВЫХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

В последнее время резко возрос интерес к исследованиям конденсированного состояния. Это обусловлено, в том числе, с возможностью экспериментального изучения явления Бозе-Эйнштейновской конденсации. Так как критическая температура перехода в это состояние определяется средней плотностью чисел частиц, ее определение представляет важный научный и фундаментальный интерес [1-2]. Для вычисления средней плотности чисел частиц квантовых релятивистских идеальных газов (КРИГ) мы воспользовались формулой квантовой статистической физики для этой величины учитывая что их частицы подчиняются релятивистскому распределению по импульсам. В результате нам удалось, получит выражение для средней плотности чисел частиц квантовых релятивистских идеальных газов подчиняющихся статистикам Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна [3-4]:

$$n = \frac{4\pi g}{h^3}\int_0^\infty f(p)dp\,, \tag{1}$$

где $f(p)$–инвариантная функция распределения частиц квантовых релятивистских идеальных газов по импульсам:

$$f(p) = \left[\exp\left(\frac{E-\mu}{\kappa T}\right) - \varepsilon\right]^{-1}. \tag{2}$$

Здесь g–спиновая степень свободы частицы, $E = E(p)$-энергия частицы, μ-химпотенциал для этой частицы, ε- индекс статистики, который принимает следующие значения в зависимости от того, какой статистике подчиняется частица т.е.

$$\varepsilon = \begin{cases} -1, & для\ \ распределения\ \ Ферми-Дирака, \\ 0, & для\ \ распределения\ \ Максвелла-Больцмана, \\ 1, & для\ \ распределения\ \ Бозе-Эйнштейна. \end{cases}$$

Для вычисления средней плотность чисел частиц выражение (1) с учетом вида инвариантной функции распределения $f(p)$ (2) удобно представит следующим образом:

$$n = 4\pi\frac{g}{h^3}\int_0^\infty \frac{p^2 e^{-\frac{E-\mu}{KT}}}{1-\varepsilon e^{-\frac{E-\mu}{KT}}}dp\,. \tag{3}$$

Дробь $\left(1-\varepsilon e^{-\frac{E-\mu}{kT}}\right)^{-1}$ можно представит как сумму членов бесконечно убывающей геометрической прогрессии:

Репозиторий КарГУ

$$\frac{1}{1-\varepsilon e^{-\frac{E-\mu}{kT}}} = 1+\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^n e^{-\frac{n(E-\mu)}{kT}},$$

где так как $|\varepsilon| \le 1$, должно выполняется условие $e^{-\frac{E-\mu}{kT}} < 1$, т.е. $\mu < E_0$ – для любой частицы.

Таким образом, независимо от того какой статистике подчиняется квантовый релятивистский идеальный газ его средняя плотность чисел частиц определяется следующим образом:

$$n = 4\pi\frac{g}{h^3}\int_0^{\infty} p^2 e^{-\frac{E-\mu}{kT}}\left[1+\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^n e^{-\frac{n(E-\mu)}{kT}}\right]dp. \quad (4)$$

Для вычисления этого интеграла полагаем, что $u = \frac{v}{c} = thx$. Тогда используя связь между энергией и импульсом релятивистской частицы с ее скоростью имеем:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = mc^2 chx. \quad (5)$$

$$p = \frac{Ev}{c^2} = mcshx. \quad (6)$$

Подставляя найденные выражения для энергии и импульса частиц в (4) получаем следующее интегральное выражение

$$n = 4\pi\frac{g}{h^3}(mc)^3\int_0^{\infty} dx sh^2 x chx e^{\theta} e^{-bchx}\left[1+\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^n e^{n\theta} e^{-nbchx}\right]. \quad (7)$$

Здесь мы ввели следующие обозначения для отношения энергии покоя частицы и тепловой энергии κT

$$\frac{mc^2}{\kappa T} = b, \quad (8)$$

а также для отношения химпотенциала и тепловой энергии кТ

$$\frac{\mu}{kT} = \theta. \quad (9)$$

Далее учтем, что

$$\int_0^{\infty} dx sh^2 x chx e^{-zchx} = \frac{k_2(z)}{z}. \quad (10)$$

Репозиторий КарГУ

Таким образом, средняя плотность чисел частиц любого газа определяется следующим компактным и красивым выражением:

$$n = 4\pi \frac{g}{h^3}(mc)^3\left[e^{\theta}\frac{k_2(b)}{b} + e^{\theta}\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^n e^{n\theta}\frac{k_2[(n+1)b]}{(n+1)b}\right]. \quad (11)$$

Далее полагаем, что для всех частиц химпотенциал равен нулю, т.к. химпотенциал является характеристикой термостата, а не отдельных находящихся с ним в равновесии КРИГ – он одинаковый для всей системы. Поскольку для фотонов μравен нулю, то и для КРИГ $\mu = 0$. Из предыдущего выражения при $\theta = 0$ получаем:

$$n = \frac{4\pi g}{h^3}(mc)^3\frac{1}{b}\left[k_2(b) + \sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^n\frac{k_2[(n+1)b]}{n+1}\right], \quad (12)$$

которая является сохраняющимся для каждого сорта квантового релятивистского идеального газа независимо от его статистики.

Теперь конкретизируя статистику квантовых релятивистских идеальных газов получаем, что их средняя плотность чисел частиц определяются следующими выражениями:

$$n_{ФД} = \frac{4\pi g_{-1}}{h^3}\frac{(mc)^3}{b}\left[k_2(b) + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^n k_2[(n+1)b]}{n+1}\right], \quad (13)$$

$$n_{МБ} = \frac{4\pi g_0}{h^3}(mc)^3\frac{k_2(b)}{b}, \quad (14)$$

$$n_{БЭ} = \frac{4\pi g_1}{h^3}\frac{(mc)^3}{b}\left[k_2(b) + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{k_2[(n+1)b]}{n+1}\right]. \quad (15)$$

Здесь принято очевидная сокращенная запись соответствующих статистик: Ферми-Дирака (ФД), Максвелла – Больцмана (МБ) и Бозе–Эйнштейна (БЭ).

Особо подчеркиваем, что полученные здесь результаты носят также и общефизическое значение как для фотонного газа, так и для идеального газа любых бозонов и фермионов, так как, когда их средняя плотность чисел частиц определяется температурой, требование отличия от нуля химпотенциала не является необходимым. Проще говоря, когда возбуждение квазичастиц (или рождение частиц, говоря в общем случае) обусловлено температурой (например, как фотоны теплового излучения) их плотность чисел частиц нельзя считать заданным или фиксированным, как например, концентрацию электронов в металле или сверхпроводнике.

Естественно заслуживает особый интерес поведения средней плотности чисел частиц различной массы при заданной температуре, поскольку в условиях теплового равновесия вся система квантовых релятивистских идеальных газов имеет одну и ту же температуру.

Начнем свой анализ как всегда с наиболее простого случая. Как видно из последних выражений – это квантовый релятивистский идеальный газ Максвелла-Больцмана. Учитывая асимптотики функции Бесселя второго порядка $k_2(b)$ на основе соотношения (14) получаем, что

Репозиторий КарГУ

$$n_{МБ} \approx \frac{4\pi g_0}{h^3}(mc)^3 \frac{2}{b^3} = 4\pi g_0 \left(\frac{kT}{hc}\right)^3 \cdot 2, \tag{16}$$

которая соответствует средней плотности чисел частиц квантового релятивистского идеального газа Максвелла-Больцмана в безмассовом или что, то же самое в ультрарелятивистском пределе, т.е. при $b \to 0$.

В обратном нерелятивистском пределе (или образно говоря для сверхтяжелых частиц) т.е. b>>1 имеем

$$n_{МБ} \approx \frac{4\pi g_0}{h^3}(mc)^3 \sqrt{\frac{\pi}{2b}} e^{-b} = 4\pi g_0 \left(\frac{kT}{hc}\right)^3 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}} b^{\frac{3}{2}} e^{-b}. \tag{17}$$

Следовательно, сопоставляя полученные выражения придем к выводу, что при заданной равновесной температуре средняя плотность чисел частиц квантового релятивистского идеального газа Максвелла-Больцмана определяется вкладом наилегчайших частиц, т.е. безмассовыми частицами.

Теперь перейдем к анализу средней плотности чисел частиц идеального газа бозонов подчиняющихся статистике Бозе-Эйнштейна на основе (15). Опять учитывая вышеуказанные асимптотики функции Бесселя второго порядка $k_2(b)$ получаем, что

$$n_{БЭ} = \frac{4\pi g_1}{h^3} \frac{(mc)^3}{(b)^3} \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(n+1)^3}\right] = 4\pi g_1 \left(\frac{kT}{hc}\right)^3 \cdot 2S_1 \cdot$$

Это соответствует ультрарелятивистскому пределу, т.е. случаю $b \to 0$.

Далее найдем сумму:

$$S_1 = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(n+1)^3} \equiv \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^3} = \xi(3),$$

где $\xi(3)$ – дзета-функция Римана в точке $S = 3, \quad \xi(3) = 1{,}202 \ldots$

Следовательно, учитывая последнюю сумму получаем, что

$$n_{БЭ} = 4\pi g_1 \left(\frac{kT}{hc}\right)^3 \cdot 2\xi(3), \tag{18}$$

которое в точности соответствует средней плотности чисел безмассовых газов бозонов, а также фотонов. Подчеркиваем, что эти результаты были получены ранее только при $b \equiv 0$, рассматривая безмассовые бозоны как «особый» газ. Здесь впервые они получены в пределе $b \to 0$ на основе точной формулы (15).

В обратном, т.е. нерелятивистском пределе $mc^2 >> \kappa T$ получаем, что

$$n_{БЭ} = 4\pi g_1 \left(\frac{kT}{hc}\right)^3 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}} b^{\frac{3}{2}} e^{-b}, \tag{19}$$

которое естественно, как и следовало ожидать, совпадает с известными результатами [5], справедливые только в этом пределе.

Репозиторий КарГУ

Наконец исследуем среднюю плотность чисел газов фермионов на основе (13). В ультра релятивистском пределе b<<1 или $b \to 0$ получаем, что

$$n_{ФД} = \frac{4\pi g_{-1}}{h^3}\frac{(mc)^3}{(b)^3}\cdot 2\left[1+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^n}{(n+1)^3}\right] = 4\pi g_1\left(\frac{kT}{hc}\right)^3\cdot 2S_2 .$$

Далее найдем сумму

$$S_2 = 1+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^n}{(n+1)^3} \equiv \sum_{k=1}^{\infty}\frac{(-1)^{k-1}}{k^3} = \frac{3}{4}\xi(3).$$

Следовательно, учитывая последнюю сумму и подставляя ее в предыдущее выражение получаем, что

$$n_{ФД} = 4\pi g_{-1}\left(\frac{kT}{hc}\right)^3\cdot 2\cdot\frac{3}{4}\xi(3), \qquad (20)$$

которое в точности соответствует средней плотности чисел безмассовых газов фермионов – полученный ранее в литературе только в «особом» случае $b \equiv 0$.

В обратном т.е. нерелятивистском пределе, как и в случае газа бозонов получаем, что

$$n_{ФД} = 4\pi g_1\left(\frac{kT}{hc}\right)^3\cdot\sqrt{\frac{\pi}{2}}b^{\frac{3}{2}}e^{-b}, \qquad (21)$$

которое переходит к результату статистики Максвелла –Больцмана даваемый формулой (17), подтвердив тем самым, что это статистика правильно описывает поведение частиц в очень большем числе практически важных случаев, с которыми наиболее часто приходится встречаться. Этим объясняется важное значение этого распределение в статистической физике. Но мы, как это следует из вышеприведенных результатов (16), (18) и (20), доказали его применимость также и в ультрарелятивистском случае, впервые в физической литературе, путем предельного перехода к безмассовому пределу.

Таким образом, мы придем к важному заключению, что средняя плотность чисел частиц квантовых релятивистских идеальных газов, подчиняющихся статистикам Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака и Бозе–Эйнштейна при любом значением параметра b выражаются формулами (13) – (15) когда она определяется равновесной температурой системы, а не является заданной. Коэффициенты же g_{-1}, g_0, g_1 и $2, 2\xi(3)$ и $\frac{3}{4}\cdot 2\xi(3)$ показывают спиновую степень свободы частиц и статистику которой подчиняется квантовый релятивистский идеальный газ, т.е. отражает специфику его частиц.

Важность этих результатов состоит в том, что они позволяют, определит среднюю плотность чисел частиц квантовых релятивистских идеальных газов при произвольном конечном значении отношения тепловой энергии kT к энергии покоя частиц mc2.

Найденные выражения для этих величин важны также при температурах близких к критической температуре конденсации когда отношениеE/kT- конечная величина (где E-максимальная энергия квантовых состояний) [6,7].

Работа выполнена при частичной поддержке проекта № ОТ-Ф2-64.

Литературы:

Репозиторий КарГУ

1. L. Ptaevski, S. Stringari. Bose- Einsteincondensation. Oxford:Clur. Press. (2003).
2. Е.Д. Трифонов, С.Н. Загуляев. УФН 180 (2010).
3. М.Р.Жумаев. Релятивистский идеальный газ и первичное космическое излучение – Бухара: Дурдона (2015).
4. М.Р. Жумаев. Квантовый релятивистский газ и реликтовое излучения - LambertAcad. Publ. (2016).
5. Л.Д. Ландау, Е. Лифшиц "Статистическая физика". М., «Наука» (1995).
6. Zhumaev M.R., Sharipov M.Z. Mirzhonova N.N. Critical number of soliton in the Bose-Einstein condensate // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2017, Vol. 11. № 3, -P. 570-574.
7. Zhumaev M.R., Sharipov M.Z., Mirzhonova N.N. The averaged lagrangian of solitons of Bose-Einstein condensation //*Eurasian Physical Technical Journal.* 2018, Vol.15, № 1(29), - P. 6-9.

С.Х. Астанов, Р.Х.Шамсиев
Бухарский инженерно- технологический институт, Бухара, Узбекистан.
e-mail: s.h.ostonov@rambler.ru

Спектроскопические проявления самосборки пищевых красителей

Окрашивание пищевых продуктов и лекарственных препаратов широко распространено и предусмотрено соответствующей нормативно-технической документацией [1,2]. Обычно процесс окрашивания продуктов питания осуществляется высоко-концентрированными растворами красящих пигментов [3]. В условиях высокой локальной концентрации молекул исследуемых соединений также могут проявиться агрегаты исследуемых соединений в результате их самосборки [4,6].

По определению самосборка является процессом, в котором принимают участие только компоненты конечной структуры [7].

Объединения молекул в растворах могут осуществляться под действием различных межмолекулярных взаимодействий (ММВ). Возникновение ММВ способствует самосборке молекул растворённого вещества.

В зависимости от природы ММВ, проявляющихся в растворах, может наблюдаться существенная деформация спектрально-оптических характеристик исследуемого соединения. Выяснение природы сил, под действием которых происходит самосборка молекул, является одной из актуальных проблем современного конденсированного состояния. В то же время, определение спектрально – оптических характеристик позволяет выяснить возможные пути применения самособранных нано агрегатов в технике и технологии.

Объектом исследования явился стандартный пищевой краситель тартразин (Е-102). В качестве растворителя использовались бидистиллированная вода, этанол, диоксан, ацетон диметильсульфоксид (ДМSO) очищенные, согласно известной методике [8]. Электронные спектры поглощения снимались на спектрофотометре Specord 50 SA (Analytikjena Германия), проводились измерения значения оптической плотности с точностью 0,3% и высоким разрешением в диапазоне 190-1100нм. Дисперсия оптического вращения и спектры линейного дихроизма были получены на дихрографе Jasko-20. Применялась оптическая приставка-двойной параллелепипед Френеля. Приставка была рассчитана на видимый и УФ спектральной области. Микроскопические исследования осуществлялись на биологическом микроскопе KSO 5001-1 “Anjeon presicion optics Co, Htd” (южная Корея). И на электронном микроскопе (SEM) TESCAN Mira3 (Россия).

Прежде всего нами был исследован спектр поглощения тартразина в воде. При этом установлено, что в спектре поглощения наблюдается спектр адсорбции с максимумом при

Репозиторий КарГУ

$\lambda_{мах}$=428 *нм*. Причем форма и интенсивность спектра красителя в широком интервале концентрации $5\cdot10^{-4} \div 10^{-5}\,M$ практически остаются неизменными и они относятся к поглощательной способности мономерных молекул исследуемого соединения.

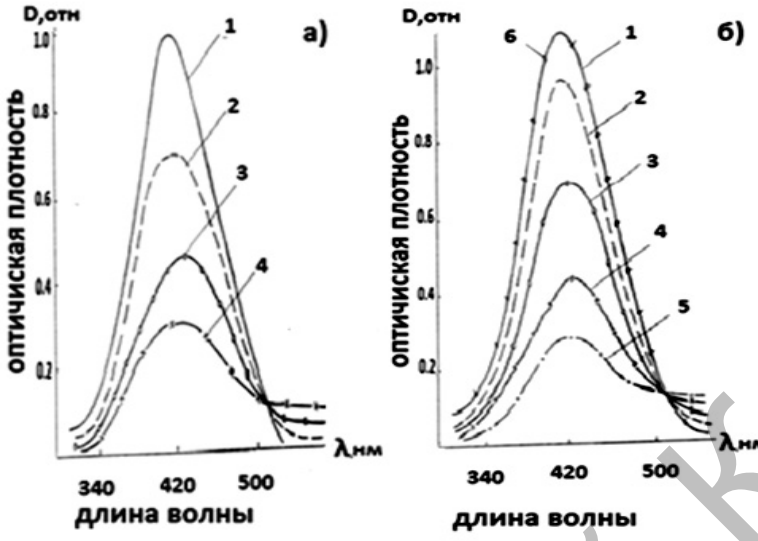


Рисунок 1. Спектры поглощения тартразина при С=5 10^{-4}М в бинарной смеси вода- диоксан с изменением доли воды 100, 70, 30, 20% (1-4) (а); и Концентрационная зависимость спектров поглощения тартразина при постоянной смеси вода - диоксан (0,4:0,6) С=10^{-5},10^{-4},4 10^{-3}М(1-5) (б)

Самосборка тартразина была исследована в бинарных смесях растворителей. В качестве бинарного растворителя были использованы вода+диоксан. На рисунке 1а приведены спектры поглощения тартразина при постоянной концентрации (С=$5\cdot10^{-4}$ М) с изменением доли воды в бинарной смеси растворителей.

Экспериментально установлено, что спектр поглощения в 100% воды (С=$5\cdot10^{4}$ М) совпадает с полосой низко концентрированного водного раствора (С=10^{-5} М). По меры уменьшения доли воды в растворе (рис.1б крив.2-4 и С=const) происходит падение поглощательной способности раствора красителя. Уменьшение интенсивности поглощения сопровождается уширением полосы в длинноволновой части спектра. При этом наблюдается изообестическая точка (λ=513нм.)

Аналогичные изменения спектров поглощения наблюдались с увлечением концентрации красителя при постояном соотношении состава бинарной смеси вода+диоксан. (04:0,6 по объёму). В этих случаях спектр поглощения разбавленного раствора в выбранной смеси растворителей совпадает с полосой поглощения тартразина в воде. По мере роста концентрации наблюдается падение интегральной поглощательной способности (рис 1б крив 1-5). При дальнейшем увеличении концентрации красителей образуются опалесценция раствора, он становится мутным и образуется коллоидное состояние раствора.

Сопоставление полученных спектров поглощения тартразина (1а и 1б) показывает, что деформация полос, при постоянстве концентрации с изменением состава бинарных смесей и постоянством соотношения бинарности растворителей с изменением концентрации, между собой совпадают. Также остаются неизменным, состояния изообостической точки в спектрах поглощения (λ=513нм) (рис.1а и 1б). При этом можно предполагать, что в обоих случаях использование бинарного растворителя приводит к образованию локальных объемов с высокими концентрациями молекул исследуемых соединений. Наблюдения

Репозиторий КарГУ

изообостической точки в спектрах поглощения растворов тартразина показывают, что в бинарных смесях растворителей имеются два центра поглощения. Первый центр относится к молекулам находящегося с высокими концентрациями локального объема с поглощением в длинноволновой области спектра. Второй центр относится к разбавленным молекулам с максимумом поглощения $\lambda_{мах}$=420 нм.

Экспериментально была определена энергия связи самособранных молекул красителей в бинарных смесях растворителей. Во всех случаях, нагревание растворов красителей с проявлением гипохромного эффекта приводит к росту интенсивности поглощения. При температуре 60-75 ^{0}С электронные полосы адсорбции исследуемых красителей полностью совпадают со спектром поглощения разбавленного раствора. Из температурных опытов были определены энергии связи самособранных молекул. Их значения составляли 16-20 кДж/моль, что соответствует энергии водородной связи. Значения энергии связи самособранных молекул татразина совпадают со значениями, полученными в других бинарных смесях вода+ДМSO и вода-ацетон.

Концентрационные и температурные деформаций спектров поглощения в бинарных смесях растворителей можно объяснить исходя из следующих соображений. В случае, когда красящие пигменты окажутся в растворимой среде (воде), они могут, находиться в полостях сетки водородных связей. Добавления нерастворимых компонентов растворителей в состав бинарной смеси приводит к снижению энергии ММВ не только вокруг полостей, но и в других частях сетки водородных связей молекул воды.

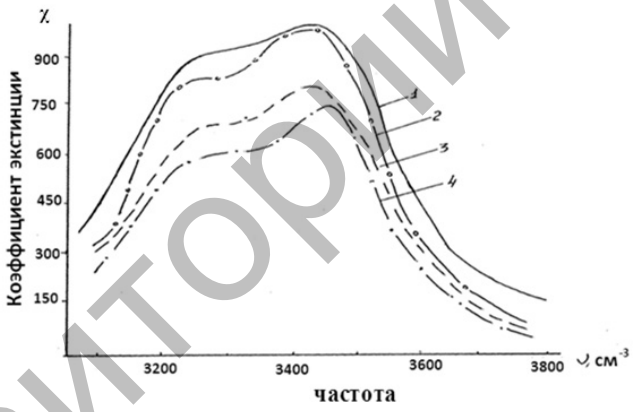


Рисунок 2. Зависимость спектров КР воды от доли добавляемого диоксина 0(1), 10(2), 30(3), 40%(4)

Снижение энергии ММВ обусловлено образованием водородной связи между водородом воды и кислородом добавляемого компонента (диоксан, ацетон,ДМSO). Дальнейший рост доли нерастворимого компонента в составе бинарной смеси растворителей приводит к ослаблению энергия ММВ воды до такого уровня, что из полостей сетки водородных связей вытесняются молекулы растворённого вещества. При этом появляется возможность для непосредственного ММВ между растворёнными молекулами. В результате которого создаются условия образования высокомолекулярного локального объема в бинарных смесях растворителей. Ослабление энергии ММВ подтверждается понижением валентного колебания О-Н воды. Ожидаемое понижение валентного колебания О-Н воды возможно с образованием Н- связи (ОН…OR,где R оставшаяся часть молекул диоксана, ДМSO или ацетона). Такие предположения подтверждаются исследованиями спектров комбинационного рассеяния (КР). На рис.2 приведены спектры КР воды от доли добавляемого диоксана. Из рис.3 следует, что полоса ОН колебания воды состоит из двух максимумов при $\upsilon_{мах}$=3270 см$^{-1}$ и 3400 см$^{-1}$. Из рис.2 следует, что полоса ОН колебания воды состоит из двух максимумов при $\upsilon_{мах}$=3270 см$^{-1}$ и 3400 см$^{-1}$. По мере добавления диоксана

Репозиторий КарГУ

или ДМSO интенсивность ИК колебания воды уменьшается с одновременным смещением полос с частотой υ=3270 $см^{-1}$ и 3400$см^{-1}$ на 36 и 32 $см^{-1}$ соответственно (рис.2 крив. 2-4). Надо отменить, что растворение тартразина в бинарных смесях растворителей не приводит к заметному изменению деформации спектров КР. При этом практически сохраняются как падение интенсивности ОН колебания воды, так и их смещения. Аналогичные изменения спектров КР наблюдались в бинарных смесях растворителей других красителей и биоактивных молекул. В этих случаях практически совпадают не только относительные изменени интенсивности О-Н колебания воды, но и С-О диоксан S-O ДМSO колебание и их смещение.

Анализ проведённых исследований показывает, что между компонентами бинарных растворителей образуются водородные связи с энергией 16-20 кДж/моль. По видимому такая энергия связи проявляется между водородом молекул воды и кислородом диоксана (О-Н…OR). Такая точка зрения подтверждается результатами полученными по спектрам КР. Проявление ММВ между компонентами бинарных смесей создаёт благоприятные условия для самосборки растворённых молекул. Наиболее вероятные ММВ для самосборки молекул реализуются Ван-дер-Ваальсовыми силами.

Установлено, что как в водном растворе, так и в бинарных смесях растворителей расчетные энергии связи со значением 16-20 кДж/моль соответвуют водородной связи между молекулами растворетелей. В то же время образование самособранных молекул нано агрегатов тартразина происходит под действием Ван-дер-Ваальсовых сил.

При температуре 343 К она практически совпадают со спектром разбавленного раствора тартразина. В этих случаях из температурной зависимости спектров поглащения определены энергии связи самосборки молекул пищевых красителей, которым соответствуют значения 16-20 кДж/моль, что относится к энергиий водородной связи.

Из приведенных экспериментальных результатов следуют, что в бинарных смесях растворителей явная полоса электронных спектров самособранных молекул красителей практически отсутствует. Однако, для выявления природы самообразованных молекул необходимо знать соответствующие спектрально-оптических параметров растворов, где осуществляются самосборка исследуемых молекул. Из анализа литературных данных следует, что спектроскопия линейного дихроизма оказалась весьма информативным и точным методам контроля степени само образованных молекул в среде. Для получения достаточной информации авторами предлагается измерено спектры самообразованных агрегированных молекул по спектрам линейного дихроизма по негиратронного поворота плоскости поляризации ориентированных.

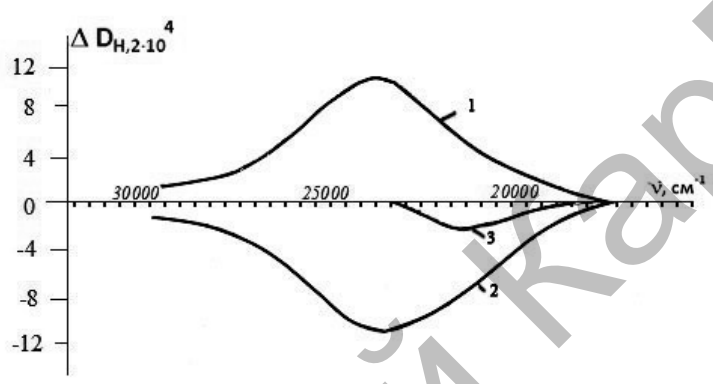
Нами установлено, что в случае, когда в растворе образуются самособранные молекулы исследуемого соединения и прокачка такого раствора через проточную кювету приводит к возникновению линейною дихроизма. При этом ориентация самособренных агрегированных молекул осуществляется прокачкой соответствующего раствора через миллиметровую кювету со скоростью 2 мм/с. Экспериментальная скорость прокачки раствора была выбрана таким образом, чтобы обеспечить ламинарный гидродинамический поток и она оказалась ориентирована под углом 45^0 к поляризации подающего на кювету линейного поляризованного света. Также экспериментально установлено, что только при образовании самосборки агрегированных молекул или же возникновении коллоидного раствора при условиях протекания этих растворов через проточную кювету, они становятся оптическими анизотропными. По видимому, только при частичной ориентациий объединившихся молекул красителей в гидродинамическом ламинарном патоке они окажутся анизатронными и при этом проявляется линейный дихроизм раствора. Только, в этом случае дихрограф регистрирует от нулевой линим кривую спектра линейного дихроизма [8].

Нами были исследованы растворы самообразованных молекул тартразина полученных в условиях ламинарного гидродинамического потока. При этом установлено, что они

Репозиторий КарГУ

проявляют значительный линейный дихроизм, его величина в максимуме полосы поглощения при ν=23500 см$^{-1}$ составляет $\Delta D_{II,\perp}=10^{-2}$ ед. дихроич.опт.плотн.

Алгебраическая сумма спектральных кривых 1 и 2 дает кривую 3, из которой, применив разложение на лоренцевские контуры, удается выделить две различные по амплитуде полосы линейного дихроизма, положение максимумов и полуширина которых в точности соответствуют положению максимумов и полуширинам полос поглощения ассоциированного тартразина (рис.3), который соотвстевует λ_{max}=400 нм, что подтверждает корректность проводимых измерений и расчетов. Тот факт, что ассоциаты тартразина проявляют линейный дихроизм, легко ориентируясь в ламинарном гидродинамическом потоке, свидетельствует о сильной анизотропии микрокристаллов красителя, имеющих



игольчатую (палочкообразную) форму.

Рисунок 3. Спектры линейного дихроизма самообразованных молекул тартразина в условиях гидро-динамического потока его раствора при угле между вектором скорости потока и вектором поляризации проходящего света +45° (1) и –45° (2).
Кривая 3-полоса линейного дихроизма самообразованного красителя. 3 – является разностной кривой спектров 1 и 2.
C = 2 10^{-4}M. l = 0,1 см

Игольчатообразная структура самообразованных наночастиц тартразина подтверждена проведенными микроскопическими исследованиями (рис 4.)

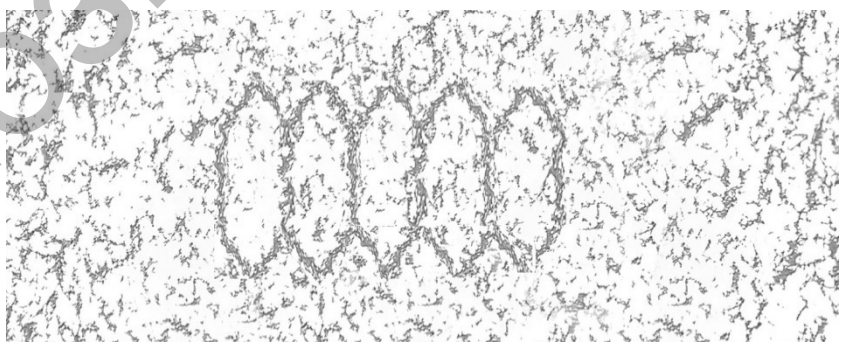


Рисунок 4. Микроскопические съемки самообразованных молекул тартразина

Из рис.4 следует, что на стеклянной подложке осаждаются самособранные молекулы тартразина в виде беспорядочных микрокристаликов и все они практически имеют игольчатообразную структуру (рис 4).

На фоне игольчатообразных структур явно проявляется цепь бензольных колец (рис 4). Из приведенных экспериментальных исследованный следует, что источниками

Репозиторий КарГУ

осажденных частиц являются высокомолекулярные локальные объемы, которые могут образоваться либо испарением растворителя, либо при использовании бинарных смесей растворителей. В обоих случаях система с переменной массой позволяет получить расположение частиц в виде определенных колец при их осаждении. Полученные результаты показывают, что использование бинарных смесей растворителей позволяет получить структированные поверхностий с необходимый профилем, которые могут быть использованы в биохимии, фармакологии, в медицине, а также для тестирования лекарственных средств.

Таким образом установлено, что молекулы тартразина самообразуются под действием Ван-дер-Ваальсовах сил. Самообразованые молекулы обладают игольчатообразной структурой. Испарение растворителя приводит к осаждению самообразующих молекул на стеклянной повехности беспорядочно, на фоне которых прослеживаются у порядоченные бензольные кольца. Однако, эти молекулы ориентируются по направлению ламинарного гидродинамического потока.

Литературы:

1. А.И.Штенберг, Е.В.Гавриленко. Вопросы питания. –М., 1970, №2, с.66-68.
2. А.Мельников. Чудеса на букву «Е»-2. Аргументы и факты. №40. 2007 г.
3. С.Х.Астанов, Р.Шамсиев, А.Р.Файзуллаев. Пищевые красители:(способ получения и стабилизация) Монография. «Фан ва технологиялар».Ташкент 2014
4. E.W.Kurtaliev, N.N.Nizatov, Sh.J.Rahimov. “The spectral – luminessent and fotochemecal characteristics of several styrylcyanine dyes in solution”. // Journal of Molekular hiq. 2011 158.p.43-49
5. Sh.N.Nizamov, E.N.Kurtaliev, M.N.Barakaeva, A.H.Tatrets, H.D.Patsenker. “Intence of molecular structure of squaraine dyes on their aqqreqation in aqueons solutions”. J.Appl.Spectr 2009.V74.№4.464-469.
6. К.С.Колегов “Формирования кольцевых структур в высыхающей под шаблоном плёнке коллоидного раствора” Вестник ЮУрГУ серия “Математическое моделирование и программирование ”.2014№7 pp 24-33.
7.П.В.Лебедев - Степанов, Р.М.Кадушников, С.П.Молганов и др. «Самосборка наночастиц в микрообъеме коллоидного раствора: физика, моделирование, эксперимент». Российские нанотехнологии 2013. Т8. №3,4.с5-23
8.А.Гордон, Р.Форд Спутник химика М.Мир 1976. 54с
9. С.Х.Астанов «Фотоника молекул пищевых красителей». Диссертация на соискание доктора физико-математических наук. Ташкент 2003 г.

С.Х. Астанов, Г.К. Касимова, М.И. Ахророва, М.Э. Ёкубов
Бухарский инженерно – технологический институт, Бухара, Узбекистан
e-mail: s.h.ostonov@rambler.ru;

Самосборка молекул рибофлавина в бинарных растворителях

Рибофлавин широко применяется в фармацевтики и в медицине. При этом рибофлавин используются для обнаружения и лечения раковых заболеваний [1-4]. Не смотря на то, что рибофлавин очень чувствителен к воздействию света и температуры, путем подбора определенных условий можно добиться стабилизации витаминного препарата [5,6]. Рибофлавин также участвует в окислительно – восстановительных реакциях организма путём переноса электронов к биологическим активным молекулам. Самосборка является процессом, в котором принимают участье только компоненты конечной структуры [7-8].

Репозиторий КарГУ

Основным условием самосборки является образование высокомолекулярного локального объема [9]. В зависимости от условий среды процесс самосборки органических соединений может происходить за счет гидрофобных, гидрофильных, Кулоновских, Ван–дер–Ваальсовских сил или водородных связей.

В работе использован порошок рибофлавина марки «ХЧ». Электронные спектры поглощения измерялись на спектрофотометре Specord 50 SA (Analytikjena, Германия) позволяющем проводить измерения в диапазоне 190-1100 нм. Измерение спектров флуоресценции проводились на установке, собранной на базе двух монохроматоров типа МДР-76 с фотоэлектронной регистрацией. Дисперсию оптического вращения и спектры линейного дихроизма снимали на дихрографе Jasko-20 с оптической приставки двойного параллелепипеда Френеля, используемого в видимой и УФ части спектральной области.

В качестве растворителей были использованы: дистиллированная вода, этанол и бинарная смесь этанол+метилпропанол очищенные согласно известных методикам [10]. Бинарные смеси были приготовлены таким образом, чтобы концентрация исследуемого соединения оставалась постоянной, менялось соотношение бинарной смеси растворителя. Во втором случае состав бинарной смеси растворителя оставался постоянным, менялась концентрация рибофлавина.

На рис.1 приведены спектры поглощения рибофлавина в бинарной смеси этанол+метилпропанол при постоянной концентрации ($C=5\times10^{-5}$М). Как видно из рис.1, спектр поглощения рибофлавина в чистом этаноле имеет четыре максимума при $\lambda_{макс}$=222 нм, $\lambda_{макс}$=270 нм, $\lambda_{макс}$=370 нм и $\lambda_{макс}$=445 нм. Установлено, что с увеличением доли метилпропанола в спектрах поглощения наблюдается падение интегральных полос с гипохромным эффектом (рис. 1), а в спектрах флуоресценции падение интенсивности свечения. Аналогичные изменения электронных спектров поглощения и флуоресценции наблюдались при постоянном соотношении бинарной смеси и увеличением концентрации рибофлавина [11].

Деформации электронных спектров поглощения и флуоресценции наблюдались нами в концентрированных водных растворах рибофлавина и была отнесена к процессу образования агрегатов молекул рибофлавина [11]. В данном случае изменения электронных спектров также связаны с проявлением агрегации рибофлавина.

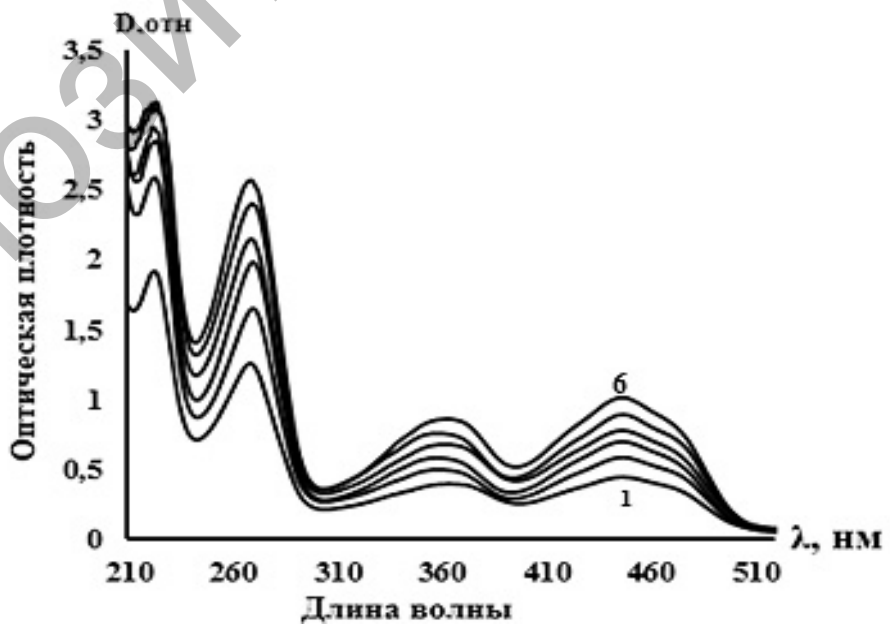


Рисунок 1. Спектр поглощения рибофлавина в этаноле($C=5*10^{-5}$М) в зависимости от добавле-ния метилпропанола: 1-0; 2-20; 3-40; 4-60; 5-80; 6-90; 7-95; 8-98% метилпропа

Репозиторий КарГУ

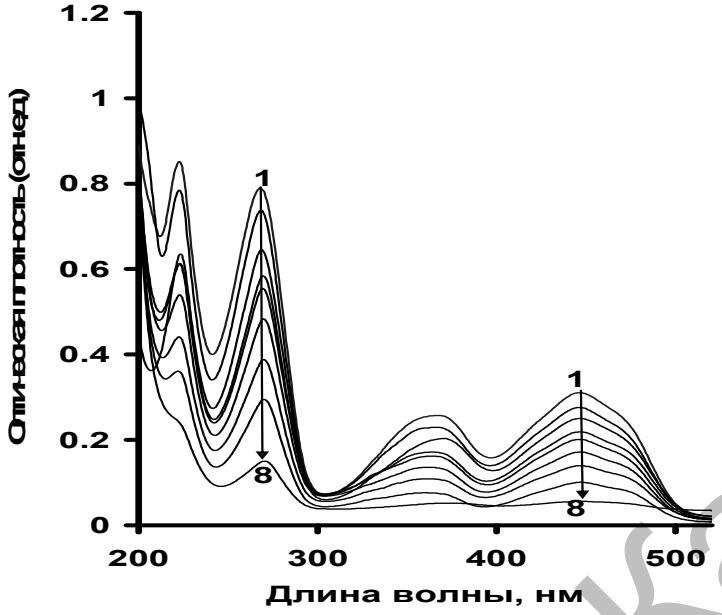


Рисунок 2. Температурная зависимость спектра поглащения рибофлавина в смеси 20% этанол+80% метилпропанол: 1-293; 2-313; 3-323; 4-333; 5-338; 6-343 К.($C=5*10^{-5}$M)

Самосборка в бинарной смеси этанол+метилпропанол для молекул рибофлавина можно объяснить следующим соображением. При растворении рибофлавина в этаноле каждая молекула рибофлавина окажется окруженным сольватным оболочкой этого растворителя. При этом исключается межмолекулярное взаимодействие (ММВ) непосредственно между молекулами исследуемого соединения, так как в этом случае они находятся в мономерном состоянии. Добавление второй компоненты (метилпропанола), в котором рибофлавин не растворим, приводит к тому, что молекулы спиртов объединяются по схеме: $R_1O…HR_2$, где R_1 и R_2 отставшая часть молекул спирта соответственно. В результате проявления ММВ сольватная оболочка вокруг растворённого вещества ослабевает.

Увеличение доли второй компоненты бинарной смеси растворителя приводит к дальнейшему ослаблению сольватной оболочки вокруг каждой молекулы рибофлавина. В этих случаях молекулы исследуемого соединения вытесняются из сольватной оболочки, в результате которых появляется возможность взаимодействия между самими молекулами растворённого соединения. При этом образуются локальный объем с высокой концентрацией исследуемого соединения, в результате чего происходит объединение молекул в виде самоагрегатов. На первом этапе самообразование образуются димеры. По мере увеличения доли изобутилового спирта, процесс агрегирования молекул рибофлавина усиливается, в результате которого образуются более сложные агрегаты. Данное предположение подтверждается проведенными температурными исследованиями растворов рибофлавина (рис.2).

Из рис.2, следуе, что повышение температуры раствора этанол+метилпропанол приводит к восстановлению электронных полос способности характерной для мономерной формы молекул рибофлавина. Причем повышение температуры раствора до 343 К приводить к полному восстановлению всех четырёх полос поглощения рибофлавина. Следует отметить, что температура, при которой происходит восстановление спектров поглощения.

Репозиторий КарГУ

Из температурных опытов определены энергия связи самособранных молекул. Результаты экспериментов показывают, что в широком интервале бинарных смесей при постоянным концентрации исследуемого соединения энергия связи находятся в интервале 15-20 кДж/моль. Эти получении энергии связи соответствуют энергии водородный связи. В целях выяснение природы определённые энергии относятся они к связи бинарных растворителей или самосборки молекул рибофлавина. Нами были исследованы процесс в самоагрегации бинарных смесей растворителей вода-диоксан или вода-диметилсульфаксид (ДМСО).

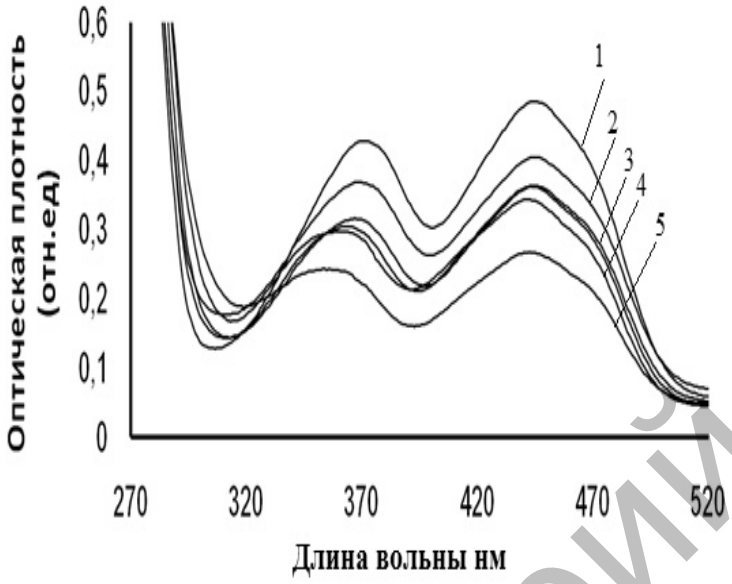


Рисунок 3. Спектр поглощения рибофлавина в бинарных смесей вода+диоксан в зависимости от добавляемого диоксана: 1-0; 2-20; 3-40; 4-60; 5-80%($C=5^{-5}$ М)

В этих бинарных смесей происходят явные водородные связи между кислородом диаксана или DMSO с водородом молекул воды. Как видно из рис.3 в длиноволновой части полосы поглощения рибофлавина и в бинарных смесей растворителей вода+диоксан происходит деформации электронных спектров аналогично, как и в смеси этанол-прапонал.

В экспериментах системах вода+диоксан, вода+ДМСО, где отсутствуют молекул рибофлавина ожидаем понижения валентного калебания ОН воды из за вазможного образовании Н связи (ОН…OR) где R оставшаяся часть молекул диоксана или DMSO табл.1).

Таблица 1. Относительная интенсивность колебаний в спектрах КР вода+диоксан, вода+DMSO

Растворитель	I отн 3270	I отн 3400	Δν OH 3400	I отн 950	I отн 1045	Δν S_2O 1045
Вода	0,96	1,00	-	-	-	-
Вода+10% DMSO	0,94	0,96	10	0,08	0,08	30
Вода+30% DMSO	0,47	0,50	15	0,40	0,46	32
Вода+40% DMSO	0,43	0,48	20	-	-	-
Вода+30% DMSO+рибофлавин	0,73	0,77	20	0,50	0,53	32
DMSO	-	-	-	0,65	1,00	-
Вода+30%диоксан+ рибофлавин	0,68	0,72	23	0,55	0,58	36

Репозиторий КарГУ

Как видно из табл.1 , полоса O-H колебания воды состоит из двух максимумов (I_{max} = 3270 и I_{max} = 3400 $см^{-1}$). По мере добавления диоксана и DMSO интенсивность O-H колебания воды уменьшается с одновременным смещением полосы с частотой ν = 3400 $см^{-1}$ на 36 и 32 $см^{-1}$ соответственно (табл.1). Следует отметить, что растворение индигокармина в бинарных смесях растворителей приводит к аналогичному изменению спектров КР. При этом практически сохраняются как падение интенсивности OH-колебания воды, так и их смещение (см.табл.1). Такие же изменения спектров КР наблюдаются в водных растворах других исследованных красителях и биоактивных молекул. В этих случаях практически совпадает не только относительное изменение интенсивности полос O-H, C-O и S=O колебаний, но и их смещение. Полученными результатами по спектрам комбинационного рассеяния для бинарной системы «вода + диоксан» показано, что существуют комплексы между этими молекулами, связанные водородной связью с энергией ΔH~5 ккал/моль [12]. Поэтому, вероятно, ассоциация молекул рибофлавин реализуется при помощи сил Ван-дер-Ваальса, а определённая энергия связи относятся к системы «вода + диоксан».

Молекула рибофлавина состоит из соединённых между собой двух составных частей флавина (головная часть) и рибитола (хвостовая часть) [13]. Флавин состоит из бензольных колец имеющие в своём составе $C(O_1)$ и $C(N_2)$ и $C(O_2)$ группы с высоким значением отрицательных зарядов. В структуре рибитола имеются CO(6), CO(5) и CO(4) группы соединённые с положительно заряженными атомами водорода. По расположению этих групп, только атомы водорода соединенные с атомами кислорода O(6) и O(3) имеют низкие значения стерического препятствия к ориентациям отрицательно заряженных групп, кислорода и азота флавиновой группы молекул рибофлавина. На оснавание этих рассужденей можно предположить что рибитольная группа одной молекулы осуществляет ориентацию с флавиновой группой второй молекулы рибофлавина. Происходит существенное перераспределение зарядов как в флавинных группах атомов, так и рибитольной части рибофлавина. Следует отметить, что на атомах флавинновой группы наблюдается существенное усиление распределения зарядов в возбуждённом электронном состоянии, приводящие к увеличению значения дипольного момента в возбуждённом электронном состояние примерно на 40%.

При этом взаимная ориентация флавиновой группы с рибитольной усиливаются, и диполь-дипольное ММВ между молекулами рибофлавина приводит к образованию димеров виде «голова-хвост» (рибитол-флавин-рибитол рис.4).

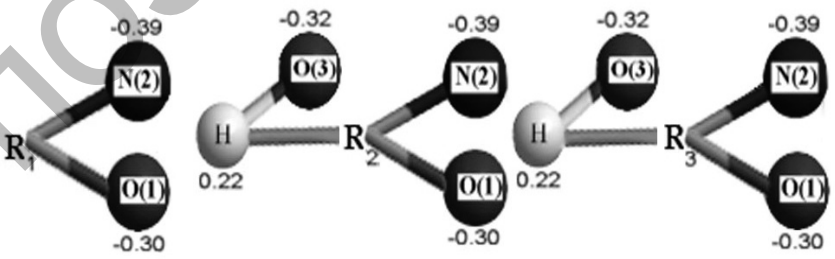


Рисунок 4. Ориентация рибитолной и флавиновой части молекул рибофлавина относительно друг друга (R_1, R_2, R_3 – отставшие части 1,2,3 молекул соответственно)

Структура этих молекул является игольчатообразними и они имеют оптически активность [13].

Таким образом, установлено, что самосборка молекул рибофлавина образуются в независимости от способа взаимного расположения мономерных молекул, но и от

Репозиторий КарГУ

ориентации флавиновой группы одной с рибитольной частью другой мономерной молекулы рибофлавина со структурой «голова – хвост».

Литературы:

1. Singh S, Mehra N.K, Jain N.K. Development and characterization of the paclitaxel loaded riboflavin and thiamine conjugated carbon nanotubes for cancer treatment. Pharm Res. 2016; 33 P.1769–1781.

2. Sau A, Sanyal S, Bera K, et al. DNA damage and apoptosis induction in cancer cells by chemically engineered thiolated riboflavin gold nanoassembly. ACS Appl Mater Interfaces. 2018; №10 P.4582–4589.

3. M. Roushani, F. Shahdost-fard. Applicability of AuNPs@N-GQDs nanocomposite in the modeling of the amplified electrochemical Ibuprofen aptasensing assay by monitoring of riboflavin. Bioelectrochemistry.2019. V.126. P.38-47.

4. Ching-Yi Wu and Yu-Chie Chen. Riboflavin immobilized Fe3O4 magnetic nanoparticles carried with n-butylidenephthalide as targeting-based anticancer agents. Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology 2019, V. 47, №1, P. 210–220

5. I.Ahmad, Z.Anvar, K.Iqbal. Metal ion mediated photolyusis reactions riboflavin: A kinetic study. J. Photochemstry and Photobiology. 2017. V.173. P.231-239.

6. M.A. Sheraz, S.H. Kazi, S. Ahmed, Z. Anwar, I.Ahmad. Photo, thermal and chemical degradation of riboflavin. Beilstein Journal of organic chemistry. 2014. V.10. P.1999-2012.

7. P. V. Lebedev-Stepanov, R. M. Kadushnikov, S. P. Molchanov, A. A. Ivanov, V. P. Mitrokhin, K. O. Vlasov, N.I. Rubin, G. A. Yurasik, V. G. Nazarov M. V. Alfimov. Self-assembly of nanoparticles in the microvolume of colloidal solution: Physics, modeling, and experiment. Nanotechnologies in Russia. 2013. V.8. (3–4). P. 137–162.

8. V. V. Shelkovnikov, A.I. Plekhanov, N. A. Orlova. Nanometer films of polymethine dyes in optical memory and nonlinear optics. Nanotechnologies in Russia. 2008. V.3. P.521

9. J. Xu, J. Xia, S. W. Hong, Z. Lin, F. Qiu, Y. Yang. Self-Assembly of Gradient Concentric Rings via Solvent Evaporat ion from a Capillary Bridge. Physical Review Letters. – 2006. –V. 96, #6. – P. 066104.

10. A. Gordon, R. Ford. The chemist's companion. Wiley Interscience, New York.1972.

11. S.Astanov, M.Z. Sharipov, A.R. Fayzullaev, E.N. Kurtaliev, N.Nizomov. Spectroscopic study of photo and thermal destruction of riboflavin. Journal of Molecular Structure 2014. V.1071. P.133–138.

12. Левшин Л.В., Рева М.Г., Рыжиков Б.Д. Зависимость спектральных характеристик ассоциатов сложных органических молекул от их структуры. // Журн.прикл. спектр., 1981, Т.34, № 4, С. 656-663.

13. G.K.Kasimova, S.Astanov, E.N. Kurtaliev, N.Nizomov. Structure of self-assembled riboflavin molecules in solutions. Journal of Molecular Structure 2019. V.1185. P.107–111.

Туртаева Н.М., Жасыбаева М.Б., Бауыржанкызы Г.Б., Нуркасымова С.Н., Ержанов К.К.
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан nurly.1989@mail.ru

Точное решение космологической модели f(r,t)-гравитации с фермионными полями

Введение. Множество исследованний в наше время посвящены вопросам эволюции нашей Вселенной. Этого требуют имеющиеся наблюдательные данные, такие как "темная энергия" и "темная материя". Но с другой стороны появляются и новые методы наблюдений, например гравитационные волны. Для описания этих данных используется целый ряд космологических моделей, так как выделить из них какую либо одну пока не представляется возможным. Для решения это проблемы используется метод обобщения теории гравитации, с целью рассмотреть влияние тех или иных компонентов модели. Здесь мы рассматриваем с одной стороны F(R) модель гравитации, где скаляр Риччи R заменяется функцией скаляра Риччи. С другой стороны телепаралель гравитация, где скаляр кручения T заменяется функцией от скаляра кручения

Репозиторий КарГУ

F (T). Здесь мы рассматриваем их обобщение F(R,T) модель гравитации [1,2]. Помимо этого одной из возможностей модификаий космологических моделей является дополнениескалярного поля ϕ, позволяющего учесть квантовые эффекты. В данной работе как обобщение мы дополнение поля фермионов ψ [3-7].

Основы мырзакуловской гравитации: Рассмотрим действие модели гравитации в следующем виде:

$$S = \int d^4x\sqrt{-g}[F(R,T) + L_m], \quad (1)$$

где

$R = \epsilon_1 g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$,
$T = \epsilon_2 S_p{}^{\mu\nu} T^{\rho}{}_{\mu\nu}$.

Здесь L_m - лагранжиан вещества, i = ± 1 - сигнатура, R - скаляр кривизны, T - скаляр кручения.

Исследуем эту модель в рамках метрики Фридмана-Робертсона-Уокера (ФРУ) с линейным элементомвидад$S^2 = dt^2 - a(t)^2(dx^2 + dy^2 + dz^2)$.Действие для этой метрики имеет вид:

$$S = 2\pi^2 \int dt a^3 \left\{F - \lambda_1 \left[R - u + 6\left(\frac{\ddot{a}}{a} + \frac{\dot{a^2}}{a^2}\right)\right] - \lambda_2 \left[T - v + 6\left(\frac{\dot{a}^2}{a^2}\right)\right] + L_m\right\}, \quad (2)$$

где u, ϑ –некоторые функции a,$\dot{a}$.
Без учета L_mуравнения Эйлера-Лагранжа для этой модели имеют следующий вид

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{a}} = \frac{\partial L}{\partial a}, \frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{R}} = \frac{\partial L}{\partial R}, \frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{T}} = \frac{\partial L}{\partial T}. \quad (3)$$

Уравнение энергии

$$E_L = \frac{\partial L}{\partial \dot{a}}\dot{a} + \frac{\partial L}{\partial \dot{R}}\dot{R} + \frac{\partial L}{\partial \dot{T}} - L = 0. \quad (4)$$

Здесь скаляр кривизны и кручения запишем как:

$$R = u - 6\left(\dot{H} + 2H^2\right), \quad (5)$$

$$T = v - 6H^2. \quad (6)$$

А λ как

$$\lambda_1 = F_R, \lambda_2 = F_T, \quad (7)$$

где F_R - производная F по R и F_T по T.
После интегрирования по частям точечный лагранжианможно написать как

$$L = a^3[F - (R-u)F_R - (T-v)F_T] + 6a\dot{a}^2[F_R - F_T] + 6a^2\dot{a}\left[\dot{R}F_{RR} + \dot{T}F_{RT}\right]. \quad (8)$$

В общем виде F ищется в виде:

Репозиторий КарГУ

$$F = R + T + f(R + T), \tag{9}$$

Если учесть L_m и для простоты решения можем принять здесь что $f(R + T) = 0$, а L_m имеет вид f-эссенции:

$$L_m = 2K(Y, \psi, \overline{\psi}) \tag{10}$$

где$Y = \frac{1}{2} i\left(\overline{\psi}\gamma_0 \dot{\psi} - \dot{\overline{\psi}}\gamma_0 \psi\right)$,а$\psi$- фермионное поле, то можем получить уравнения поля в виде (первая пара):

$$\rho = 3\,H^2, \tag{11}$$

$$-p = 2\dot{H} + 3H^2, \tag{12}$$

где $p = K$.

Если возьмем масштабный фактор модели в виде $a = a_1 t^n + a_2 e^t$, то мы можем получить выражение для K:

$$K = \frac{1}{(a_1 t^n + a_2 e^t)^2}\left[2\left((n(n-1)a_1 t^{n-2} + a_2 e^t)(a_1 t^n + a_2 e^t) - (n a_1 t^{n-1} + a_2 e^t)^2\right) + \right.$$
$$\left. +3(n a_1 t^{n-1} + a_2 e^t)^2\right]. \tag{13}$$

Помимо этого мы може получить выражение для параметра состояния ω, характеризующего эволюцию Вселенной. В общем виде он будет иметь вид:

$$\omega = -1 + \frac{2}{3}\left[1 - \frac{(n(n-1)a_1 t^{n-2} + a_2 e^t)(a_1 t^n + a_2 e^t)}{(n a_1 t^{n-1} + a_2 e^t)^2}\right]. \tag{14}$$

При $a_1 = 0$ он примет вид $\omega = -1$, и при $a_2 = 0$ соответственно $\omega = -1 + \frac{2}{3\,n}$, что совпадает с полученными ранее результатами.

Таким образом нами получено обобщенное решение для космологической модели F(R,T)-гравитации с фермионными полями в самом простейшем виде.

Литературы:

1. R. Myrzakulov. FRW Cosmology in F(R,T) gravity. The European Physical Journal C, 72, N11, 2203 (2012).

2. R. Myrzakulov. F(T) gravity and k-essence. General Relativity and Gravitation, v.44, N12, 3059-3080 (2012)

3. R.Myrzakulov. Cosmological models with non-canonical scalar and fermion fields: k-essence, f-essence and g-essence.

4. B. Meirbekov, Y. Myrzakulov and K. Yerzhanov. Myrzakulov gravity with f-essence and its FRW cosmology.

5. B.Meirbekov, O.Razina and P.Tsyba. Noether symmetry in Myrzakulov gravity with fermionic fields.

6. R. Myrzakulov, K. Yerzhanov, K. Yesmakhanova et al. g-Essence as the cosmic speed-up. Astrophysics and Space Science. V.341, I.2 , 681-688

7. K. Bamba, R. Myrzakulov, O. Razina, K. Yerzhanov. Cosmological evolution of equation of state for dark energy in G-essence models. International journal of modern physics D, V. 22 (6), 1350023, 2013

Репозиторий КарГУ

П.Ш.Мади[1], Е.Г.Нешина[2], М.С.Дуйсенбаева[3]
[1,2]НИ ТПУ, Томск, Россия, peri@mail.ru1_neg@mail.ru, [3]КарГТУ, Караганда, Казахстан. m_o_l_d_i_r_89@mail.ru

Математическая модель геометрических параметров оптических характеристик волны и температуры на основе дифракционной решетки

Детализированный анализ современных разработок в области практического применения волоконно-оптических датчиков (ВОД) от ведущих ученых России и стран западной Европы показал, что основными направлениями технологического внедрения результатов теоретических и экспериментальных исследований по усовершенствованию физических характеристик (диапазон длин волн и интенсивностей оптических сигналов; миниатюризация регистрирующих устройств и т.д.) ВОД относится к диагностической, контрольно-измерительной технике (медицинская физика, биотехнологии, военно-оборонная техника, горные и машиностроительные технологии, авиационная и транспортная промышленность) и технологиям систем связи, радио и телекоммуникации. Особый интерес для техники технологии представляют устройства и приборы на основе ВОД, работающие в экстремальных условиях: сильные электрические и магнитные поля; интенсивное когерентное (лазерное) излучение; неупругие деформации и механические напряжения; сверхнизкие и сверхвысокие температуры и др.).

Вопросы использования ВОД в горнодобывающей промышленности остаются не решенными до настоящего времени. Эта отрасль специализируется на добыче различных полезных ископаемых и находится в постоянном развитии, так как открываются новые месторождения, которые требуют применения специализированного оборудования и инновационных технологий. Поэтому все горнодобывающие предприятия оснащаются качественным, современным и модернизированным оборудованием. Однако имеются определенные проблемы, которые тормозят ее развитие. К ним в первую очередь относится безопасность и производительность. Многие предприятия горнодобывающей промышленности работают уже очень давно и используют при этом устаревшие сооружения, в результате чего вся территория, почва, подвергаются определенному негативному воздействию. Поэтому необходимо особое внимание уделить оснащению производства специальными системами и специализированным оборудованием, с помощью которых будет обеспечена безопасность и повышена производительность выполняемых работ на карьере. В настоящее время вопросы обеспечения безопасности открытых полезных ископаемых в плане устойчивости бортов карьера и бермы, а также своевременного прогнозирования их внезапного обрушения остается не решенной.

Системы мониторинга нового поколения с высокой скоростью измерения, способны эффективно функционировать в условиях, опасных по внезапному взрыву газа метана, так как не передают электрические сигналы. Безопасность проведения горных работ является важным аспектом и приоритетом функционирования сложной системы карьеров [1].

В настоящее время в наиболее развитых в техническом отношении странах Мира волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) сигналов получили широкое распространение и внедрены практически на всех уровнях информационно-коммуникационной инфраструктуры. По сравнению с существующими аналогами систем связи на медных кабелях, ВОСП обладают рядом технических преимуществ. Широкая полоса пропускания позволяет организовывать по одному волоконно-оптическому тракту с необходимым число каналов и возможностью их дальнейшего наращивания. Такая система связи предоставляет абоненту наряду с телефонной связью любые виды услуг связи (телевидение, телефакс, широкополосное радиовещание, справочное обслуживание, рекламу, местную связь и др.). Дополнительные преимущества заключаются в высокой степени

Репозиторий КарГТУ

защищенности системы ВОСП от нежелательных внешних электромагнитных воздействий (помех), в малом километрическом затухании, возможности организации регенерационных участков большой протяженности, а также в значительной экономии меди и потенциально низкой стоимости оптического кабеля и др.

Важной составляющей современных оптоволоконных технологий являются средства контроля и измерения параметров оптических сигналов, а также устройства, позволяющие регулировать интенсивность сигнала и его длину волны. Усовершенствование и разработка электронно-оптических схем для контрольно-измерительных и диагностических систем ВОСП является *актуальным* и востребованным на практике научно-исследовательским направлением [3].

Волоконно-оптические датчики разделяются на два типа: первый тип датчиков, в которых во время распространения света по оптическому волокну, исследуемое явление воздействует на свет; второй тип датчиков, имеющие *наружный чувствительный элемент*, в которых свет выводится из оптического волокна, подвергается влиянию и вновь запускается в волокно для передачи и обработки сигнала. В данной работе были рассмотрены датчики с наружным чувствительным элементом, в котором физический механизм преобразования параметров оптического сигнала основан на эффекте *дифракционной решетки*. Дифракционная решетка – оптический прибор, принцип работы которого построен на явлениях дифракции и интерференции, имеющий периодическую структуру и представляющий собой совокупность чередующихся с периодом s прозрачных (или полупрозрачных) и поглощающих полос. И целью данной работы является вывести математическую модель геометрических параметров, оптических характеристики волны (волновой вектор, длина волны) и температуры T на основе дифракционной решетки с варьируемыми параметрами.

Решетки применяются для измерения множества характеристик, и при всем этом для измерений применяются как интенсивность, так и длина волны. Принцип работы решеток основан на модуляции, которая проявляется как изменение интенсивности и длины волны. Но прежде чем анализировать свойства оптических решеток необходимо рассмотреть дифракцию. Самый простой случай - это дифракция на одной щели, где свет проходит через узкую щель и проецируется на экран.

Ключевыми характеристиками дифракционной решетки являются период решетки s и прозрачный фрагмент каждого периода a. Общее количество энергии, проходящей через ближнее поле пропорционально отношению $\frac{a}{\mathrm{s}}$.

В виртуальных лабораторных условиях, как правило, рассматриваются, или моделируются датчики на основе измерения интенсивности результирующего оптического сигнала, определяемой в зависимости от параметров решетки $\mathrm{I}(\xi)=\mathrm{I}_0\mathrm{k}(\xi)$, где $\mathrm{k}(\xi)=\frac{a(\xi)}{\mathrm{s}(\xi)}-$ коэффициент ослабления суммарной интенсивности интерферированных в решетке волн, выраженный через отношение ширины $a(\xi)$ и периода $\mathrm{s}(\xi)$ решетки, которые являются функциями на множестве $\xi=\{\xi_j\}$ варьируемых параметров системы. К параметрам такого рода, в развиваемой *нелинейной* математической модели, можно отнести геометрические параметры, оптические характеристики волны (волновой вектор, длина волны) и температуру T[2].

В частном случае, при $\mathrm{s}(\xi)=\mathrm{const}$, интенсивность модулированного прошедшего света равна $I(\xi)=I_0\frac{a(\xi)}{\mathrm{s}}$. Такой вид модуляции можно получить как результат относительного движения двух дифракционных решеток, расположенных в непосредственной близости одна

Репозиторий КарГУ

к другой.В датчиках, где используются дифракционные решетки, расположенные близко друг от друга, имеются сверхчувствительные элементы. Одна, из них подвижна, а другая не подвижна. Когда решетки расположены близко друг другу, то к проникающему свету они кажутся как одна решетка и период решетки sостается постоянным, а доля пропускающей площади будет изменяться в приделах от 0,5 до 0 в зависимости от положения подвижной решетки.

Можно сделать сразу вывод, что 100% изменение интенсивности будет тогда, когда решетки сдвинуты друг от друга на величину $a(\xi)$. А при этом чувствительность к смещению и динамический диапазон регулируются вместе. Сверхвысокая чувствительность получается за счет динамического диапазона. Волоконно-оптические датчики с подвижными решетками могут применяться для измерения любого параметра, изменение которых проявляются через движение и перемещение двух решеток.

Дифракционные решетки можно также использовать как устройства, реагирующие на длину волны. Если отношение $k(\xi_1,\xi_2)=\frac{a(\xi_1)}{s(\xi_2)}=\text{const}$, где период решетки модулируется некоторым представляющим интерес параметром ξ_2. Например, при постоянном угле регистрации θ, постоянном входном угле и однородном распределении энергии по длинам волн, во входном сигнале регистрируемый цвет будет непосредственно связан с параметром ξ_2 При этом решетка встроена или прикреплена к подложке, выбранной для измерения деформации, обусловленной исследуемым параметром. Если, например, выбрана подложка с большим коэффициентом теплового расширения тогда период решетки будет определяться из выражения $s=s_0[1+\alpha(T-T_0)]$, где α – коэффициент теплового расширения материала; s_0- период решетки при температуре T_0 [2].

При освещении отражательной дифракционной решетки с периодическими отражающими и поглощающими полосами широкополосным светом под постоянным углом θ_1 дифракция света зависит от периода решетки s (расстояние между центрами отражающих полос) и угла регистрации θ_2 в соответствии с уравнением решетки

$$s(\sin\theta_0+\sin\theta_1)=\pm m\lambda \qquad (1)$$

где углы углом θ_1, θ_2 измеряются в плоскости падения света, нормальной к решетке. Величина m - это порядок дифракции, задаваемым целым числом. Полосы решетки перпендикулярны к плоскости падения. Входной угол падающего излучения с решеткой составляет 10^0, а выходной 40^0. Оба угла расположены с одной и той же стороны от центра к решетке. Входное и выходное волокна разместили на расстоянии 3 и 4 см от решетки. В качестве оптического источника использовался лазер. Решетка была зафиксирована на столе поступательного перемещения, который использовался в эксперименте для получения входного положения. Кривая (рисунок 1), была получена измерениями распределения спектральной интенсивности при каждом смещении на миллиметр перемещаемого стола во всем диапазоне его перемещений.

Из этих исследований можно сделать следующий вывод, что этот метод допускает возможность проведения высокоточных измерений линейных смещений при помощи волоконной оптики.

Современные методы экспериментальных и теоретических исследований в области оптоволоконной техники строятся на достижениях в области оптоэлектроники, волновой техники и нелинейной оптики.

Репозиторий КарГУ

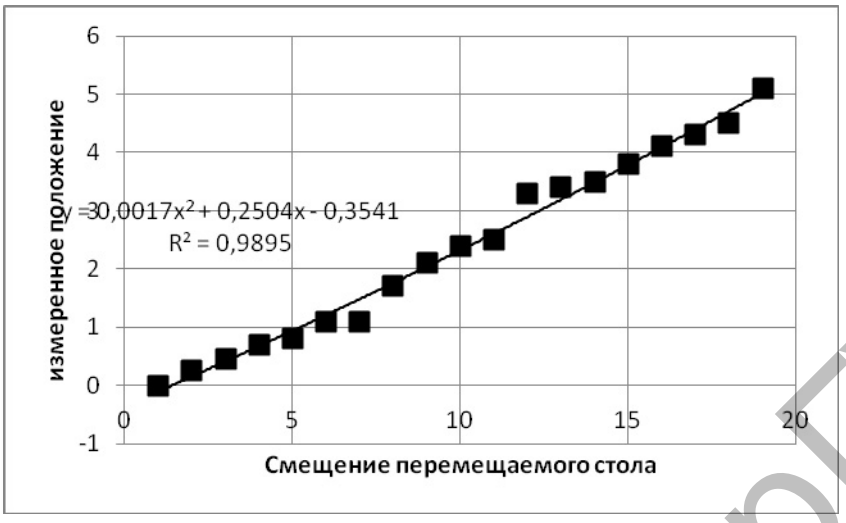


Рисунок 1. Соотношение измеренного и фактического положений решетки

При выполнении принципиальных схем оптоэлектронных приборов контроля и управления за параметрами различного уровня сложности технологических процессов, важным является решение вопроса о разработках быстродействующих систем автоматизированного управления волновыми характеристиками светового потока (импульса), входящего и выходящего из оптоволоконного канала. Остается открытым вопрос о разработке универсальных теоретических методов описания *нелинейных электронно-оптических процессов*, реализующихся в рабочих каналах контрольно-измерительных оптоволоконных устройств (датчиков, преобразователей длины волны; усилителей интенсивности сигнала; электронных интерферометров и др.), работающих в широком диапазоне параметров оптического излучения (интенсивность, длина волны и др.). Актуальным является вопрос о разработке эффективных методов компьютерного прогнозировании свойств материалов для рабочих элементов оптоволоконных устройств, что представляет собой отдельную теоретическую задачу, тесно связанную с экспериментальными и производственными испытаниями и базирующуюся на методах теории твердого тела, волновой физики и квантовой электроники[2].

Амплитуду суммарного сигнала от интерферированных в решетке волн, с полным числом штрихов в решетке N, вычисляем, с использованием условия максимума интерференции от двух волн, дифрагированных на одной щели $\Delta_{1,2} = s \cdot \sin\varphi$, где $\Delta-$ разность хода, а $\varphi-$ угол наблюдения интерференции от двух волн, в виде

$$\Xi = \Xi_1 \frac{\sin\left(\frac{N\varphi_{1,2}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varphi_{1,2}}{2}\right)}. \qquad (2)$$

Здесь $\varphi_{1,2} = k \cdot \Delta = \frac{2\pi s \cdot \sin\varphi}{\lambda}$ и соответственно, $\frac{\varphi_{1,2}}{2} = \pi s\varsigma-$ половина разность хода фаз двух когерентных волн, где $\varsigma = \frac{\sin\varphi}{\lambda}$; $\Xi_1 = \Xi_0 \sin\left(\frac{\varphi_{1,2}}{2}\right)-$ суммарная интенсивность волны, полученной в результате интерференции от двух когерентных волн, в модели одной щели;

Репозиторий КарГУ

$\Xi_0 = 2L$ – удвоенный радиус окружности описанной вокруг многоугольника характеристических векторов фазовой диаграммы интерференционной картины.

Величину интенсивности полного светового потока, полученного в результате интерференции когерентных волн, от всех N щелей решетки, под угол наблюдения интерференции φ, вычисляем в виде

$$I = I_1 \frac{\sin^2(\pi s\varsigma N)}{\sin^2(\pi s\varsigma)}, \quad (3)$$

где

$I_1 = I_0 \frac{\sin^2(\pi a\varsigma)}{(\pi a\varsigma)^2}$; I_0 – интенсивности светового потока, полученного в результате интерференции когерентных волн, от одной щели, под угол наблюдения интерференции $\varphi = 0$.

При выборе круглых отверстий, в результате дифракции Фраунгофера на одном круглом отверстии диаметром d, имеем

$$I = I_1 \frac{J_N(\pi d\varsigma N)}{J_1(\pi d\varsigma)}, \quad (4)$$

где

$I_1 = 2I_0 \frac{J_1(\pi d\varsigma)}{\pi d\varsigma}$; $J_1(\pi d\varsigma)$ – функция Бесселя 1 – го порядка, вычисляемая от аргумента

$\frac{\varphi_{1,2}}{2} = \pi d\varsigma$;

$J_N(\pi d\varsigma N)$ – функция Бесселя N – го порядка, вычисляемая от аргумента $\frac{\varphi_{1,2} N}{2} = \pi d\varsigma N$.

При исследовании функций Бесселя будем использовать ряд известных выражений. В случае $z = \pi d\varsigma N < 1$ можно применять разложения в бесконечные степенные ряды [4]

$$J_N(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!\Gamma(N+k+1)} \left(\frac{z}{2}\right)^{N+2k}, \quad (5)$$

где

гамма-функция вычисляется из равенства $\Gamma(N+k+1) = (N+k)!$.

Предлагаемые в данной работе методы могут использваться для регистрации и управления физическими характеристиками (длина волны, интенсивность сигнала, мощность и энергии потока оптического излучении и др.) оптоволоконных структур, применяемых в оптоволоконной технике радиотехнике, и в технологиях телефонной и телевизионной связи с широким диапазоном частот и амплитуд сигналов различного функционального назначения. В Качестве прикладных технических решений можно допустить применение данной методологии дл я регистрации и регулированияи прогнозирования данных по механическим деформациям и неупругим смещениям плостов горных пород (борты карьера и бермы), что актуально для современной горнорудной и угольной добывающей промышленности.

Репозиторий КарГУ

Развиваемые в работе математический аппарат на основании специальной функций типа Бесселя, Ханкеля или гипергеометричеких функций ранее опробирован при разработке физико-математической модели нелинейных электрофизических и магнитных явлений для автоматически упправлемых систем на основе протонных полупроводников и диэлектриков [5]

Литературы:

1. Yurchenko A.V., Mekhtiyev A.D., Bulatbaev F.N., Neshina Y.G., Alkina A.D. and MadiP.Sh.. 2019. Investigation of additional losses in optical fibers under mechanical actionPublished under licence by IOP Publishing Ltd. Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 516, Number 1. doi:10.1088/1757-899X/516/1/012004.

2. MadiP.Sh., KalytkaV.A., AlkinaA.D. and NurmaganbetovaM. T.Development of a model fiber-optic sensor of the external action on the basis of diffraction gratings with variable parameters of the system. Published under licence by IOP Publishing Ltd. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1327, Number 1. doi:10.1088/1742-6596/1327/1/012036

3. Boutiques E. I., 2003 Optics(BHV-Petersburg).

4. Korn G., Korn T. 1973. Handbook of mathematics (Moscow. Publishing House "Science").

5. Kalytka V.A., Korovkin M.V., Mekhtiev A.D., Yurchenko A.V. 2018. Non-linear polarizing effects in dielectrics with hydrogen bonds. *Russian Physics Journal*. - Vol. 61, No.4. pp. 757- 769. DOI: 10.1007/s11182-018-1457-8.

B.B.Kutum, Zh.B.Kutumova*
*Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan, *Karaganda State University, Karaganda, Kazakhstan kuttykadam@mail.ru*

Geometric properties of soliton surfaces of the toda lattice equation

The geometric properties of surfaces have found a number of applications in mechanics, engineering, and optics. Special classes of surfaces are studied by the methods of the soliton theory. Of great interest is the study of the relationship between integrable systems with differential geometry. One of the important surface characteristics is the first and second quadratic (fundamental) forms, Gaussian curvature, etc[1,2]. The first and second quadratic forms allow us to describe the internal and external surfaces of the investigated object. In the geometric interpretation of surfaces, the Sym-Tafel formula plays a significant role.Using these characteristics, it is possible to study soliton surfaces using the example of the Toda lattice equation.The Toda lattice is a non-linear evolution equation describing an infinite system of masses on a line that interacts through an exponential force. The Toda lattice is considered as a simple model of the nonlinear one-dimensional crystal in solid state physics. It is defined by a lattice of particles with the interaction of the nearest neighbor, described by the equations of motion [3,4].

The main transformation for the Toda lattice [5]

$$p_{nt} = v_n - v_{n+1}, v_{nt} = v_n(p_{n-1} - p_n) \quad (1)$$

which is derived from the compatability conditions, i.e. the discrete zero-curvature equation

$$U_{nt} - V_{n+1}^1 + U_n V_n^1 = 0, \quad (2)$$

of the eigenvalue problem

Репозиторий КарГУ

$$EY_n(\lambda) = U_n(u,\lambda)Y_n(\lambda), U_n(u,\lambda) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -v_n & \lambda - p_n \end{pmatrix}, \quad (3)$$

and the auxiliary problem

$$\frac{d}{dt}Y_n(\lambda) = V_n^1(u,\lambda)Y_n(\lambda), V_n^1(u,\lambda) = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}\lambda - p_{n-1} & -1 \\ -v_n & \frac{1}{2}\lambda, \end{pmatrix}, \quad (4)$$

where $u = (p_n, q_n)^T$ is a 2-component potential function vector and $Y_n(\lambda) = (Y_n^1(\lambda), (Y_n^2(\lambda))^T$. Here, the shift operator E and the inverse of E are defined by

$$Ef(n) = f(n+1) = f_{n+1}, E^{-1}f_n = f_{n+1}, n \in Z. \quad (5)$$

(3) and (4) equations are the Lax pairs of the Toda lattice (1).
We using (3) and (4) equations in quadratic forms. First quadraticform

$$I = \vec{r}_x^2 dx^2 + 2\vec{r}_x\vec{r}_y dxdy + \vec{r}_y^2 dy^2, \quad (6)$$

Second quadratic form

$$II = -d\vec{n} \cdot d\vec{r} = r_x^2, \quad (7)$$

where

$$r_x^{\pm} = r_{1x} \pm ir_{2x}, (r_1, r_2, r_3) = \vec{r},$$

$$\mathrm{tr}(r_x^2) = 2(r_{3x}^2 + r_x^+ r_x^-) = 2(r_{1x}^2 + r_{2x}^2 + r_{3x}^2) = 2\vec{r}_x^2.$$

Often geometric problems associated with soliton equations use the Sym-Tafel formula, which is as follows

$$r = \Phi^{-1}\Phi_\lambda, \quad (8)$$

where, $\Phi_x = U\Phi$ and $\Phi_t = V\Phi$and derivative of r by x and y gives

$$r_x = \Phi^{-1}U_\lambda\Phi, \quad (9)$$

$$r_y = \Phi^{-1}V_\lambda\Phi, \quad (10)$$

$$\vec{n} = \frac{\vec{r}_x \wedge \vec{r}_t}{|\vec{r}_x \wedge \vec{r}_t|} = \frac{\vec{r}_x \wedge \vec{r}_t}{\sqrt{g}}. \quad (11)$$

Build a soliton surface through $r_x, r_y, \vec{n}$. We need to find next $\mathrm{tr}$for the Toda lattice:

$$\mathrm{tr}(r_x^2) = 1, \mathrm{tr}(r_t^2) = \frac{1}{2}, \mathrm{tr}(r_x r_t) = \frac{1}{2}. \quad (12)$$

The first quadraticform of a soliton surface for the Toda lattice

Репозиторий КарГУ

$$I = dx^2 + dxdt + \frac{1}{2}dt^2. \quad (13)$$

Now you need to find the normal for the second quadraticform

$$n = \frac{\Phi^{-1}[U_\lambda, V_\lambda]\Phi}{\sqrt{-\frac{1}{2}tr([U_\lambda, V_\lambda]^2)}}, \quad (14)$$

for Toda lattice

$$[U_\lambda, V_\lambda] = U_\lambda V_\lambda - V_\lambda U_\lambda = 0, \quad (15)$$

so $n = 0$ and the second fundamental form of a soliton surface for the Toda lattice equals zero:

$$II = 0. \quad (16)$$

Using the data obtained, you can get the surface area

$$S = \iint \sqrt{g}\mathrm{d}x\mathrm{d}t = \iint |\vec{r}_x \wedge \vec{r}_t|\mathrm{d}x\mathrm{d}t, \quad (17)$$

$$g = \det(g_{ij}) = \det\begin{pmatrix} \vec{r}_x^2 & \vec{r}_x \cdot \vec{r}_t \\ \vec{r}_x \cdot \vec{r}_t & \vec{r}_t^2 \end{pmatrix} = \det\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \vec{r}_{xx}^2 \end{pmatrix} = \vec{r}_{xx}^2 = g. \quad (18)$$

Area of surfaces for Toda lattice:

$$S = \iint \sqrt{\frac{1}{2}\mathrm{tr}\begin{pmatrix} v_n & 0 \\ 0 & v_n \end{pmatrix}} = \iint \sqrt{v_n}dxdt. \quad (19)$$

As a result of the study of soliton surfaces using the example of the classical Toda lattice, the first and second quadratic forms and surface area are obtained. An interesting result was obtained, where the second quadratic form vanished. Which does not allow to study the Gaussian curvature and requires the study of other variants of the Toda lattice equation. These results allow a better understanding of the nature and properties of surfaces in mathematical physics.

References:

1. Rogers C., Schief W.K. Backlund and Darboux transformations: geometry and modern applications in soliton theory/ Rogers C., Schief W.K. // Cambridge university press. – 2002. - 424 p.

2. Sym A. Soliton surfaces and their applications (soliton geometry from spectral problems) / Sym A. // Part of the Lecture Notes in Physics book series. -2005. – V.239. – P. 154-231.

3. Тода М. Теория нелинейных решеток / М. Тода. – М.: Высшая школа, 1984. – 262 с.

4. Silindir, B. Soliton solutions of q-Toda lattice by Hirota direct method / Advances in Difference Equations. – 2012. – 121.

5. Zhang X., Yang H., Zhao J. and Xu X. Soliton Solution of the Toda Lattice Equation by the Darboux Transformation / Zhang X., Yang H., Zhao J. and Xu X. // Chinese journal of physics. – 2006. - V. 44 (2). – P.109-116.

Репозиторий КарГУ

О. Н. Каныгина, М. М. Филяк, А. Г. Четверикова, Л.С.Багдасарян
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, e-mail: lukash333@mail.ru

Самоорганизация структуры в природных конденсированных средах под воздействием высокочастотного поля

Основным направлением современного развития мировой керамической промышленности является переход на ресурсо- и энергосберегающее производство керамики нового поколения, отличающейся высоким уровнем собственных эксплуатационных свойств и обеспечивающей повышение качества продукции потребляющих отраслей.

Как и во всем мире, так и в Российской Федерации, ведутся поиски и разработки инновационных технологий, и одной из таковых является применение СВЧ – технологий [Информационно-Технический справочник по наилучшим доступным технологиям при Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации]. Очевидно, что для изучения целесообразности применения СВЧ- технологий при производстве новых керамических материалов необходимы фундаментальные исследования.

Основным направлением современного развития мировой керамической промышленности является переход на ресурсо- и энергосберегающее производство керамики нового поколения, отличающихся высоким уровнем собственных эксплуатационных свойств и обеспечивающих повышение качества продукции потребляющих отраслей.

Как и во всем мире, так и в Российской Федерации, ведутся поиски и разработки инновационных технологий, и одной из таковых является применение СВЧ – технологий

[Информационно-Технический справочник по наилучшим доступным технологиям при Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации].

Очевидно, что для изучения целесообразности применения СВЧ- технологий для получения новых керамических материалов необходимы фундаментальные исследования.

В данной работе проводились исследования по воздействию высокочастотного поля на конденсированную среду, состоящую из частиц природных глин.

В качестве объекта исследования была выбрана монтмориллонит содержащая глина месторождения Оренбургской области, химический состав которой указан в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав монтмориллонит содержащей глины

ППП,%	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	∑ , %
7,08	55,90	9,51	0,86	18,63	0,72	2,05	1,90	3,24	99,89

*Методы исследования и основные результаты.*Для исследования СВЧ-воздействия на морфологию частиц глины использовали три партии порошков: полидисперсную А и две монодисперсных В и С. Партия А состояла из частиц с эффективными диаметрами d, лежащими в диапазоне 630÷40 мкм. Средние диаметры частиц в монодисперсных партиях В и С составляли, соответственно, 630÷500 и 100÷40 мкм. Все партии порошков обработали СВЧ-излучением мощностью 700 Вт с частотой 24.45 ГГц. Время СВЧ-воздействия на полидисперсную систему составляло 5, 10 и 20 минут, а на монодисперсные — 10 и 20 минут.

Морфологические изменения на различных иерархических структурных уровнях контролировали оптическими методами с применением компьютерных способов обработки сигналов. По оптическим изображениям оценивали фрактальные параметры поверхностей до и после воздействия высокочастотного поля.

Результаты эксперимента приведены в таблице 2.

Репозиторий КарГУ

Таблица 2. Изменение фракционных составов после СВЧ-обработки

Фракция, №	Размер частиц *d*, мкм	Изменение массы, m, %		
		5 мин	10 мин	20 мин
Ф1	≥ 630	0.28	0.18	1.06
Ф2	630—160	1.45	9.51	11.26
Ф3	160—40	–1.13	–9.87	–9.89
Ф4	< 40	0.09	0.33	0.22

Видно, что за счет агломерации растет масса более крупных частиц (Ф2) и уменьшается доля частиц в Ф3. При этом заметна зависимость процесса агломерации от времени действия СВЧ: с увеличением времени от 5 до 10 минут агломерация активно развивается, увеличение времени действия высокочастотного поля 20 минут картину практически не меняет. Общая потеря массы глинистыми частицами за счет удаления с их поверхностей адсорбированной воды растет от 3.5 до 5.5 % с увеличением времени действия высокочастотного поля. Температура образцов в СВЧ-камере составляла 160—170 °С после 5 минут и 180—190 °С после 10 и 20 минут нагрева.

Воздействие высокочастотного поля на исследуемые системы приводит к формированию структуры, которую можно рассматривать как иерархичную, удовлетворяющую свойству самоподобия, то есть фрактальную. На рис. 1 приведены изображения поверхностей порошков полидисперсной системы А, полученные до (рис. 1а) и после воздействия высокочастотного поля в течение 10 (рис. 1б) и 20 (рис. 1в) минут.

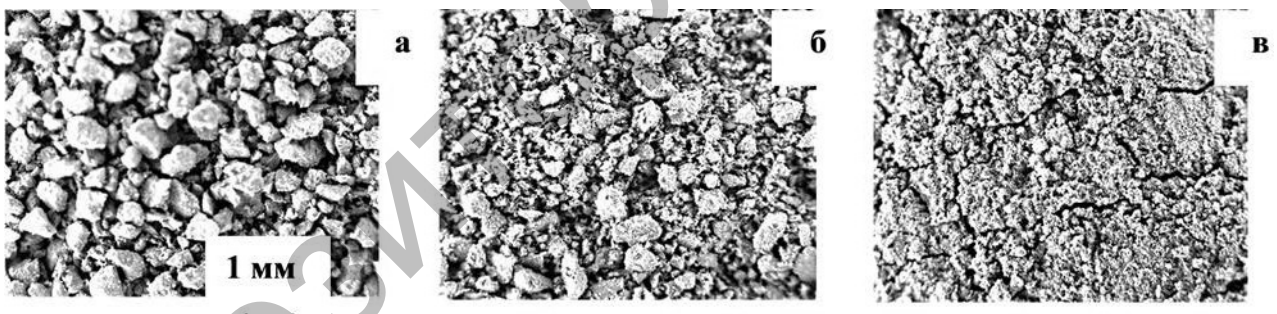


Рисунок 1. Изображения поверхностей полидисперсной системы А:
исходный образец (*а*), 10 минут (*б*) и 20 минут (*в*) воздействия СВЧ-излучения

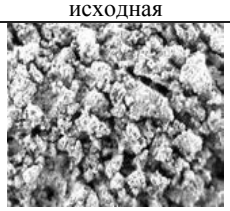
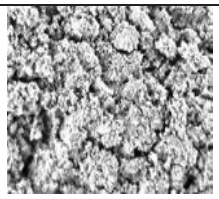
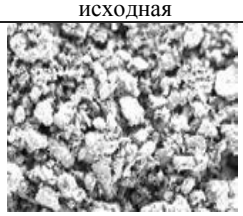
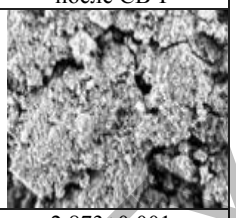
На рис. 1а видны частицы осколочной формы,«облепленные» после 10 минут воздействия высокочастотного поля мелкими частичками (рис.1б), и агломераты, разделенные механическими трещинами после 20-минутного действия высокочастотного поля (рис. 1в). Поверхности образцов имеют развитый рельеф и нерегулярное строение. Значение фрактальной размерности увеличилось с 2.826 до 2.852, т. е. поверхность становится более плотной.

Для фракций В и С установлены зависимости фрактальных параметров (фрактальной размерности, *D*ср. и лакунарности, Λ ср) от времени воздействия высокочастотного поля. Результаты представлены в таблице 3.

Увеличение фрактальной размерности связано, по нашему мнению, с процессом агломерации частиц порошка под действием высокочастотного поля. Неоднородность высокочастотного поля приводит к появлению пондеромоторных сил, пропорциональных градиенту квадрата амплитуды поля.

Репозиторий КарГУ

Таблица 3. Фрактальные параметры порошков партий B и C

Фрактальные параметры	Фракция			
	B		C	
	исходная	после СВЧ	исходная	после СВЧ
Морфология частиц				
Фрактальная размерность, *D*S ср.	2.865±0.001	2.865±0.001	2.856±0.001	2.873±0.001
Лакунарность, Λ ср.	0.031±0.001	0.026±0.001	0.021±0.001	0.013±0.001

Под действием этих сил заряженные частицы выталкиваются из областей с высокой напряженностью электромагнитного поля в области с низкой напряженностью E. Как следствие, происходит агломерация взаимодействующих частиц — их определенное пространственное распределение, т. е. самоорганизация системы. Эти результаты хорошо согласуются со снижением пористости – лакунарности, второго фрактального параметра. С повышением дисперсности частиц изменения фрактальных параметров заметнее.

*Выводы:*Сопоставление результатов традиционного гранулометрического анализа и фрактальных методов морфологического анализа частиц глинистых минералов показало, что воздействие высокочастотного поля на природную конденсированную среду приводит к ее самоорганизации, к стремлению занять равновесное положение. Необходимо отметить, что найден механизм воздействия на дисперсную глинистую систему, при котором поведение представляет собой процесс самоорганизации, в результате чего в системе могут возникать структуры различной сложности.

Привлечение к морфологическому анализу концепции фракталов, имеющих высокую чувствительность к структурным изменениям, может быть использовано для изучения законов образования и свойств различных сложных систем и создания материалов с уникальными физическими свойствами.

А.А. Потапов
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия, potapov@cplire.ru, Джинанский университет, Китай, Гуанчжоу

40 лет работы с фракталами и текстурами: Математические и физические аспекты фрактально - скейлингового метода в обработке многомерных сигналов, статистической радиофизике и радиолокации

В работе рассматриваются основные направления внедрения фракталов, текстур, дробных операторов и методов нелинейной динамики в фундаментальные задачи радиофизики, радиолокации, обработки многомерных сигналов и широкий спектр радиотехнических наук для создания новых информационных технологий. Исследование проводится в рамках научного направления «Фрактальная радиофизика и фрактальная радиоэлектроника: проектирование фрактальных радиосистем», инициированного и разрабатываемого автором в ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН в течение 40 лет с 1979 года по настоящее время [1 - 25].

Далее – частично процитируем раздел «*Об авторе и его работах*» из книги [25]:

«Александр Алексеевич Потапов – признанный в России и в мире ученый-радиофизик, автор важных фундаментальных и прикладных, теоретических и экспериментальных работ

Репозиторий КарГУ

по радиофизике и радиолокации, распространению радиоволн, анализу и обработке сигналов и изображений, фрактальному и текстурному анализу, дробным операторам, эффектам скейлинга и детерминированному хаосу.

Круг научных и прикладных исследований А.А. Потапова достаточно широк. Главным достижением А.А. Потапова являются результаты его многолетних пионерских работ по исследованию применения теории фракталов, дробных операторов, текстур, скейлинга и детерминированного хаоса в радиофизике, радиолокации, радиоэлектронике, электродинамике, распространении радиоволн, теории управления и широкого спектра смежных научных и технических направлений для создания и развития прорывных информационных технологий. За период его работы в ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН было дано надежное физическое обоснование практического применения фрактальных и текстурных методов в современных областях радиофизики, радиоэлектроники и информационно-управляющих систем; впервые предложена и доказана эффективность и перспективность применения теории дробной меры, теории размерности и скейлинговых соотношений (в случае текстур и фракталов) для обнаружения и распознавания одномерных и многомерных радиолокационных сигналов от малоконтрастных целей на фоне интенсивных негауссовских помех и шумов.

Он - инициатор постановки первых НИР и ОКР в России по радиофизическим применениям теории фракталов, текстур, скейлинговых эффектов и дробных операторов в радиосистемах.

А.А Потаповым на основе обширных исследований предложены, обоснованы и разработаны основополагающие принципы нового вида и нового метода современной радиолокации, а именно, фрактально-скейлинговой или масштабно-инвариантной радиолокации.

Научная деятельность А.А. Потапова отличается оптимальным сочетанием теоретических и экспериментальных исследований, выполняемых им на мировом уровне. Плодотворная и активная деятельность А.А. Потапова подтверждается большим количеством подготовленных им публикаций – более 1 000 научных трудов, включая 37 монографий и глав в монографиях, изданных в России и за рубежом.

Результаты научной деятельности А.А. Потапова по фрактальной и текстурной обработке информации в интенсивных помехах, а также по фрактальным радиосистемам, фрактальным антеннам и фрактальным радиоэлементам отмечены в четырех отчетных докладах Президиума Российской академии наук (Научные достижения РАН.- М.: Наука, 2008, 2010, 2012 и 2013 гг.), а также в Докладе Правительству Российской Федерации об итогах реализации в 2011 году Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008 – 2012 гг. (2012 г.). Им разработан курс лекций по применению фракталов в радиолокации для Центра подготовки специалистов Концерна РТИ Системы (РТИ им. акад. А. Л. Минца и ОАО НПК НИИДАР).

Научные достижения, научно-организационная и научно-педагогическая деятельность А.А. Потапова высоко оценены. А.А. Потапов - академик Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова и академик РАЕН, профессор Казанского государственного технического университета (КАИ) им. А.Н. Туполева, Почетный профессор Евразийского национального университета (Астана, Казахстан), Почетный профессор Джинанского университета (Гуанджоу, Китай), Президент совместной китайско-российской лаборатории информационных технологий и фрактальной обработки сигналов. А.А. Потапов награжден знаком “Почетный радист РФ” (2006 г.). Лауреат Премии им. академика А.М. Прохорова (2013) и Премии ВЭС ВКС (2016).

А.А. Потапов – организатор и главный редактор журнала “Нелинейный мир” (2003), член редколлегий нескольких международных журналов.

На основе пионерских работ А.А. Потапова с его учениками в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН сформировано новое фундаментальное направление "Фрактальная радиофизика и фрактальная

Репозиторий КарГУ

радиоэлектроника: проектирование фрактальных радиосистем", и создана Российская научная школа фрактальных методов, хорошо известная в мире.

Высокая научная эрудиция, работоспособность, принципиальность, целеустремленность, большое чувство ответственности за дело, которым он занимается, и всепоглощающая любовь к науке принесли А.А. Потапову заслуженный авторитет и широкую известность среди ученых».

Чтение лекций по разработанным профессором д.ф.-м.н. главным научным сотрудником А.А. Потаповым в ИРЭ РАН фрактальным и текстурным технологиям и доклады по проекту МНТЦ в 2000 г. и 2005 г. в США (Вашингтон, Нью-Йорк, Хантсвилл, Атланта, Франклин), в Китае (2011 г. и по настоящее время) и на многочисленных Международных конференциях (Англия, США, Канада, Голландия, Австрия, Германия, Франция, Испания, Италия, Венгрия, Греция, Турция, Шотландия, Швейцария, Швеция, Мексика, Китай, Сербия, Черногория, Болгария, Казахстан, Белоруссия, Украина) принесли автору широкую известность в кругах международной научной общественности.

В декабре 2005 г. американскими специалистами (из Алабамского университета и Центра космической плазмы и Аэроисследований США) в официальном письме на имя директора ИРЭ РАН академика Ю. В. Гуляева было отмечено, что «*…Семинары были крайне интересны и подтвердили высокую научную квалификацию доктора А. Потапова. Радиолокационные технологии, представленные доктором А. Потаповым, основаны на теории фракталов и являются новыми. Важность этих исследований для международного сообщества специалистов и ученых неоспорима*».

3. *О с н о в н ы е н а у ч н ы е н а п р а в л е н и я*, развиваемые автором с учениками с 1979 года по настоящее время, можно классифицировать следующим образом:

1. Разработка новых информационных технологий для современных бортовых и наземных комплексированных радиотехнических систем дистанционного зондирования и мониторинга окружающей среды, радиолокации, радиовидения и навигации, функционирующих в диапазонах оптических, миллиметровых и сантиметровых волн (ММВ и СМВ).

Теоретические и экспериментальные исследования физических основ рассеяния и распространения радиоволн с учетом пространственно-неоднородных характеристик зондируемой среды.

2. Фундаментальные исследования в области текстурных и фрактальных подходов к проблемам радиофизики, радиотехники, радиолокации, электродинамики, электроники, управления и широкого спектра смежных научных и технических направлений. Построение эмпирических и теоретических моделей соответствующих эредитарных нелокальных реальных стохастических процессов.

3. Применение корреляционно-экстремальных методов для решения задач информационного поиска, обнаружения, измерения характеристик и сопровождения динамических фрактальных и не фрактальных объектов на стохастических изображениях. Такие задачи возникают в радиолокации, исследовании природных ресурсов, дистанционном зондировании, навигации, метеорологии, обработке информации с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), медицине, биологии, при автоматизации научных исследований и т.д.

4. Разработка теории и проведение экспериментальных исследований широкополосных (ШП) и сверхширокополосных (СШП) процессов и сигналов. Разработка фрактальных и нелинейных ШП и СШП сигналов, включая принципиально новые типы сигналов (H – сигналы).

5. Развитие и разработка математических, в том числе текстурных и фрактальных, методов обработки оптических и радиолокационных изображений в информационных

Репозиторий КарГУ

системах различного назначения (радиолокация, медицина, материаловедение, нанотехнологии, сканирующие зондовые микроскопы, астрономия и т.д.).

6. Разработка и создание радиоэлектронных устройств для реализации математических фрактальных методов обнаружения сверхслабых многомерных сигналов на фоне интенсивных негауссовских помех для информационных систем нового поколения.

7. Физика основного уравнения радиолокации при зондировании фрактальных объектов и случайно-неоднородных сред. Фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация, фрактальные многочастотные MIMO-системы.

8. Теория дифракции волн на фрактальной многомасштабной поверхности. Многократное рассеяние волн во фрактальных дискретных случайно-неоднородных средах с точки зрения радиолокации самоподобных множественных групповых целей. Волны в неупорядоченных больших фрактальных системах (радиолокация, наносистемы, кластеры беспилотных летательных аппаратов и малоразмерных космических аппаратов, космический мусор и т.п.).

9. Применение теории фракталов в адаптивных популяционных методах формирования динамических группировок БПЛА с организацией «распределенного интеллекта», коллективного взаимодействия БПЛА в группе и в обработке поступающей информации с точки зрения теории их эффективного применения. Разработка решений в рамках понятия распределенной измерительной среды, когда каждая точка некоторой динамической среды способна выполнять сенсорные, измерительные и информационные функции, а также, на основе фрактально-графового подхода, позволяющего изучать рост сложных сетей и метод манипулирования такими сетями на глобальном уровне без детального описания.

10. Формулировка основ фрактальной парадигмы и глобального фрактально-скейлингового метода. Разработка и развитие функционального принципа «Максимум топологии при минимуме энергии» для принимаемого сигнала, позволяющий более эффективно использовать преимущества фрактально-скейлинговой обработки поступающей информации.

4. Фрактальная геометрия – громадная и гениальная заслуга Б. Мандельброта (1924 – 2010 гг.). Но ее радиофизическое / радиотехническое и практическое воплощение, это заслуга известной в мире Российской научной школы фрактальных методов под руководством проф. А.А. Потапова (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН). Несколько утрируя, можно сказать, что фракталы составляли тонкую амальгаму на мощном остове науки конца XX века. В современной ситуации интеллектуальное фиаско потерпели попытки принизить их значение и опираться только на классические знания.

Разработанная автором классификация фракталов была в декабре 2005 г. в США лично одобрена Б. Мандельбротом (1924 – 2010 гг.) – рис. 1 и приведена на рис. 2, где описаны их свойства при условии, что D_0 – топологическая размерность пространства вложения. Некоторые знаменательные в научной жизни автора события отражены на рис. 3 – 7.

Потапов А.А. – автор первой в России монографии "*Фракталы в радиофизике и радиолокации*" (М.: Логос, 2002., 664 с., тираж 1 000 экз.), вышедшей в 2005 г. по просьбе ряда организаций вторым, переработанным и дополненным изданием (Потапов А.А. *Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки*. - М.: Университетская книга, 2005. 848 с., тираж 2 000 экз.). Информация об этих двух монографиях размещена в рубрике “Новые книги по физике и смежным наукам” журнала УФН, 2002, т. 172, № 4, с. 493 и УФН, 2005, т. 175, № 5, с. 567. Эти две монографии стали настольными книгами ученых самых разных специальностей.

А.А. Потапов внесен в “Топ-100 самых цитируемых российских ученых по данным РИНЦ” по направлению научной деятельности “Электроника. Радиотехника”.

Потапов А.А. за пионерские разработки в мире в области прорывных информационных технологий и реализацию научных проектов по текстурам, фракталам и дробным операторам

Репозиторий КарГУ

в радиолокации и радиофизике награжден 17 медалями. В 1997 г. награжден медалью “В память 850-летия Москвы”. Награжден знаком “Почетный радист РФ” (2006). А.А. Потапов – лауреат Премии им. академика А.М. Прохорова (2013) и Премии ВЭС ВКС (2016).

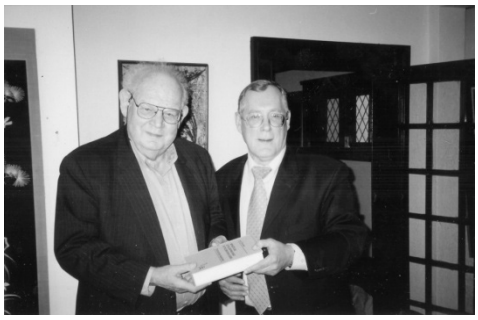


Рисунок 1. Встреча с Б. Мандельбротом у него дома в Нью-Йорке 16.12.2005 г.



Рисунок 3. Обсуждение с Г. Хакеном синергетики фрактальных методов обработки информации (Москва, 17.06.2004 г.).

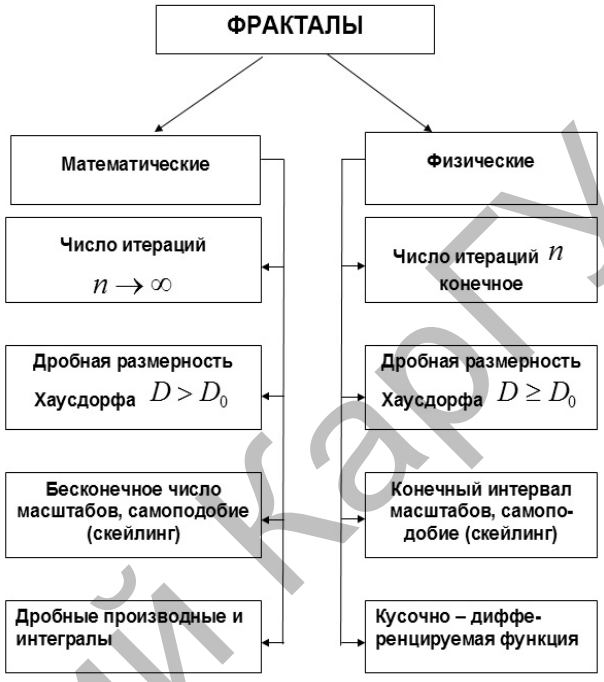


Рисунок 2. Авторская классификация фрактальных множеств и сигнатур, одобренная Б. Мандельбротом в 2005 г.



Рисунок 4. (Декабрь 2009 г.)



Рисунок 5. (12 декабря 2013 г.)



Рисунок 6. Встреча с членом Лондонского королевского общества сэром Р. Пенроузом, 02.04.2013 г.



Рисунок 7. Доклад во время церемонии присвоения звания Почетного профессора Джинанского университета (01.03.2011 г., Гуанджоу, Китай)

Репозиторий КарГУ

5. Основные развиваемые профессором д.ф.-м.н. А.А. Потаповым фундаментальные исследования по текстурным и фрактальным направлениям (с каждым годом число направлений увеличивается) представлены схематично на рис. 8 и опубликованы в [1 - 25]. Новые топологические признаки и новые методы обнаружения малоконтрастных объектов на фоне интенсивных помех приведены на рис. 9 и также опубликованы в [1 - 25].

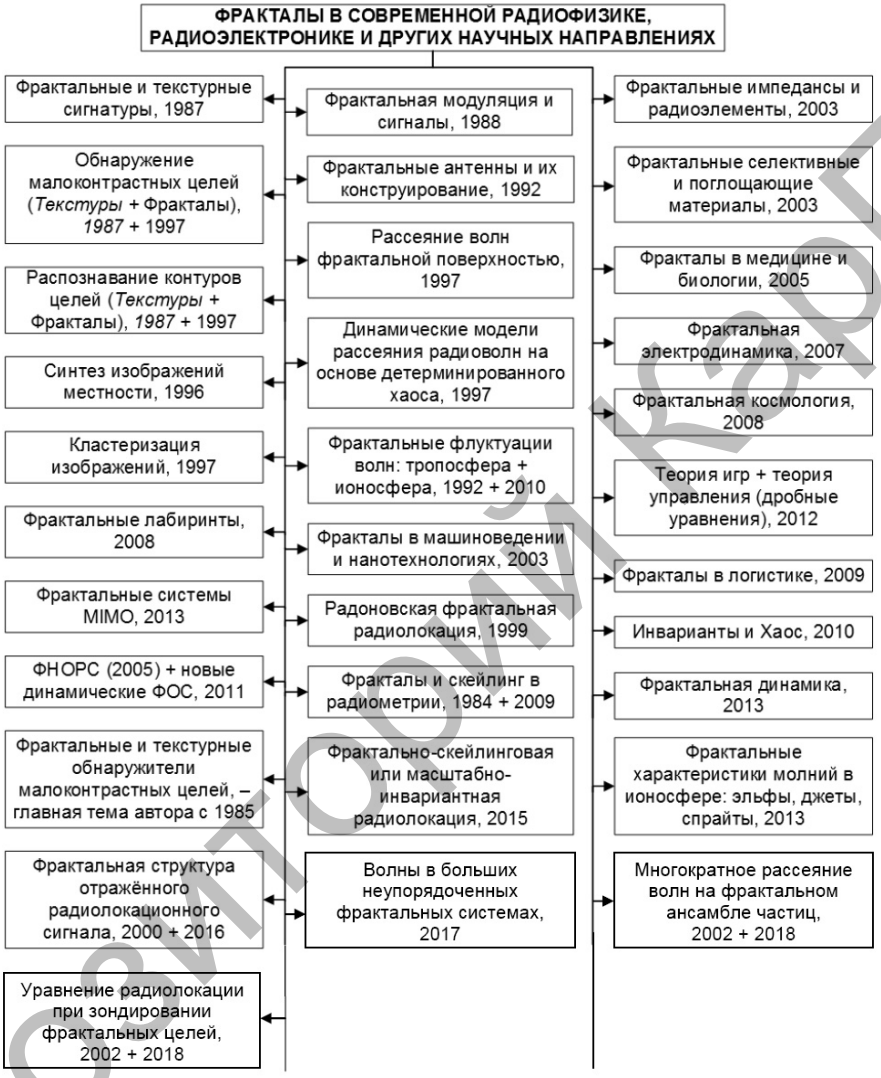


Рисунок 8. Эскиз развития автором прорывных технологий на основе фракталов, дробных операторов и эффектов скейлинга для нелинейной физики и радиоэлектроники: ФНОРС – фрактальный непараметрический обнаружитель радиолокационных сигналов, ФОС – фрактальный обнаружитель сигналов

Применение идей масштабной инвариантности – «скейлинга» совместно с теорией множеств, теорией дробной размерности, дробным исчислением, общей топологией, геометрической теорией меры и теорией динамических систем открывают большие потенциальные возможности и новые перспективы в обработке многомерных сигналов и в родственных научных и технических областях. Другими словами, полное описание процессов современной обработки сигналов и полей невозможно с помощью подходов и формул классической математики [1 - 25].

Актуальность проведения данных фундаментальных исследований связана с необходимостью более точного описания реальных процессов, происходящих в

Репозиторий КарГУ

радиофизических и радиотехнических системах. Это прежде всего, учет *эредитарности* (памяти), *негассовости и скейлинга* (самоподобия, автомодельности) физических сигналов и полей.

При фрактально-скейлинговом подходе, предложенном и развиваемом автором в течение ровно 40 лет, описание и обработка сигналов и полей проводится исключительно в пространстве дробной меры с применением гипотез скейлинга, негауссовских устойчивых распределений с тяжелыми хвостами и, по возможности, с применением аппарата дробных интегропроизводных.

Заметим, что наличие в уравнениях дробной производной по времени интерпретируется как наличие памяти, или, в случае стохастического процесса - немарковости.

И еще одно: В книге *Гвай И.И.* «О малоизвестной гипотезе Циолковского» / С предисловием и под ред. д.т.н. *П.К. Ощепкова*. - Калуга: Калужское книжное изд-во, 1959. – 248 с. (на с. 24–25) можно найти такие слова:

«*Новые научные гипотезы почти всегда требуют и новых необычных аргументаций потому, что эти гипотезы оперируют именно с новым, а не с ожидаемым, и необходимые закономерности, которые эта гипотеза обещает создать в будущем, не являются очевидными с первого взгляда. В этом - основная уязвимость новых гипотез, тогда как устоявшиеся и закрепленные практикой теории зачастую кажутся незыблемыми. Но ни одна даже лучшая гипотеза не может считаться законченной и абсолютно неподвижной, а ученый, идущий по следу, как говорил Леонардо да Винчи, никогда не обгонит*».



Рисунок 9. Топологические признаки и новые методы обнаружения малоконтрастных объектов на фоне интенсивных помех: РЛИ – радиолокационные изображения, ТП – текстурные признаки, ЧФК – частотная функция когерентности

6. Основным свойством фракталов является нецелое значение их размерности *D*. Наиболее плодотворным оказалось применение дробной размерности Хаусдорфа, тесно связанной с понятиями энтропии, фракталами и странными аттракторами в теории динамических систем. Понятие меры и размерности Хаусдорфа определяется p - мерной мерой, которую ввел Хаусдорф в 1919 г. Понятия, введенные Хаусдорфом, основываются на конструкции Каратеодори (1914 г.). Размерность Хаусдорфа $\dim_H A$ определяется через хаусдорфову α-меру $mes_{H,\alpha}$ множества в виде

$$mes_{H,\alpha} = \lim_{\varepsilon \to 0} \inf_{\Gamma(A)} \sum [d(U)]^{\alpha}, \qquad (1)$$

Репозиторий КарГУ

где нижняя грань inf берется по конечным или счетным покрытиям Γ множества A шарами U, диаметр которых $d(U)<\varepsilon$. Размерность $\dim_H A$ определяется как такое число α_0, что мера (1) при $\alpha > \alpha_0$ равна нулю, а при $\alpha < \alpha_0$ - бесконечности.

В основе современной теории вероятностей лежат предельные теоремы о сходимости распределений сумм независимых случайных величин к так называемым устойчивым распределениям: гауссовским или негауссовским. Первые опираются на центральную предельную теорему, а вторые (негауссовские) – на предельную теорему, доказанную Б.В. Гнеденко (1939 г.) и В. Дёблин (1940 г.). Для того чтобы закон распределения $F(x)$ принадлежал области притяжения устойчивого закона с характеристическим показателем α ($0 < \alpha < 2$), отличного от гауссовского, необходимо и достаточно, чтобы

1) $\dfrac{F(-x)}{1-F(x)} \to \dfrac{c_1}{c_2}$ при $x \to \infty$,

(2)

2) для каждой постоянной $k > 0$

$$\frac{1-F(x)+F(-x)}{1-F(kx)+F(-kx)} \to k^{\alpha} \quad \text{при } x \to \infty, \tag{3}$$

где коэффициенты $c_1 \geq 0$, $c_2 \geq 0$, $c_1 + c_2 > 0$, $0 < \alpha < 2$.

Для доказательства (2) и (3) необходимо и достаточно, чтобы при некотором подборе постоянных B_n, выполнялись условия:

$$nF(B_n x) \to \frac{c_1}{|x|^{\alpha}} \qquad (x < 0),$$

$$n[1-F(B_n x)] \to \frac{c_2}{x^{\alpha}} \qquad (x > 0), \tag{4}$$

$$\lim_{\varepsilon \to 0} \overline{\lim_{n \to \infty}} n\left\{\int_{|x|<\varepsilon} x^2 dF(B_n x) - \left[\int_{|x|<\varepsilon} x dF(B_n x)\right]^2\right\} = 0 \cdot$$

Чем меньше величина α, тем длиннее хвост распределения и тем более оно отличается от гауссовского. При $1 < \alpha < 2$ устойчивые законы имеют математическое ожидание; при $0 < \alpha \leq 1$ устойчивые законы не имеют ни дисперсий, ни математических ожиданий. Условиями (2) – (4) определяется так называемая *негауссовская статистика*.

В обычной статистике флуктуации стремятся к нулю, когда размер выборки или число слагаемых N возрастает. Для статистики Леви ситуация может отличаться радикально. При увеличении размера выборки точность статистических оценок не улучшается! Стандартная форма центральной предельной теоремы предсказывает исчезновение флуктуаций при больших N, а из обобщенной центральной предельной теоремы (при $\alpha < 1$) следует, что флуктуации существенны при сколь угодно больших N. Одновременно при $\alpha < 1$ наблюдается случай глобальной неэргодичности процессов.

Репозиторий КарГУ

Дробный математический анализ имеет давнюю историю и чрезвычайно богатое содержаниЕ. Идеи о дробном интегродифференцировании занимали многих видных ученых: Лейбница, Эйлера, Лиувилля и др. В настоящее время наиболее часто используется выражение дробной производной D_{at}^{α} в форме, предложенной Риманом и Лиувиллем ($_{RL}D_{at}^{\alpha}$). Оператор интегродифференцирования в смысле Римана-Лиувилля дробного порядка $\alpha \in R$ с началом в точке *a* определяется следующим образом:

$$_{RL}D_{at}^{\alpha} f(t) = \frac{\operatorname{sign}(t-a)}{\Gamma(-\alpha)} \int_a^t \frac{f(\tau)}{|t-\tau|^{\alpha+1}} d\tau, \qquad \alpha < 0, \tag{5}$$

$$_{RL}D_{at}^{\alpha} = f(t), \qquad \alpha = 0, \tag{6}$$

$$_{RL}D_{at}^{\alpha} = \operatorname{sign}^n(t-a) \frac{d^n}{dt^n} D_{at}^{\alpha-n} f(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \frac{d^n}{dt^n} \int_a^t (t-\tau)^{n-\alpha-1} f(\tau) d\tau, \tag{7}$$

где $n-1 < \alpha \le n$, $n \in N$; $\operatorname{sign}(z)$ определяется равенствами $\operatorname{sign} 0 = 0$, $\operatorname{sign} z = z/|z|$, $(z \ne 0)$; $\Gamma(\alpha)$- гамма-функция.

В настоящее время достаточно широко используется формулировка Капуто]:

$$_{C}D_{at}^{\alpha} f(t) = \operatorname{sign}^n(t-a) \, _{RL}D_{at}^{\alpha-n} f^{(n)}(t), \; n-1 < \alpha \le n, \quad n \in N. \tag{8}$$

Производные Римана-Лиувилля и Капуто связаны соотношением

$$_{C}D_{at}^{\alpha} f(t) = _{RL}D_{at}^{\alpha} f(t) - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{f^{(k)}(\tau)}{\Gamma(k-\alpha+1)} |\tau - t|^{k-\alpha}, \quad n-1 < \alpha \le n, \quad n \in N. \tag{9}$$

В случае $\alpha = n$ получаем

$$_{RL}D_{at}^{n} f(t) = _{C}D_{at}^{n} f(t) = \operatorname{sign}^n(t-a) \frac{d^n}{dt^n} f(t), \quad n \in N. \tag{10}$$

Производная Капуто имеет ту же самую физическую интерпретацию, что и производная Римана-Лиувилля. В частности, при $f(0) = 0$ и $0 < \alpha < 1$ имеем точное равенство

$$_{C}D_{0t}^{\alpha} f(t) = _{RL}D_{0t}^{\alpha} f(t).$$

Для расчета производной Римана-Лиувилля необходимо знание значений функции, а для производной Капуто - ее производных, что намного сложнее. Некоторое достоинство производной Капуто состоит в том, что она равна нулю для постоянной функции, что более привычно для исследователя.

7. В заключение следует отметить, что проблема фракталов в радиолокации, радиофизике и радиотехнике на самом деле необъятна. В работе сделана попытка осветить только принципиальные и основополагающие вопросы. Автор поставил эти вопросы еще в 1979 году и в течение 40 лет успешно работает над их разрешением. Фрактальные методы, аналогичные излагаемым в настоящей работе, могут быть применены при рассмотрении волновых и колебательных процессов в оптике, акустике и механике. Область фрактальных

Репозиторий КарГУ

наук открыта для творческих поисков. Однако прежде чем начинать творить, необходимо ясно осознать идеи автора, лежащие в основе созданного им глобального фрактально-скейлингового метода.

Открыт, предложен и обоснован новый вид и новый метод современной радиолокации, а именно, фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация. В работе представлены идеи и основные стратегические направления в синтезе новых видов радиолокационных текстурно-фрактальных или топологических обнаружителей малоконтрастных объектов. Также предложены новые семейства топологических признаков и разработаны новые методы обнаружения малоконтрастных объектов на фоне интенсивных помех. Фрактальная радиолокация способна адекватно описать и объяснить значительно более широкий класс радиолокационных явлений.

Это влечет за собой коренные изменения в самой структуре теоретической радиолокации, а также в ее математическом аппарате. Необходимое переосмысление прежней теории будет способствовать получению на этой основе новых результатов, не доступных для традиционных представлений классической радиолокации. Таким образом, топологическое обнаружение открывает двери в совершенно новую область теории статистических решений и позволяет скорректировать бытующие в этой области представления, и создать новые, что имеет важное теоретическое и практическое значение. Разработанные автором концепции имеют общие точки соприкосновения и с когнитивной радиолокацией. Внедрение фракталов, эффектов скейлинга и дробных операторов дает «импульс» и современной радиоэлектронике, так как вся предыдущая и настоящая радиоэлектроника базируется исключительно (и только!) на основе теории целочисленных функций. Таким образом, это принципиально *новая радиотехника*.

Созданные автором фрактальная радиофизика, фрактальная радиотехника и фрактальная радиолокация – это своеобразные радионауки, проникнутые духом и идеями классической радиофизики и радиотехники, в то же время являются принципиально новыми направлениями. По монографиям профессора А.А. Потапова поставлены курсы лекций по фракталам в радиофизике и радиоэлектронике в различных университетах России и стран ближнего зарубежья, а также в Китае. Библиографические исследования доказывают полный и абсолютный приоритет автора в мире по всем «фрактальным» направлениям в радиофизике и радиолокации (список авторских работ насчитывает более 1 000 публикаций, в том числе 37 монографий и глав в монографиях, изданных в России и за рубежом [25]).

Работа была частично подержана Международным научно-техническим центром (проект № 0847.2, 2000–2005, США), Российским фондом фундаментальных исследований (проекты РФФИ №05-07-90349, 07-07-07005, 07-07-12054, 07-08-00637, 11-07-00203, 18-08-01356-а), а также проектом "Leading Talents" (проект № 00201502, 2016–2020) в Джинанском университете (Гуанджоу, Китай).

Литературы:

1. Потапов А.А. О фрактально-скейлинговой или масштабно-инвариантной радиолокации: взгляд из юбилейного 2015 года // Вестник КарГУ. Сер. Физика. 2015. – № 3 (79). С. 4–23.

2. Potapov A.A. On Fractal Dimension Spectrum of New Lightning Discharge Types in Ionosphere: Elves, Jets and Sprites // Eurasian Physical Technical Journal. – 2016. – Vol. 13. – No. 2(26). – P. 6–12.

3. Potapov A.A. Analysis and Synthesis of Topological Radar Detectors of Low-Contrast Targets Against the Background of High Intensity Noise as a New Branch of Radiolocation and the Theory of Statistical Solutions // Eurasian Physical Technical Journal. – 2016. – Vol. 13. – No. 2(26). – P. 13–24.

4. Potapov A.A. On the Fractal Theory Application in Adaptive Population Methods of Formation of Dynamical Groups of Unmanned Aerial Vehicles and in Processing of Incoming Information in Respect to its Effective Application Theory // Eurasian Physical Technical Journal. – 2017. – Vol. 14. – No. 1(27). –P. 6–17.

Репозиторий КарГУ

5. Потапов А.А. Общая постановка проблемы потенциальных возможностей фрактально-скейлинговых методов в радиофизике, радиолокации и в теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов // Proc. ofthe 10-thInt. Scientific Conf. «Chaos and Structures in Nonlinear Systems. Theory and Experiment», devoted to the 75th anniversary of Prof. Z. Zhanabaev (Kazakhstan, Almaty, June 16 – 18, 2017). – Almaty: Al-Farabi Kazakh National University, 2017. – P. 17–33.

6. Potapov A.A. On the Issues of Fractal Radio Electronics: Part 1. Processing of Multidimensional Signals, Radiolocation, Nanotechnology, Radio Engineering Elements and Sensors // Eurasian Physical Technical Journal. – 2018. – Vol. 15. – No. 2(30). – P. 5–15.

7. Potapov A.A. On the Issues of Fractal Radio Electronics: Part 2. Distribution and Scattering of Radio Waves, Radio Heat Effects, New Models, Large Fractal Systems // Eurasian Physical Technical Journal. – 2018. – Vol. 15. – No. 2(30). – P. 16–23.

8. Potapov A.A. Fractal and topological sustainable methods of overcoming expected uncertainty in the radiolocation of low-contrast targets and in the processing of weak multi-dimensional signals on the background of high-intensity noise: A new direction in the statistical decision theory // IOP Conf. Ser.: Journal of Physics: Conf. Ser. – 2017. – V. 918. – № 012015. – https://doi.org/10.1088/1742-6596/918/1/012015. – 19 p.

9. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. – М.: Логос, 2002. – 664 с.; Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.

10. Бункин Б.В., Реутов А. П., Потапов А. А. и др. Вопросы перспективной радиолокации (Коллективная монография). М.: Радиотехника, 2003. - 512 с.

11. Потапов А.А. Фракталы и хаос как основа новых прорывных технологий в современных радиосистемах. – Дополнение к кн.: Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах. М.: Техносфера, 2006. – С. 374–479.

12. Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А.А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с. (монография - по гранту РФФИ № 07 – 07 - 07005).

13. Потапов А.А. Фрактальный метод и фрактальная парадигма в современном естествознании. – Воронеж: ИПЦ “Научная книга”, 2012. – 108 с.

14. Потапов А.А., Быстров Р.П., Гвоздев А.Е., Немцов А.В. Избранные вопросы теории и практики линейной и нелинейной радиолокации. В 3-х частях. – Ч. I. Линейная радиолокация, 240 с.; – Ч. II. Нелинейная радиолокация, 234 с.; – Ч. III. Нелинейная радиолокация, 180 с. / Под ред. д.ф.-м.н. профессора А.А. Потапова. – М.: 3 ЦНИИ МО РФ, 2014.

15. Potapov Alexander A. Chaos Theory, Fractals and Scaling in the Radar: A Look from 2015. – Глава 12 в книге: The Foundations of Chaos Revisited: From Poincaré to Recent Advancements / Ed. C. Skiadas. – Switzerland, Basel: Springer Int. Publ., 2016. – P. 195–218.

16. Быстров Р.П., Гвоздев А.Е., Немцов А.В., Потапов А.А., Шеремет И.Б. Современное состояние и перспективы развития беспилотных летательных аппаратов ведущих государств мира. – М.: 3 ЦНИИ Минобороны России, 2016. – 399 с.

17. Potapov Alexander A. On the Indicatrixes of Waves Scattering from the Random Fractal Anisotropic Surface. – Глава 9 в книге: Fractal Analysis - Applications in Physics, Engineering and Technology / Ed. Fernando Brambila.- Rijeka:InTech, 2017. – P. 187–248.

18. Potapov Alexander A. Postulate “The Topology Maximum at the Energy Minimum” for Textural and Fractal-and-Scaling Processing of Multidimensional Super Weak Signals against a Background of Noises. Глава 3 в книге: Nonlinearity: Problems, Solutions and Applications. Vol. 2 / Ed. Ludmila A. Uvarova, Alexey B. Nadykto, and Anatoly V. Latyshev. – New York: Nova Science Publ., 2017. – P. 35–94.

19. Потапов А.А. Фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация и фрактальная обработка сигналов и изображений // Сб. науч. работ к 65-летию создания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и 110-летию со дня рождения академика В.А. Котельникова / Под ред. чл.-корр. РАН С.А. Никитова. – М.: ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 2018. – С. 99–104.

20. Потапов А.А. Рассеяние волн на стохастической фрактальной поверхности // Сб. науч. работ к 65-летию создания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и 110-летию со дня рождения академика В.А. Котельникова / Под ред. чл.-корр. РАН С.А. Никитова. – М.: ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 2018. – С. 155–159.

Репозиторий КарГУ

21. Alisultanov Z.Z., Agalarov A.M., Potapov A.A., Ragimkhanov G.B. Some Applications of Fractional Derivatives in Many - Particle Disordered Large Systems. – Глава 7 в книге: Fractional Dynamics, Anomalous Transport and Plasma Science / Ed. C. Skiadas. – Switzerland: Springer Int. Publ., 2018. – P. 125–154.

22. Потапов А.А. Многократное рассеяние волн на фрактальном ансамбле частиц и в больших неупорядоченных фрактальных системах // В книге: "Турбулентность, динамика атмосферы и климата" / Под ред. Г.С. Голицына и др. – М.: Физматкнига, 2018. – С. 564–573.

23. Потапов А.А. Фракталы и текстуры в радиофизике и радиоэлектронике: 40 лет научных разработок // Сб. материалов XIV Международной конф. «Забабахинские научные чтения» (Снежинск, 18 – 22 марта 2019 г.). – Снежинск: Изд-во РФЯЦ - ВНИИТФ, 2019. – С. 105–107.

24. Гуляев Ю.В., Потапов А.А. Применение теории фракталов, дробных операторов, текстур, эффектов скейлинга и методов нелинейной динамики в синтезе новых информационных технологий для задач радиоэлектроники (в частности, радиолокации) // Радиотехника и электроника. – 2019. – Т. 64. – № 9. – С. 839–854.

25. Профессор Александр Алексеевич Потапов. Биобиблиографический указатель / Под ред. академика Ю.В. Гуляева. – М.: 2019. – 256 с. (*Одобрено Ученым советом ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН 26.12.2018*).

М.З.Шарипов, Б.Ю.Соколов, М.Н.Ризокулов
Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан. e-mail: m.z.sharipov@rambler.ru

Доменная структура и магнитная фазовая *H – T* – диаграмма тербиевого феррита-граната $TB_3FE_5O_{12}$ в температурной области в окрестности точки магнитной компенсации

Редкоземельные ферриты-гранаты (РЗФГ), в состав которых входят тяжелые РЗ ионы, имеют так называемую точку магнитной компенсации – температуру T_c (ниже температуры Кюри), при которой их спонтанный магнитный момент M_s обращается в нуль. С практической точки зрения РЗФГ с достаточно высокими T_c представляют интерес как материалы для элементной базы приборов магнитной микроэлектроники, использующих термомагнитный способ записи/стирания информации [1, 2].

В этой связи были проведены прямые визуальные наблюдения доменной структуры (ДС) тонкой монокристаллической пластинки тербиевого феррита-граната $Tb_3Fe_5O_{12}$ в температурной области [3], включающей его температуру магнитной компенсации (T_c = 248,6 К [4]), результаты которых представлены далее.

В наших экспериментах использовался образец монокристалла $Tb_3Fe_5O_{12}$ в виде плоскопараллельной пластинки с поперечными размерами ≈ 2 × 3 мм^2 толщиной ≈ 100 мкм, сориентированной так, чтобы ось [111] составляла с нормалью к ее плоскости угол ≈ 10^0, а одна из осей ⟨111⟩ имела меньший наклон к плоскости образца по сравнению с двумя другими (ошибка кристаллографической ориентации образца ~ ± 2^0) [5].

Известно [6, 7], что в РЗФГ в некотором интервале внешнего магнитного поля происходит разворот векторов M_{Fe} и M_R от антипараллельного расположения до параллельного, т.е. возникает скошенная магнитная фаза, в которой угол между M_{Fe} и M_R отличен от 180^0. Критическое поле начала разворота подрешеточных магнитных моментов:

$$H_к \propto (M_{Fe} - M_R) H_0,$$

где H_0 – обменное поле, действующее между железной и РЗ подрешетками, откуда следует, что вблизи точки магнитной компенсации $H_к \to 0$, т.е. при $T \to T_c$ для начала

Репозиторий КарГУ

разворота векторов M_{Fe} и M_R может оказаться достаточно полей рассеяния, создаваемых соседними доменами. Поэтому в общем случае при нормальном падения света на плоскость образца спонтанный эффект Фарадея в РЗФГ может быть представлен в виде:

$$\theta_F = \left(a\vec{M}_{Fe}\cos\theta_1 + bM_R\cos\theta_2\right)l, \quad (1)$$

где a и b – зависящие от частоты света магнитооптические коэффициенты; θ_1, θ_2 – углы, образованные векторами M_{Fe} и M_R с нормалью к плоскости образца (в коллинеарной магнитной фазе кристалла $\theta_1 = \theta_2$); l – толщина образца.

В $Tb_3Fe_5O_{12}$ при $T < T_c$ $M_R > M_{Fe}$, следовательно, по направлению внешнего магнитного поля ориентируется вектор M_R. При $T > T_c$ ситуация обратная – в сторону H направлен вектор M_{Fe}. Таким образом, в точке магнитной компенсации векторы M_{Fe} и M_R разворачиваются на 180^0, что в соответствии с (1) приводит к изменению знака угла фарадеевского вращения, которое может быть определено по резкому изменению окраски наблюдаемых доменов. Причем, как видно из (1), даже при ($M_{Fe} + M_R$) = 0 (при $T = T_c$) эффект Фарадея в нуль не обращается, что позволяет наблюдать ДС образца при переходе температуры через точку магнитной компенсации.

Как показали наблюдения, в соответствии с ожиданиями во всем исследованном интервале температур 85 ÷ 295 К при $H = 0$ ДС образца образовывали домены в виде светлых (визуально – красного цвета) и темных полос примерно равной ширины с четко очертанными границами [8]. При этом внешнее магнитное поле, параллельное среднему направлению доменных границ, сильно влияло на ширину доменов, переводя образец при некотором зависящим от T значении H в однородное (монодоменное) состояние, в то время как поле, ориентированное в плоскости образца перпендикулярно к ДГ, практически не изменяло ширину доменов вплоть до максимальной используемой в эксперименте напряженности H = 60 Э. Такое поведение ДС очевидно означает, что векторы M_s в соседних доменах антипараллельны друг другу и ориентированы вдоль доменных границ (т.е. в образце реализуется 180^0 – ная ДС).

В качестве примера на рис. 1 приведен ряд фотографий, полученных в процессе нагрева образца от T = 85 К (скорость нагрева ~ 0,2 К/с), иллюстрирующих общий характер изменения его ДС в зависимости от температуры. Серия фотографий a ÷ e получена непосредственно после охлаждения образца до T = 85 К; каждая фотография серии, показанной на рис. 2 – после размагничивания образца при заданной T в знакопеременном магнитном поле (изменяющемся с частотой 50 Гц), амплитуда которого убывала от максимального значения H = 60 Э до нуля.

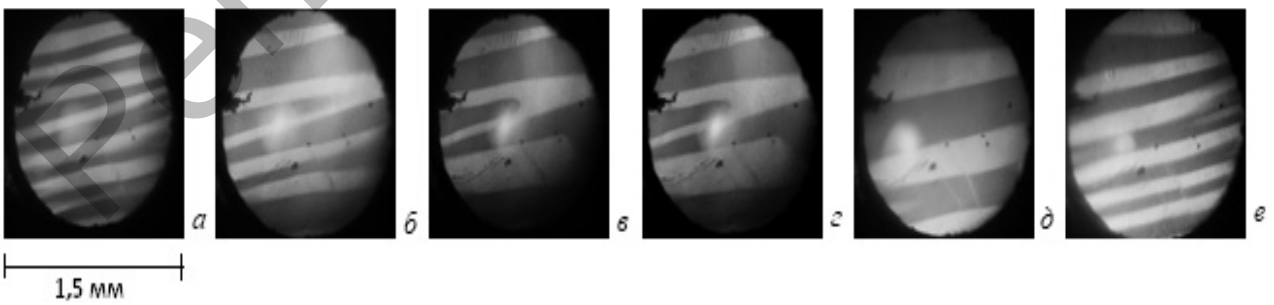


Рисунок 1. Изображения доменной структуры образца, полученные при разной температуре в процессе его отогрева: 205 (*а*), 237 (*б*), 248 (*в*), 251 (*г*), 256 (*д*) и 295 К (*е*)

Репозиторий КарГУ

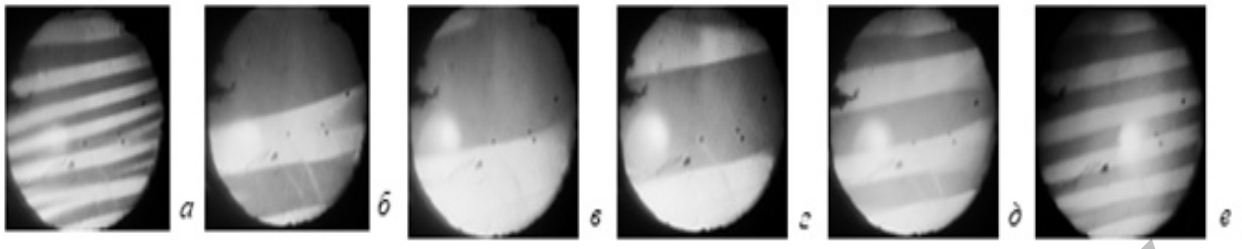


Рисунок 2. Изображения «равновесной» доменной структуры образца, полученные при разной температуре в процессе его отогрева: 205 (*а*), 236 (*б*), 248 (*в*), 251 (*г*), 260 (*д*) и 295 К (*е*). При каждой температуре образец подвергался размагничиванию в знакопеременном магнитном поле с убывающей до нуля амплитудой

Предполагалось, что процедура размагничивания позволяет получить доменную конфигурацию, близкую к равновесной при данной температуре. Как правило, после этой процедуры при каждом значении T наблюдались 2-3 доменные конфигурации, несколько различающиеся положением доменных границ, однако средняя ширина возникающих от случая к случаю доменов оставалась практически постоянной.

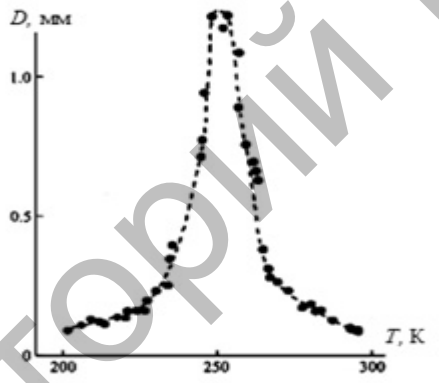


Рисунок 3. Температурная зависимость средней ширины доменов «равновесной» доменной структуры образца

Температурная зависимость средней ширины доменов «равновесной» ДС образца представлена на рис. 3. Отметим, что при подходе к точке магнитной компенсации наблюдалось ухудшение магнитооптического контраста и изменение цветовых оттенков изображений соседних доменов.

Монодоменное состояние образца можно было наблюдать под действием внешнего поля **H**, имеющего заметную проекцию на направление доменных границ. Так в поле, ориентированном вдоль направления доменных границ под углом $\approx 10^0$ к плоскости образца (вдоль предполагаемого направления выделенной легкой оси $\langle 111 \rangle$) монодоменное состояние образца наблюдалось вблизи T_c при $H > 4$ Э.

На рис. 4 показаны фотографии, демонстрирующие поведение ДС образца при изменении температуры при указанной выше ориентации намагничивающего поля при $H = 5$ Э, из которых видно, что монодоменное состояние образца возникает в некотором температурном интервале справа и слева от T_c. Как показали наблюдения, с ростом H постепенно эти температурные интервалы «монодоменности» расширялись, пока при $H \approx 7$ Э они не сливались в один общий. В области «монодоменности» изображение образца имеет

Репозиторий КарГУ

однородную окраску по всей площади; при переходе температуры через точку компенсации цвет изображения образца (в соответствии с (1)) изменяется скачком.

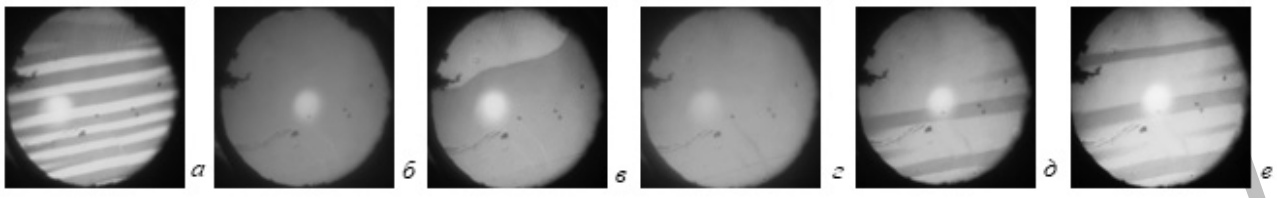


Рисунок 4. Изображения доменной структуры образца, полученные при разной температуре в процессе его отогрева в магнитном поле H = 4,5 Э: 200 (*а*), 240 (*б*), 248 (*в*), 270 (*г*), 260 (*д*) и 295 К (*е*). При каждой температуре образец подвергался размагничиванию в знакопеременном магнитном поле с убывающей до нуля амплитудой. Вектор Н параллелен О.Л.Н..

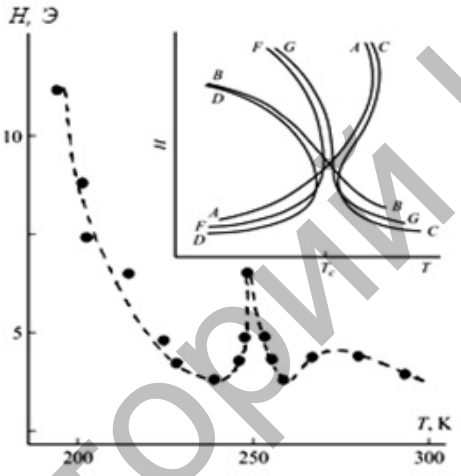


Рисунок 5. Температурная зависимость напряженности магнитного поля, при котором образец переходит в монодоменное состояние.

На рис. 5 приведена эксперимен-тально полученная магнитная H – T диаграмма, определяющая границу между многодоменным и бездоменным (однородно намагниченным) состояниями образца. Каждая точка диаграммы определялась по результатам визуальных наблюдений за исчезновением доменных границ на изображении образца при изменении H и T (в эксперименте сначала образец охлаждался до T = 85 К, затем включалось магнитное поле заданной напряженности и наблюдался процесс изменения ДС при отогреве образца, при этом при каждой фиксированной температуре образец подвергался процедуре размагничивания).

Направление вектора Н параллельно О.Л.Н. – кристаллографическому направлению ⟨111⟩ .

На вставке: фазовая H – T – диаграмма, описывающая магнитное состояние РЗФГ при Н ||| [111] [7], АА и ВВ – линии потери устойчивости фаз соответственно ($\varphi = 0$) и ($\varphi = \pi$), СС и FF – границы области устойчивости состояний ($0 < \varphi < \pi/2$, $\xi = \pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$),

DD и GG – границы области устойчивости состояний ($\pi/2 < \varphi < \pi$, $\xi = \pi/6, 5\pi/6, 3\pi/2$), где φ и ξ – соответственно полярный и азимутальный углы вектора M_{Fe} в декартовой системе координат $\{[1\bar{1}0], [11\bar{2}], [111]\}$ (ось [111] – полярная ось)

Полученная таким способом H – T диаграмма образца хорошо согласуется (на качественном уровне) с магнитной фазовой диаграммой, описывающей магнитное состояние РЗФГ при **H** ∥ ⟨111⟩ , рассчитанной в [7] (см. вставку рис. 5).

Репозиторий КарГУ

Из приведенного на вставке рис. 5 фрагмента фазовой диаграммы РЗФГ видно, что при $T \to T_c$ угловые фазы кристалла возникают раньше, чем магнитные моменты железной и РЗ подрешеток сравняются по величине. Линии потери устойчивости различных магнитных фаз кристалла определяют границы существования доменов с соответствующими направлениями магнитных моментов (ДС возникает из-за размагничивающих полей). Это позволяет предположить, что наблюдаемое экспериментально уменьшение контрастности изображения доменов и изменение их окраски в непосредственной близости температуры образца к T_c связано с переходом кристалла из коллинеарной магнитной фазы в угловую. В этом случае скос векторов M_{Fe} и M_R будет приводить к уменьшению их проекции на направление распространяющегося в кристалле света, в результате – к уменьшению величины эффекта Фарадея (см. (1)).

Из рис. 1 и рис. 2 следует, что хотя ширина доменов при $T \to T_c$ существенно растет, тем не менее, в отличие от результатов теоретического рассмотрения ДС плоскопараллельной пластинки ферримагнетика, полученных в [9, 10], во всем исследованном интервале температур домены в образце не исчезают, т.е. при $H = 0$ образец не переходит в однородно намагниченное состояние. Кроме того, из теории, развитой в [9, 10], следует, что при $T \to T_c$ максимальная ширина доменов достигает величины, сравнимой с толщиной пластинки, тогда как из рис. 1 и рис. 2 видно, что в нашем случае максимальная ширина доменов более чем в 10 раз превосходит толщину образца.

Таким образом, выполненные исследования показали, что в плоскопараллельной пластинке феррита-граната $Tb_3Fe_5O_{12}$ при $H = 0$ при переходе температуры через точку магнитной компенсации ДС не исчезает. Объяснение этого факта основывалось на магнитной фазовой диаграмме РЗФГ, полученной в [7]. Однако, возможны и другие причины существования доменов в образце вблизи T_c – например, дефекты кристаллической решетки или наличие заметного энтропийного вклада в термодинамический потенциал кристалла, делающего энергетически более выгодным его многодоменное состояние по сравнению с монодоменным (как это имеет место в коллинеарных антиферромагнетиках) [11]. Однозначный выбор причины, приводящей к существованию ДС РЗФГ при $T \to T_c$, на наш взгляд возможен, если проследить динамику изменения с температурой пространственной ориентации подрешеточных магнитных моментов кристалла. В частности, дополнительная информация может быть получена из детального анализа изменения окраски доменов при изменении температуры, выполненного с применением компьютерного метода обработки оптических изображений.

Литературы:

1. Kryder M.H. Magneto – optic recording technology. // J. Appl. Phys. – 1985. – V.57. – №1. – C. 3913 – 3918.

2. Imamura N. Magnetooptical disc memory. // JARECT. – 1995. – V.17. – P. 349 – 358.

3. Boidedaev S.R., Dzhuraev D.R., Sokolov B.Yu., Sharipov M.Z. Magnetooptical method of investigation of the magnetic inhomogeneity of easy-plane antiferromagnets with a weak ferromagnetism. Optics and Spectroscopy, 2008, Vol. 104, No. 4, pp. 604–609.

4. Физические величины: Справочник. Под. ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З. – М: Энергоатомиздат, – 1991. – С. 223.

5. Sokolov, B.Y., Sharipov, M.Z. Magneto-optical properties of the iron garnet Tb_3 Fe_5 O_{12} near the magnetic compensation temperature // Physics of the Solid State, 2014, Vol. 56, № 5, pp. 975-979

6. Звездин А.К., Матвеев В.М. О физических свойствах ферримагнетиков вблизи температуры компенсации. // Известия АН СССР. Серия физическая. – 1972. – Т.31. – №.7. – С. 1441 – 1445.

7. Звездин А.К., Матвеев В.М. Особенности физических свойств редкоземельных ферритов-гранатов вблизи температуры компенсации. // ЖЭТФ. – 1972. – Т.62. – В.1. – С. 260 – 271.

8. Соколов Б.Ю., Талабов М.Д., Шарипов М.З. Доменная структура тонкой монокристаллической пластинки тербиевого феррита-граната вблизи точки магнитной компенсации. // ФТТ. – 2013. – Т.55. – В.2. – С. 278 – 283.

Репозиторий КарГУ

9. Богданов А.Н., Яблонский Д.А. К теории доменной структуры ферримагнетиков. // ФТТ. – 1980. – Т.22. – №3. – С. 680 – 687.

10. Барьяхтар В.Г., Богданов А.Н., Яблонский Д.А. Доменная структура ферритов в окрестности температуры компенсации. // ФТТ. – 1986. – Т.28. – №1. – С.87 – 94.

11. Фарзтдинов М.М. Физика магнитных доменов в антиферромагнетиках и ферритах. – М: Наука, – 1981. – 155 с.

Репозиторий КарГУ

2–ШІ СЕКЦИЯ: *КОНДЕНСАЦИЯЛАНҒАН ОРТАЛАРДАҒЫ ХАОС ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДАР*

SECTION 2: *CHAOS AND STRUCTURES IN CONDENSED MATTER*

СЕКЦИЯ 2: *ХАОС И СТРУКТУРЫ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ*

Репозиторий КарГУ

З.Ж. Жанабаев, М.К. Ибраимов, Б.А. Ханиев, А. Тилеу, Ж.Д. Кембаева
Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы
khaniyev.bakyt@gmail.com

Влияние адсорбции газов на электрофизические характеристики наноструктурированных кремниевых пленок

Введение. В настоящее время сенсоры имеют широкие технологические применения: пищевая промышленность, медицина, контроль окружающей среды, т.д.Большие усилия были направлены на разработку различных сенсорных материалов для обнаружения органических молекул.В частности, повышается интерес к использованию слоев пористого кремния в сенсорных устройствах.Пористый кремний, который часто получают методом электрохимического травления, является перспективным кандидатом из-за простоты изготовления, большой площади поверхности, различных доступных размеров пор и морфологий, а также контролируемой модификации поверхности и реакционной способности. Еще одним преимуществом пористого кремния является совместимость с существующими технологиями обработки кремния. Известно, чтомонокристаллический кремний представляет собой основной материал микроэлектронной технологии.Кремний является наиболее технологически важным материалом, известным человечеству, доминирующим в революции микроэлектроники, которая влияет на нашу повседневную жизнь.Высокая газовая чувствительность пористого кремния обусловлена наличием наноструктуры и высокой разветвленностью его поверхности, что сильно увеличивает эффективность влияния внешней среды.

Изучению влияния адсорбции различных газов на электрофизические характеристики пористого кремния и возможности использования этих эффектов в сенсорах резистивного, диодного и емкостного типов посвящен ряд работ.В частности, Милованов и др. использовали структуру пористый кремний / углерод для изготовления чувствительного сенсора к этанолу.Минг Ху и др. разработали сенсор со структуройпористый кремний/палладий/оксид вольфрама, чувствительный к аммиаку.

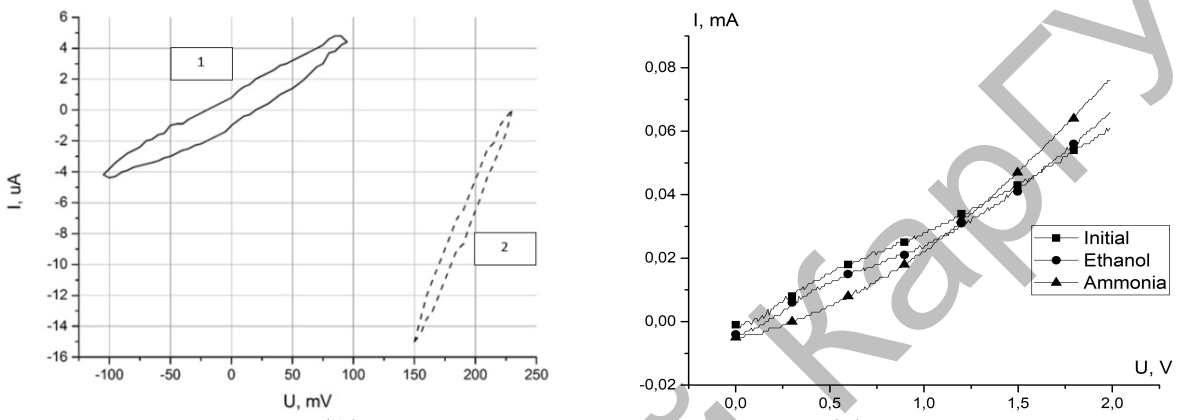
Аммиак – бесцветный газ с резким запахом. Львиная доля аммиака идет на изготовление азотной кислоты, красителей, растворителей, азотных удобрений, взрывчатых веществ и даже на получение обычной пищевой соды. Аммиак является одним из ключевых продуктов химической промышленности. Газообразный аммиак в малой концентрации вызывает жжение в глазах и слезоточивость, при увеличении дозы – химический ожог роговицы и даже слепоту. Вдыхание аммиачных испарений может губительно отразиться на дыхательных путях организма: першение в горле, затруднение дыхания, кашель – лишь «первые ласточки» отравления. В зависимости от дозы, концентрации, пути попадания в организм и длительности воздействия этанол также может обладать наркотическим и токсическим действием. Под наркотическим действием обозначается его способность вызвать кому, ступор, нечувствительность к боли, угнетение функций ЦНС, алкогольное возбуждение, привыкание, а также его наркозное действие. Поэтому, разработка сенсоров для обнаружения паров этанола и аммиака является одним из актуальных задач.

Целью данной работы являетсяисследованиеэлектрофизических, а именно, вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик пористого кремния при адсорбции паров этанола и аммиака.

Экспериментальные данные. Для создания исследуемых структур на основе пористого кремния использовались кремниевые пластины n-типа с ориентацией <100>и размером 2 мм х 10 мм.Слои пористого кремнияполученыметодом электрохимического травления в электролит в виде смеси плавиковой кислоты (HF)и этанола в соотношении 1:1. Время травления составляло 3 мин, плотности токов – 50 мА/см^2. Измерения вольт-фарадных характеристик пористого кремния выполняли с помощьюLCR-метраE4980Акомпании Agilent на частоте тестирующего сигнала в диапазоне от 10 кГц до 1 МГц,а вольт-амперные характеристики были получены на лабораторном стенде NIELVISII+ и на измерителе характеристик полупроводниковых приборов Л2-56при температуре T= 300K в диапазоне 0 – 2 В.

Репозиторий КарГУ

Результаты и обсуждения. Вольт-амперные характеристики исследуемых структур были получены в диапазоне U = 0 В – 2 В, ΔU = 10 мВ. В*ВАХ* наблюдается гистерезис, что, по-видимому, связано с наличием встроенных зарядов и наличием глубоких электронных состояний. Уменьшение захвата носителей заряда на ловушки связано не только с небольшой их плотностью, но, очевидно, и с преимущественным механизмом тока в ПК – туннелированием, когда имеет место как протягивание полем носителей заряда через барьеры SiO_xмежду нанокристаллами Si, так и вытягивание их из ловушек SiO_xв нанокристаллы Si.

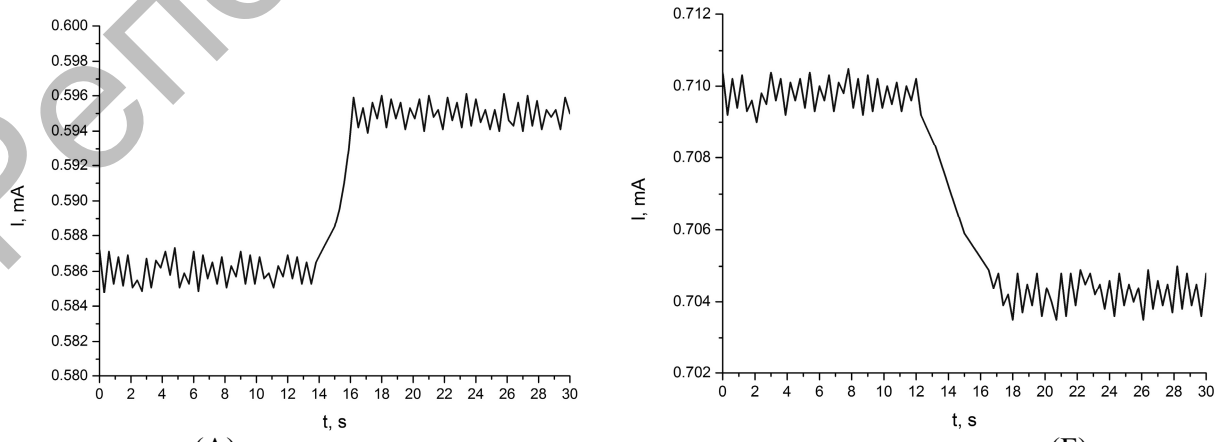


(А) (Б)

Рисунок 1. Вольт-амперные характеристики пористого кремния: (А) Л2-56 1)hω= 0; 2) hω≠ 0; (Б) NI ELVIS II+

На исследуемых образцах было проверено влияние адсорбции паров этанола и аммиака (рис.2). Адсорбция аммиакавызывает уменьшение проводимости и емкости, что, очевидно, связано с захватом свободных носителей на вновь созданные оборванные связи на поверхности кристаллитов. В свою очередь, в результате адсорбции паров этанола проводимость увеличивается на 1,5-2%.

Интересные особенности имеет процесс релаксации пористого кремния после воздействия паров аммиака и этанола. Физическая адсорбция является быстро протекающим процессом, поэтому время отклика сенсора порядка секунды, а релаксация – порядка минуты. Однако освещение сенсора приводит к тому, что восстановление сенсора становится частичным.



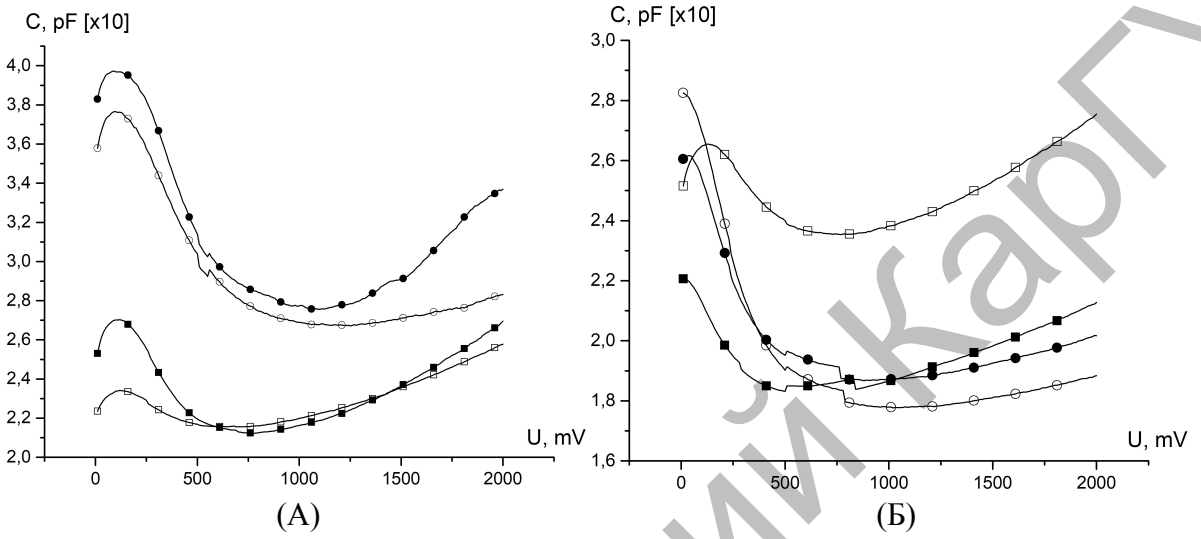
(А) (Б)

Рисунок 2. Зависимость силы тока от времени при адсорбции паров (А) этанола и (Б) аммиака

Репозиторий КарГУ

Для полного восстановления требуется выдержка в темноте в течение нескольких минут.Такое поведение может быть связано с фотохимическими реакциями – стимулированными рекомбинацией неравновесных носителей заряда процессами трансформации дефектов, а не только с перезарядкой центров.

Подобные реакции наблюдаются в прямозонных полупроводниках. Вольт-фарадные характеристики измерялись в диапазоне U = 0В – 2В, ΔU = 10 мВ, при частоте f = 100 кГц. Как видно на рис. 3, емкость почти не изменяется при темноте при адсорбции паров и этанола, и аммиака.



(А) (Б)

Рисунок 3. Вольт-фарадные характеристики пористого кремния при f = 100 кГц: (А) □ hω= 0; ■ при адсорбции паров этанола, hω= 0;○ hω≠ 0; ● при адсорбции паров этанола поз воздействием лазера, hω≠ 0. (Б)□ hω= 0; ■ при адсорбции паров аммиака, hω= 0;○ hω≠ 0; ● при адсорбции паров аммиака поз воздействием лазера, hω≠ 0.

А при освещении лазером емкость, в первом случае, увеличивается, а во втором, при адсорбции паров аммиака уменьшается. При подаче на пористый кремний переменного электрического сигнала емкость пористого слоя может изменяться при изменении частоты из-за делокализации зарядов. Например, некоторые ионы начинают перемещаться под действием переменного электрического поля. Таким образом, все исследования вольт-амперных характеристик и вольт-фарадных характеристикпористого кремния указывают на существенное влияние глубоких уровней (играющих роль ловушек для основных носителей заряда), которые могут образовываться как в самом пористом кремние, так и на границе пористого кремния с окислами.

Заключение. В данной работе была исследована возможность применения пористого кремния в изготовлении чувствительных газовых сенсоров для обнаружения паров этанола и аммиака, а также влияние этих газов на электрофизические характеристики наноструктурированных кремниевых пленок. Получены вольт-амперные характеристики и вольт-фарадные характеристики пористого кремния при воздействии аммиака и этанола при комнатной температуре. Рассмотрен механизм изменения проводимости пористого кремния под воздействием молекул газов.

Полученные результаты показывают, что пористый кремнийявляется идеальным материалом-кандидатом для изготовления высокопроизводительных селективных электрическихи оптических сенсоров газа. Однако, очевидно, что перед применением пористого кремния в качестве сенсоров газов необходимо провести много исследований.

Репозиторий КарГУ

Литературы:

[1] Кашкаров П.К. Необычные свойства пористого кремния // Соросовский образовательный журнал, Том 7, №1, 2001.

[2] Зимин П.С. Пористый кремний – материал с новыми свойствами // Соросовский образовательный журнал, Том 8, №1, 2004.

[3] Kayahan E. Porous silicon based on CO2 sensors with high sensitivity // Optics 164 (2018) 271-276-p.

[4] ZouadiN., MessaciS., SamS., BradaiD., GabouzN., CO2 detection with CNx thin films deposited on porous silicon // Materials Sci. Semicond. Process. 29(2015) 367–371.

[5] Ozdemir S., Gole J.L. The potential of porous silicon gas sensors // Current Opinion in Solid State and Material Science 11 (2007) 92-100.

[6] Holec T., Chvojka T., Jelinek I. Determination of sensoric parameters of porous silicon in sensing of organic vapors // Material Science and Engineering C 19 (2002) 251-254.

[7] Zouadi N., Belhousse S., Cheraga H., N. Gabouze. Influence of temperature on electrical characteristics of CHx/porous silicon/Si sensing device. //Surface and Interface Analysis, 2006, p. 805-807.

[8] Gabouze N., Belhousse S., Cheraga H., Ghellai N. CO2 and H2 detection with a CHx/porous silicon-based sensor // Vacuum, V.80, 2006, p. 986-989.

[9] Тутов Е.А., Андрюков А.Ю., Рябцев С.В. Неравновесные процессы в емкостных сенсорах на основе пористого кремния // Письма в ЖТФ, 2000, том 26, вып.17, с.53-58.

[10] Milovanov Y.S., Skryshevsky V.A., Gavrilchenko I.V. Ethanol gas sensing performance of electrochemically anodized freestanding porous SiC // Diamond and related materials. 2019, p. 84-89.

В.Т. Сенють[1], П.А. Витязь[2], И.В. Валькович[1], М.Л. Хейфец[3], А.Г. Колмаков[4]

[1] Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь vsenyut@tut.by
[2]Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь vitiaz@presidium.bas-net.by [3]ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь mlk-z@mail.ru, [4]Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия agk10@bk.ru

Исследование структуры самофлюсующегося никелевого сплава системы ni-cr-b-si с добавками нано- и микропорошков кубического bn после термобарической обработки

Введение. Самофлюсующиеся никелевые сплавы системы Ni-Cr-B-Si нашли широкое применение в технологиях нанесения износостойких покрытий, эксплуатируемых при повышенных контактных нагрузках и температурах [1]. Модифицирование твердыми тугоплавкими соединениями позволяет эффективно изменять структуру таких сплавов, способствуя ее измельчению и тем самым повышая физико-механические, триботехнические и эксплуатационные характеристики изделий [2]. Известно, что кубический нитрид бора (cBN) обладает наиболее высоким уровнем физико-механических свойств по сравнению с карбидами, боридами и нитридами переходных металлов [3], поэтому его использование в качестве модифицирующей добавки будет способствовать существенному увеличению твердости и износостойкости самофлюсующихся сплавов.

Цель работы: Изучение структуры и микротвердости образцов из самофлюсующегося никелевого сплава системы Ni-Cr-B-Si, полученных методом термобарической обработки, с добавками нано- и микропорошков кубического BN.

Исходные материалы и методики исследований. Для изготовления экспериментальных образцов был выбран порошок самофлюсующегося сплава ПГ-СР4 (ГОСТ 21448–75). В качестве добавки использовали cBN 2 видов: наноструктурный порошок с размером частиц 100–200 нм и микропорошок с зернистостью основной фракции 40–60 мкм.

Шихту на основе сплава ПГ-СР4 с добавками нано- или микроструктурного cBN для термобарической обработки получали путем смешивания и механоактивации (МА) в аттриторе исходных порошков, формования заготовок и их предварительного подпекания

Репозиторий КарГУ

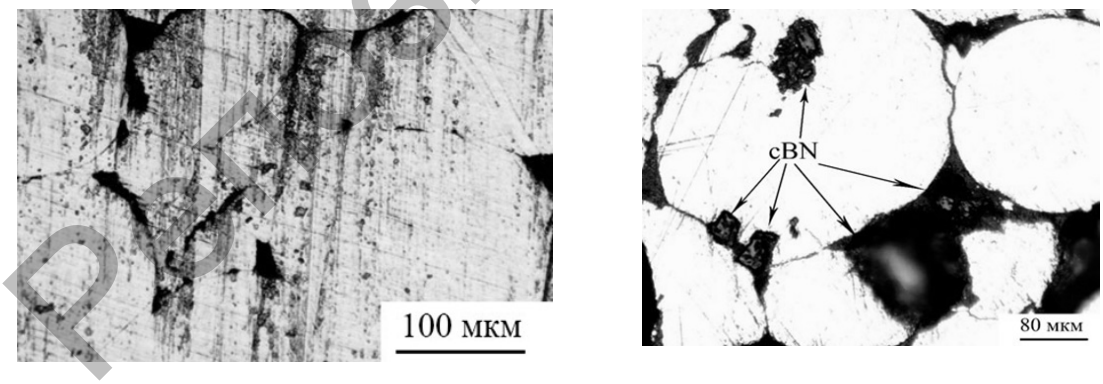
в защитной атмосфере, диспергирования заготовок до агломератов и рассева агломератов по фракциям. Для термобарической обработки использовали фракцию шихты с размером агломератов 100–315 мкм.

Термобарическую обработку композиционных порошков осуществляли в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» при давлениях 1,5–2,0 ГПа и температурах 1000–1350 °С в течение 20 с. Вначале осуществляли «холодное» сжатие реакционной шихты, помещенной в специальный контейнер из литографского камня, а затем проводили нагрев шихты под давлением методом прямого пропускания электрического тока.

Исследования шлифов образцов выполняли методом оптической микроскопии на металлографическом микроскопе Микро-200 (ОАО «Планар», Беларусь). Микротвердость образцов измеряли на микротвердомере ПМТ-3 алмазным индентором по шкале Виккерса с нагрузкой на индентор 50 г. Рентгеновские исследования порошков выполняли на дифрактометре фирмы “Bruker” D8 ADVANCE в Cu-Kα излучении в автоматическом режиме съемки.

Результаты исследований и их обсуждение. Изучали структуру заготовок из шихты на основе сплава ПГ-СР4 с добавками cBN после МА и предварительного подпекания. Было установлено, что наиболее плотной и однородной структурой обладают заготовки с наноструктурным cBN. Добавка наноструктурного порошка cBN способствует лучшему уплотнению самофлюсующегося сплава по сравнению с шихтой из порошка ПГ-СР4 без добавки cBN. После МА и подпекания частицы наноструктурного cBN закрепляются на поверхности частиц сплава с формированием композиционного порошка с плакированной структурой. Заготовки, содержащие микропорошок cBN, характеризуются более пористой и менее однородной структурой дендритного типа по сравнению с заготовками без добавки или с добавкой наноструктурного cBN. Далее полученные заготовки размалывали до агломератов с последующим их рассевом на фракции при помощи ситового метода.

В результате последующей термобарической обработки шихт с добавками нано- и микропорошков cBN были получены цилиндрические образцы диаметром 10 мм и высотой 8 мм, которые затем полировали по торцам алмазной пастой. В процессе приготовления на полученных образцах шлифов выяснилось, что материал обладает высокой хрупкостью, что не позволяет приготовить на них качественные шлифы для проведения дальнейших исследований. Поэтому с целью снижения хрупкости материала в шихту перед термобарической обработкой дополнительно вводили порошок исходного сплава ПГ-СР4 той же дисперсности.



а) б)

Рисунок 1. Структура спеченных под давлением при температуре 1100 °С образцов из самофлюсующегося сплава ПГ-СР4, модифицированных добавками cBN: а – с добавкой наноструктурного cBN; б – с добавкой микропорошка cBN

На рис. 1 а представлена фотография поверхности образца из самофлюсующегося сплава с добавкой наноструктурного cBN после термобарической обработки. Установлено,

РЕПОЗИТОРИЙ КарГУ

что основные структурные составляющие спеченного материала – матричный самофлюсующийся сплав на основе твердого раствора Cr в Ni, выделения фазы борида хрома Cr_2B, а также частицы BN, достаточно равномерно распределенные в материале.

В материале, полученном при температурах до 1200 °С, агрегаты частиц cBN равномерно распределены в матрице и четко выделяются на фоне матричного сплава в виде точечных включений субмикронных размеров и отдельных полиэдрических частиц размером 5–10 мкм (рис. 1 а), образовавшихся в результате рекристаллизации наноструктурного cBN. В образцах материала, полученных при температуре свыше 1200 °С, нитрид бора присутствует в виде светлых частиц размером 5–15 мкм пластинчатой формы, характерной для графитоподобной фазы BN. Также с увеличением температуры термобарической обработки отмечается рост отдельных частиц сплава свыше 300 мкм.

Измерения микротвердости образцов показали, что для материала, содержащего наноструктурный cBN в пределах 2,5–3,5 об. %, значения микротвердости составляют 11,8–13,7 ГПа, что на 18–32 % выше, чем для образцов, не содержащих добавки. Увеличение концентрации наноструктурного cBN способствует охрупчиванию материала, а рост температуры приводит к снижению микротвердости за счет развивающегося обратного фазового превращения cBN в графитоподобную модификацию BN.

На рис. 1 б представлена поверхность образца на основе самофлюсующегося сплава с добавкой микропорошка cBN после термобарической обработки. Проведенный анализ структуры материала показал, что кристаллы cBN находятся преимущественно между частицами сплава. При этом наряду с исходным cBN в материале присутствуют мелкие кристаллы cBN осколочного типа, образовавшиеся в результате дробления более крупных частиц при приложении давления. Кроме частиц указанных типов наблюдаются также кристаллы cBN размером 5–8 мкм пирамидального габитуса, которые могли образоваться в результате растворения и перекристаллизации cBN из расплава под давлением.

Максимальные значения микротвердости образцов ПГ-СР4 с добавкой микропорошка cBN находятся в диапазоне 6,4–7,1 ГПа, что в 1,5–2 раза ниже, чем для материала с тем же содержанием наноструктурного cBN, полученного при аналогичных параметрах термобарической обработки.

Заключение. Результаты работы показали перспективность использования наноструктурного порошка cBN в качестве модифицирующей добавки для хромо-никелевых самофлюсующихся сплавов.*Показано, что наноструктурный cBN распределен в матрице в виде включений субмикронных размеров и отдельных полиэдрических частиц размером до 10 мкм, тогда как кристаллы микропорошка cBN расположены между частицами самофлюса.*

Микротвердость материала с добавкой 2,5–3,5 об. % наноструктурного cBN составляет 11,8–13,7 ГПа, что на 18–32 % превышает микротвердость образцов, не содержащих добавки. Образцы ПГ-СР4 с добавкой микропорошка cBN характеризуются значениями микротвердости в пределах 6,4–7,1 ГПа, что в 1,5–2 раза ниже, чем для материала с таким же содержанием наноструктурного cBN.

Исследования поддержаны грантом БРФФИ-РФФИ по проекту Т18Р-183

Литературы:

1. A. Ph. Ilyuschenko [et al.] High-power pulse processing of thermal coatings based on a self-fluxing alloy and modified by solid high-melting compounds: research and modeling. // High Temperature Material Processes. 2017. Vol. 21. №3. P. 203–223.

2. А.Ф. Ильющенко, А.И. Шевцов, В.М. Асташинский др. Исследование износостойкости и антифрикционных свойств газотермических покрытий на основе сплава Ni-Cr-B-Si, модифицированных твердыми тугоплавкими соединениями и импульсными высокоэнергетическими воздействиями / // Порошковая металлургия. Минск. 2018. Вып. 41. С. 221–228.

3. Голубев А.С., Курдюмов А.В., Пилянкевич А. Н. Нитрид бора. Структура, свойства, получение. Киев: Наук. думка. 1987. 200 с.

Репозиторий КарГУ

Е.Н. Еремин[1], С.А.Гученко [2], В.М.Юров [2], О.Н.Завацкая [2]
[1]*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия, weld_techn@mail.ru*
[2]*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*

Износостойкость и трибологические свойства высокоэнтропийных покрытий crnitizrcu

*Введение.*Отличительной особенностью высокоэнтропийных сплавов (ВЭСов) от традиционных является то, что эти сплавы имеют высокую энтропию смешения, которая влияет на образование структур на основе твердых растворов [1, 2]. Однако, применение термодинамического подхода не всегда позволяет корректно предсказать формирование структур в высокоэнтропийных сплавах. Исходя из анализа литературных данных, в настоящее время не существует универсального параметра и/или их сочетания, которые могли бы точно предсказывать образование той или иной структуры в многокомпонентных системах сплавов [3]. Поэтому получение ВЭСов, как и рост кристаллов (по выражению академика Шубникова А.В.) считается скорее искусством, чем наукой.

Приготовление мишени и нанесение покрытий. Для приготовления мишени CrNiTiZrCu брались микропорошки соответствующих металлов и смешивались в эквиатомных пропорциях. Затем приготовленная смесь порошков помещалась в мелющий стакан планетарной шаровой мельницы изготовленный из карбида вольфрама и добавлялись мелющие тела (шары диаметром 5-10 мм) также изготовленные из карбида вольфрама, масса которых была равна 10-ти массам смеси порошков. После стакан наполняли бензином «Галоша», плотно закрывали крышку и включали планетарную шаровую мельницу (скорость вращения составляла 500 об/мин., время работы 5 ч.) (рис 1а и б).Полученный гомогенизированный состав затем сушился в вакууме и при помощи прессформы пресовался в плоский диск диаметром 100 мм и толщиной в 5 мм. Далее диск помещался в вакуумную термо печь и спекался в ней в течении 3-х часов. Таким образом изготовленная мишень CrNiTiZrCu (рис. 1в) использовалась для дальнейшего магнетронного нанесения покрытий на установке НВВ 6.



а) б) в)

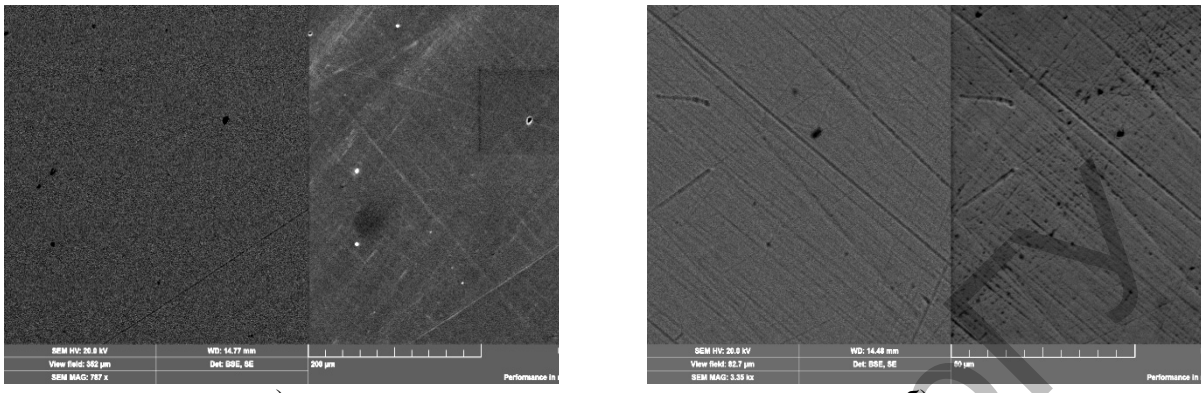
Рисунок 1. Приготовление таблеток а) и б) и мишени в)

Нанесение покрытий производилось на подготовленные подложки из стали марки AISI-201 (шестигранники с длиной стороны 22 мм и толщиной 5 мм.). Вакуумная камера откачивалась до давления 0,003 Па затем включался ПИНК производился напуск Ar до давления 1 Па на подложку подавался отрицательный потенциал смещения 1000 В и в течении 10 мин. производилась очистка и нагрев поверхности подложки. После давление аргона понижали до 0,1 Па и включался магнетрон. Смещение на подложке уменьшалось до 150 В ток магнетрона поддерживался постоянным 3 А. Подложка располагалась в камере на расстоянии 15 см., время напыления составляло 1 час.

Электронно-микроскопическое исследование (РЭМ). Электронно-микроскопическое исследование было проведено на растровом электронном микроскопе MIRA 3 фирмы

Репозиторий КарГУ

TESCAN. Исследования проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ и рабочем расстоянии около 15 мм. Зависимости приведены на рис. 2.



а) б)

Рисунок 2. РЭМ покрытия CrNiTiZrCu в аргоне а) 500 μm б) 50 μm

Для измерения РФЭС исследуемый образец в форме диска диаметром 8 мм и высотой 3 мм вставляется в углубление держателя образца микроскопа (рис. 3).

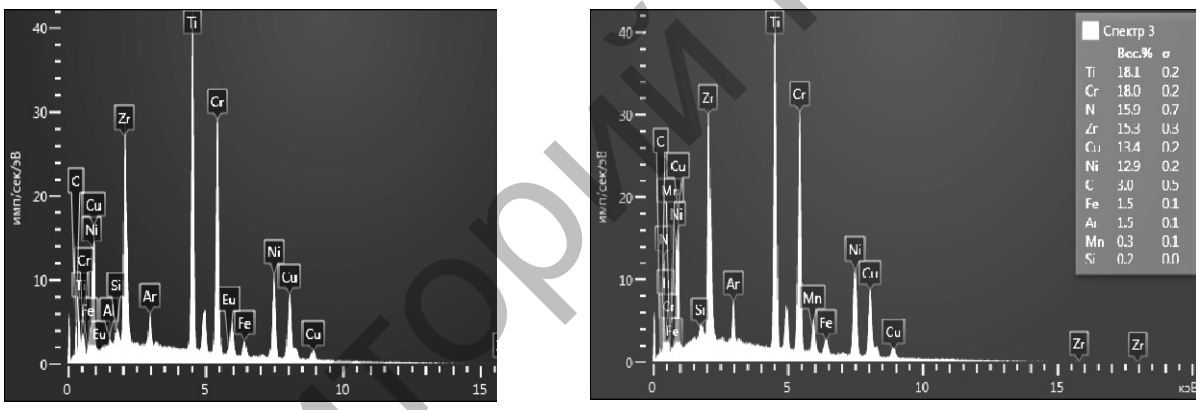


Рисунок 3. РФЭС CrNiTiZrCu в аргоне в 2-х точках

Рисунок 3. дает химический состав CrNiTiZrCu, ат.% в эквиатомных пропорциях (таблица 1).

Таблица 1. Количественный химический состав CrNiTiZrCu, ат. %

Элемент	Cr	Ni	Ti	Zr	Cu
Номинальный	20	20	20	20	20
в аргоне	23,2	21,2	19,9	17,1	6,8
в азоте	22,8	20,8	19,7	16,9	7,0

С увеличением времени размола усиливается взаимодиффузия компонентов и повышается их растворимость в твердом состоянии до достижения пересыщения, сверх которого дальнейшего увеличения растворимости не происходит (рис. 4). Для традиционных сплавов в системе Cr-Ni-Ti-Zr-Cu характерно формирование множества интерметаллидов, например, таких как Ni_3Ti, Ni_3Cu, Cr_2Ti.

Репозиторий КарГУ

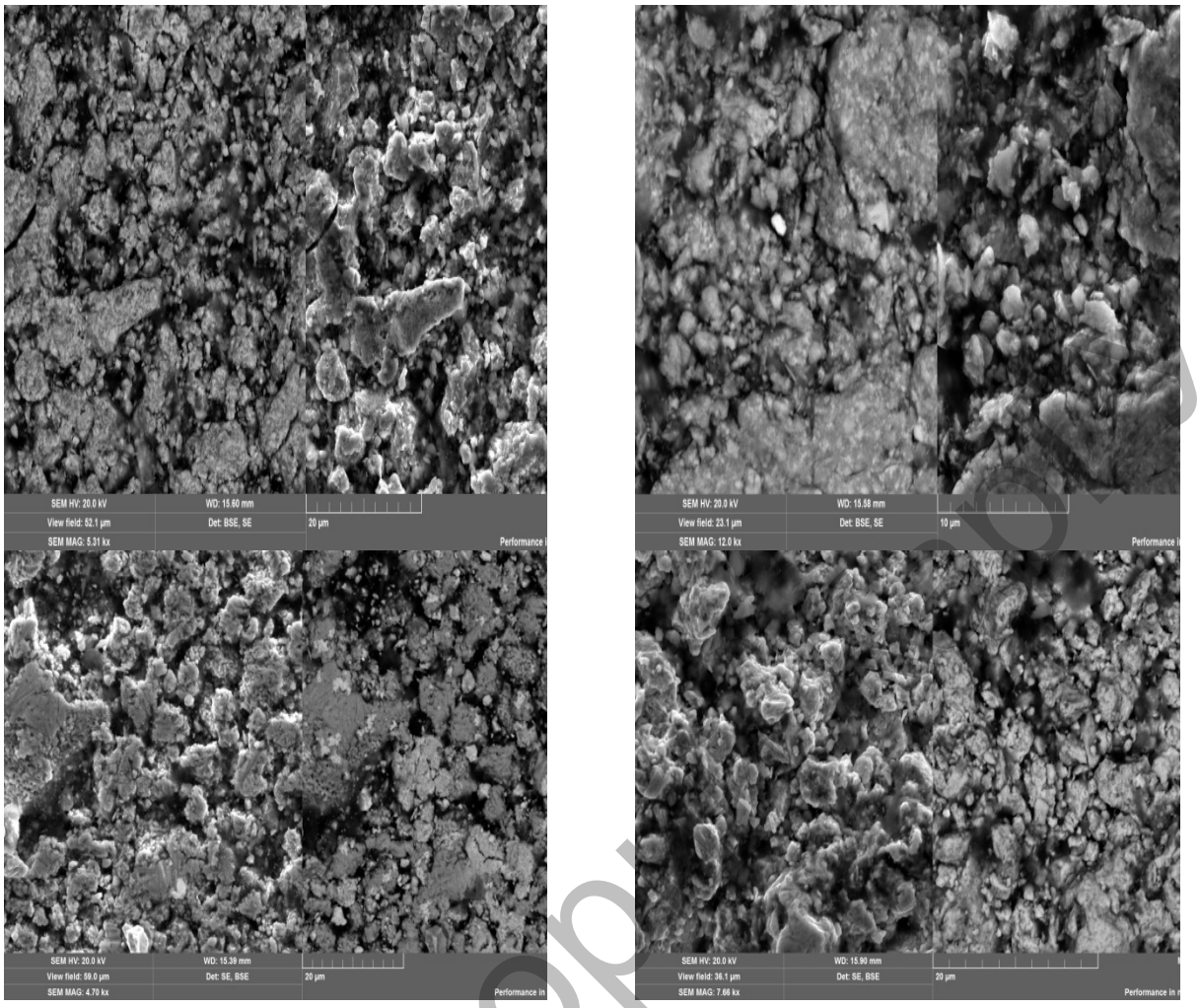


Рисунок 4. Микроструктура компонент Cr-Ni-Ti-Zr из сплава CrNiTiZrCu при разрешении 20 μm

Тогда как в полученном многокомпонентном сплаве CrNiTiZrCu они не образуются, и он полностью состоит из простого ОЦК-твердого раствора, а общее число фаз значительно ниже максимального равновесного количества, разрешенного правилом фаз Гиббса. Преимущественное формирование простых твердых растворов над интерметаллидами в многокомпонентных эквиатомных сплавах главным образом обеспечивается влиянием высокой энтропии смешения. Согласно термодинамике предпочтительно формирование фаз с низкой энергией Гиббса G. Если энтальпия постоянна, фазы с более высокой энтропией будут иметь более низкую свободную энергию Гиббса. Это влияние энтропии в значительной степени увеличивается для ВЭСов. Сплав CrNiTiZrCu содержит пять компонентов и его энтропия смешивания > 1,61R, что высоко для металлических сплавов, поскольку энтропия плавления традиционных сплавов составляет 1R. В результате, свободная энергия Гиббса твердого раствора ниже, чем энергия Гиббса интерметаллидов, поэтому преимущественно формируется твердый раствор. При этом энтропия плавления отдельных элементов, присутствующих в сплаве (таблица 1), ниже по сравнению с энтропией смешения пятикомпонентной системы, которая составляет 13,38 Дж/К моль, что вызывает формирование простой кристаллической структуры твердого раствора.

Микротвердость покрытий. Нами использовался микротвердомер HVS-1000A. Результаты измерений покрытий CrNiTiZrCu даны в таблице 2.

Репозиторий

Таблица 2. Микротвердость покрытия CrNiTiZrCu в среде аргона и азота

Микротвердость	1	2	3	4	5	6	7	8	Сред.
HV, аргон	839	909	864	842	967	753	821	902	886
HV, азот	897	899	899	863	879	887	966	962	888

Микротвердость покрытия CrNiTiZrCu в среде аргона и азота не изменились. Это означает, что азот не вступает в состав покрытия. Сравним данные таблицы 2 с данными высокоэнтропийным сплавов (таблица 3).

Таблица 3. Микротвердость высокоэнтропийных сплавов [2]

Сплавы	Твердость исходных литых сплавов, HV	Твердость сплавов после отжига, HV
CuTiVFeNiZr	590	600
AlTiVFeNiZr	800	790
MoTiVFeNiZr	740	760
CuTiVFeNiZrCo	630	620
AlTiVFeNiZrCo	790	800
MoTiVFeNiZrCo	790	790
CuTiVFeNiZrCoCr	680	680
AlTiVFeNiZrCoCr	780	
MoTiVFeNiZrCoCr	850	890
Нержавеющая сталь	410	362
Микротвердость нашего покрытия CrNiTiZrCu	888	888

Оказалось, что данные литые материалы наряду с характеристиками, типичными для металлических сплавов, имели уникальные и необычные свойства, присущие, например, металлокерамикам: высокую твердость и стойкость по отношению к разупрочнению при высоких температурах, дисперсионное твердение, положительный температурный коэффициент упрочнения и высокий уровень прочностных характеристик при повышенных температурах, привлекательную износостойкость, коррозионную стойкость и ряд других свойств. Стоит еще раз обратить внимание на то, что даже при высоких температурах сплавы не утрачивали свои достаточно высокие механические свойства, значительно превышающие свойства традиционных широко применяемых сплавов и в основном состояли из простых ОЦК и ГЦК фаз. После отжига сплавы сохраняли высокую твердость, коррозионную стойкость, стойкость к окислению и ряд других свойств. Сравнительные данные о значениях твердости (HV) высокоэнтропийных эквиатомных и традиционных сплавов (на примере типичных высокопрочных нержавеющих сталей и сплавов никеля, кобальта или титана) в исходном состоянии и после отжига приведены в таблице 3. Микротвердость нашего покрытия CrNiTiZrCu не уступает высокоэнтропийных эквиатомных сплавам.

Износостойкость покрытий. Для решения этих задач применяют эффективный метод испытаний на микроабразивный износ путем воздействия вращающегося стального шарика на плоский образец с добавлением эмульсии, содержащей абразивные частицы. В месте контакта образуется кратер сферической формы – калотта, поэтому прибор для обеспечения такого вида испытаний получил название калотестер (рис. 5). Результаты исследований покрытий показаны в таблице 4. Таблица 4 показывает износостойкость покрытия CrNiTiZrCu ~ $3 \cdot 10^{-4}$ г/мин, что отвечает износостойким покрытиям.

Трибологические особенности покрытий CrNiTiZrCu. Напыление CrNiTiZrCu производилось на неподвижный образец в течении часа с опорным напряжением 150 и 250 вольт в

Репозиторий КарГУ

течении часа в режиме постоянной мощности 1.5 кВт. Образец №25 в среде азота и образец №39 в среде аргона. Коэффициенты трения измерялась на разработанной нами установке [4].

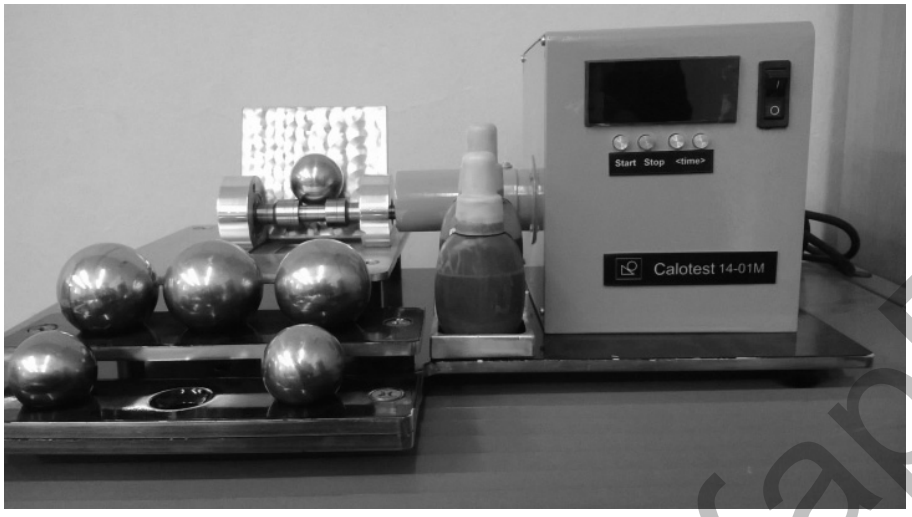


Рисунок 5. Разработанный нами прибор для испытаний материалов и покрытий на микроабразивный износ

Таблица 4. Износостойкость покрытий CrNiTiZrCu

Износ образца(масса в граммах) по 30 мин						
До	15,14852	15,14857	15,14859	15,14856	Среднее	15,148566
После	15,14745	15,14763	15,14759	15,14759	Разность	0,000986

Таблица 5. Коэффициенты трения по меди и алюминию

покрытие	по меди		по алюминию	
	коэффициент трения	погрешность	коэффициент трения	погрешность
CrNiTiZrCu аргон	0,041	0,006	0,066	0,002
CrNiTiZrCu азот	0,057	0,001	0,077	0,004

Высокоэнтропийные покрытия CrNiTiZrCu оказываются антифрикционными, что со всей очевидностью приводят к экономии энергоресурсов.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК. Гранты №0118РК000063 и №Ф.0781

Литературы:

1. Yeh J.W., Chen Y.L., Lin S.J. High-entropy alloys – a new era of exploitation // Materials Science Forum. 2007. Vol. 560. – P. 1-9.

2. Шайсултанов Д.Г. Структура и механические свойства высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeNiX (X=Mn, V, Mn и V, Al и Cu). - Дисс. канд. тех. наук, Белгород, 2015. – 142 с.

3. Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Фирстов С.А. Высокоэнтропийные сплавы - электронная концентрация - фазовый состав - параметр решетки – свойства // ФММ. 2017. Vol. 118. №10. – С. 1017-1029.

4. Юров В.М., Гученко С.А., Ибраев Н.Х. Определение коэффициента трения скольжения. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. №8. – С.148 -152.

Репозиторий КарГУ

Э.Ж. Алихайдарова[1], Д.А. Афанасьев[1,2]
[1] Институт молекулярной нанофотоники, Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, 100028, Казахстан,
[2]Институт прикладной математики, Караганда, 100028, Казахстан
**E-mail: alikhaidarova@mail.ru*

Оптические и электрические свойства композитных пленок на основе полимеров поли (9,9-ди-н-октилфлуоренил-2,7-диил) и поли[3-гексилтиофен]

Введение. Одним из перспективных направлений развития современного материаловедения является создание многофункциональных материалов. Данные материалы позволят создавать электронные устройства, выполняющие различные функции.

Органические материалы и, в частности, полупроводниковые полимеры позволяют гибко подходить к синтезу, что может значительно менять их свойства. Одним из способов получения новых многофункциональных материалов может стать использование смесей полупроводниковых полимеров, так в работе [1] исследовались смеси полимера поли (9,9-ди-н-октилфлуоренил-2,7-диил) (PFO) и поли[3-гексилтиофен] (P3HT). Если полимер P3HT является одним из базовых для изучения стандартных полимерных солнечных ячеек (PSC-polymer solar cell), то полимер PFO является одним из основных материалов для получения электролюминесценции в синей области оптического спектра [2]. Он также является важным модельным полимером, используемым для изучения фотоиндуцированных процессов в упорядоченных и неупорядаченных полимерных пленках.

Эксперимент. В представленной работе приведены результаты исследования оптических и электрических свойств смесей полупроводниковых полимеров. Были приготовлены смеси полупроводниковых полимеров со следующими концентрациями полимеров P3HT:PFO - 50%:50%, 70%:30%, 90%:10%.

Первоначально, были приготовлены пленки для измерения удельного сопротивления. Для этого полимерная смесь наносилась на поверхность электрода ITO. Для получения пленок заданной толщины использовался метод spin-coating. Скорость нанесения пленок – 2000 об/мин. Толщина пленки определялась с помощью СЭМ Tescan Mira 3. После нанесения полимерной пленки и ее отжига при температуре 150 °C в инертной атмосфере наносился алюминиевый электрод. Электрод наносился методом термического испарения в вакууме с давлением не выше 10^{-5} Торр. При напылении катода подложки охлаждались. Охлаждение производилось с использованием жидкого азота. Толщина напыленного электрода составляла не менее 100 нм. Толщину напыленного материала измеряли с помощью толщиномера SI–TM106 Subminiature Film Thickness Tester.

Измерено удельное сопротивление пленок P3HT−PFO (таблица 1). Толщина пленок поддерживалась одинаковой и была измерена при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) MIRA3 TESCAN. Площадь контакта ячеек составила 0,12 $см^2$. Как видно из данных, приведенных в таблице 1, максимальное удельное сопротивление получено для пленки с концентрациями полимеров P3HT:PFO 70%:30%. Остальные образцы обладают меньшей величиной удельного сопротивления. Также для полученных образцов измерялись фотовольтаические характеристики. Только для образцов с концентрациями полимеров 70%−30% и 50%−50% зарегистрировано небольшое по величине фотоЭДС (V_{oc}).

Результаты и обсуждение. Измерены спектры поглощения и флуоресценции полученных образцов. Результаты измерения приведены на рисунке 1. Спектры поглощения были использованы для определения величины E_g полимеров. Данные по значению E_g приведены в таблице 1. Из этих данных видно, что значение E_g для полимера P3HT в смешанных пленках выше по сравнению с беспримесной пленкой P3HT. Такой же результат наблюдается для полимера PFO.

Репозиторий КарГУ

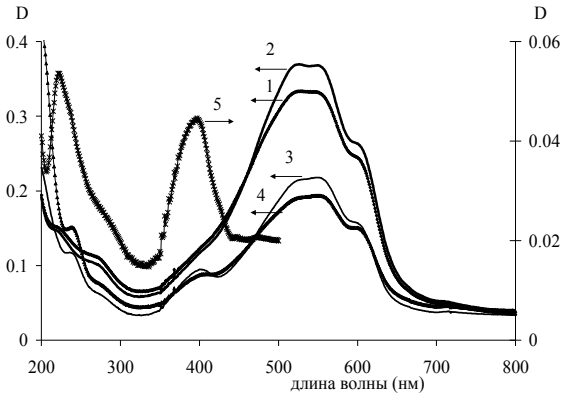


Рисунок 1 – Спектры поглощения пленок P3HT−PFO: 1 − P3HT; 2 − P3HT−PFO (90%−10%); 3 − P3HT−PFO (70%−30%); 4 − P3HT−PFO (50%−50%); 5 – PFO

Таблица 1 – Оптические и электрические характеристики пленок P3HT−PFO.

Образец, концентрация полимеров	ρ, Ом·см	E_g P3HT (эВ)	E_g PFO (эВ)	I_{max}/D P3HT (отн. ед.)	I_{max}/D PFO (отн. ед.)
P3HT	$9{,}64\cdot10^4$	1,93	-	197	-
P3HT−PFO (90%−10%)	$4{,}7\cdot10^5$	1,93	-	58	7600
P3HT−PFO (70%−30%)	$1{,}2\cdot10^6$	1,95	-	1162	1025
P3HT−PFO (50%−50%)	$5{,}8\cdot10^5$	1,965	2,82	89	950
PFO	$2{,}0\cdot10^5$	-	2,87		14825

Изменение *Eg* должно приводит к изменению концентрации свободных носителей заряда в соответствии с формулой (1):

$$n_i^2 \sim \exp\left(-E_g / kT\right) \tag{1}$$

Оценка влияния ширины запрещенной зоны на концентрацию носителей заряда показала, что изменение ширины запрещенной зоны от 1,93 до 1,965 эВ может приводить к изменению концентрации свободных носителей заряда в 2 раза. Удельное сопротивление образцов изменяется в 10 раз. При этом изменение величины удельного сопротивления и изменение величины E_g происходит для некоторых образцов противоположным образом. Таким образом, в соответствии со следующей формулой (2) следует ожидать уменьшения величины подвижности носителей заряда в исследуемых пленках [3]:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = q(n_n\mu_n + n_p\mu_p) \tag{2}$$

где ρ – удельное сопротивление, μ_n – подвижность электронов, μ_p – подвижность дырок, $n_{n,p}$ – их концентрация, q – элементарный электрический заряд.

Одним из наиболее возможных причин роста удельного сопротивления смешанных пленок и изменения подвижности носителей заряда может быть изменение степени упорядоченности полимерных пленок. Качественно оценить степень упорядоченности пленок можно по анализу спектров поглощения и флуоресценции [4]. Как видно из спектра поглощения P3HT (рисунок 1, кривые 1-4), полимер имеет высокую степень упорядоченности. Об этом говорит присутствие плеча на 600 нм и общий вид спектра поглощения. Спектры флуоресценции (рисунок 2, кривые 1-4) указывают на возникновение

Репозиторий КарГУ

свечения полимера с упорядоченной фазы. Об этом говорит наличие двух максимумов на 660 и 725 нм.

При этом степень упорядоченности пленок может отличаться и об этом говорит соотношение интенсивности флуоресценции P3HT в максимуме (I_{max}) к оптической плотности (D) полимера которое приведено в таблице 1. Из этих данных видно, что отношение I_{max}/D для смеси полимеров меньше по величине по сравнению с I_{max}/D для чистого полимера. Исключение составляет пленка с концентрацией P3HT−PFO (70%−30%) для которой наблюдается рост значения I_{max}/D по сравнению с чистой пленкой P3HT.

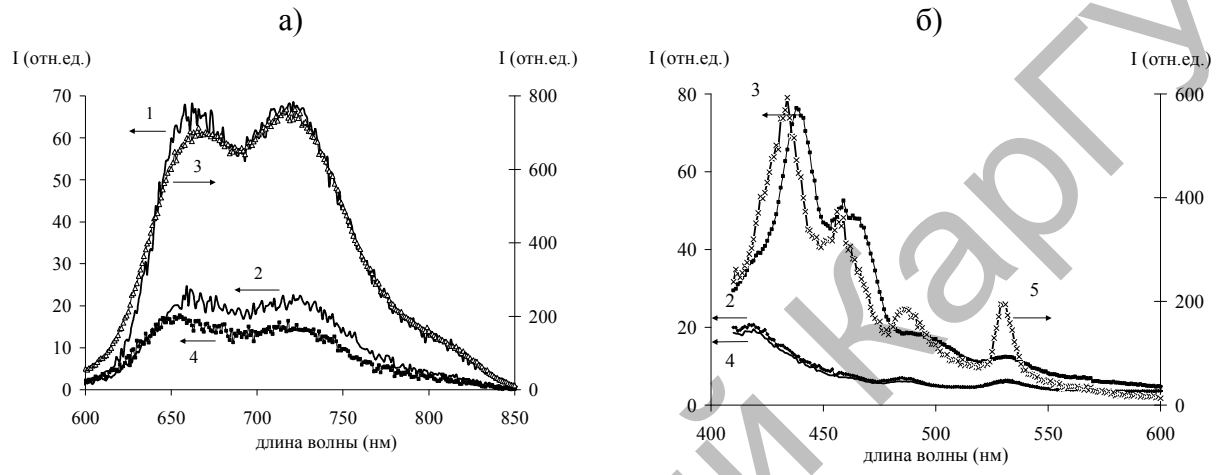


Рисунок 2– Спектры флуоресценции полимерных пленок при фотовозбуждении на 550 нм (а) и 375 нм (б) соответственно: 1 − P3HT; 2 − P3HT−PFO (90%−10%); 3 − P3HT−PFO (70%−30%); 4 − P3HT−PFO (50%−50%); 5 – PFO

Для полимера PFO также наблюдается резкое уменьшение величины I_{max}/D, которое связано с фестеровским переносом энергии с PFO на P3HT [5]. Однако, для пленки P3HT−PFO (70%−30%) также наблюдается некоторый рост соотношения I_{max}/D. Одним из наиболее вероятных причин наблюдаемых результатов может быть рост неупорядоченности полимеров в пленке P3HT−PFO (70%−30%), это будет приводить к росту интенсивности флуоресценции с одной стороны [4] и к уменьшению подвижности носителей заряда с другой стороны [6]. Как известно [6], подвижность в упорядоченной фазе полимера P3HT в 10^2 раз выше по сравнению с аморфной фазой полимера.

Выводы. Таким образом, были изучены оптические и электрические свойства пленок на основе смесей полимеров P3HT и PFO. Проведенные исследования показали что электрическая проводимость композитных пленок зависят от массового соотношения использованных полимеров. Полученные результаты показывают, что в смешаных пленках полимеры находятся в более неупорядоченной фазе, чем в чистых, беспримесных пленках P3HT или PFO. Это приводит к значительному изменению в электрических свойствах композитных пленок P3HT-PFO.

Литературы:

1. P.L. Santos, L.A Cury., F.B.Dias, A.P Monkman, J. of Lum. — V. 172. – P.118–123, (2016)
2. F.-C.Chen, G. He, Y. Yang, Appl. Phys. Lett. — V. 82. – P.1006–1008, (2003)
3. К.В. Шалимова, Физика полупроводников. М.: Энергия, С. 416, (1976)
4. A. Perevedentsev, N. Chander, J.–S. Kim, D.D.C. Bradley, J. of Pol. Sc., Part B: Pol. Phys. – V. 54. – P. 1995–2006, (2016)
5. M. Ghanipourand, D. Dorranian, J. of Nanomat. — V.2013. – P.1-10, (2013)
6. D. Alberga, A. Perrier, I. Ciofini, G.F. Mangiatordi, G. Lattanzi, C. Adamo, Phys. Chem. Chem. Phys. — V. 17(28). – P. 18742-50, (2015)

Репозиторий КарГУ

A. Zh. Zhumabekov
Institute of Molecular Nanophotonics, Buketov University, Karaganda, 100028, Republic of Kazakhstan, E-mail address: almar89-89@mail.ru

Photocatalytic activity of ternary nanocomposite material "TiO_2-graphene oxide-Ag"

In recent years, hydrogen-based energy has been widely used form of renewable energy. During strict environmental requirements-this "zero emission fuel" serves as a suitable choice to replace conventional fossil fuel energy. Hydrogen is therefore the preferred choice for storing inexhaustible solar energy in the absence of sunlight. Hydrogen production is the most important step in the development of solar energy.

In [1] it was shown for the first time, that photoelectrochemical water of splitting occurs on the surface of titanium dioxide (TiO_2). It has already been proved that titanium dioxide occupies a special place among semiconductor photocatalysts because of its physical and chemical properties. To create highly efficient photocatalysts based on TiO_2, which is one of the promising methods are composite materials. The formation of composites based on other semiconductors, metals and carbon materials reduces the rate of recombination TiO_2. Graphene and its derivatives are a promising material in the production of photocatalysts due to their excellent thermal conductivity, charge carrier mobility and large specific surface area [2]. Nanocomposites have already been obtained on the basis of these excellent materials [3] and its photocatalytic activity for hydrogen production is being studied. Studies of synthesized nanocomposites based on graphene oxide and TiO_2 show improved photocatalytic activity in the decomposition of water and the generation of hydrogen H^+.

In this paper, the nanocomposite material TiO_2-GO/Ag-TiO_2 with the addition of nanostructures (NS) "core-shell" composition of Ag-TiO_2 was synthesized and its photocatalytic activity was investigated. The addition of NS "core-shell" will increase the photocatalytic characteristics of the nanocomposite by increasing its absorption capacity in the visible light region (~420 nm).

According to work [4] synthesis of nanocomposite materials was carried out by hydrothermal method on the basis of graphene oxide and TiO_2. It is shown, that the nanocomposite has higher electrotransport characteristics and high photocatalytic activity compared to TiO_2 [5]. Also, studies have shown the formation of a bond between graphene oxide and TiO_2.

Thus, when recording Raman spectra, the presence of characteristic peaks of the initial materials was observed in the nanocomposite TiO_2-GO. And bond between the titanium, oxygen and carbon was confirmed by FT-IR analysis. FT-IR spectrum shows TiO_2-GO manifested absorption below 1000 cm^{-1}. This peak can be seen as a combination of oscillations of the bonds Ti-O-Ti (about 695 cm^{-1}) and Ti-O-C (about 792 cm^{-1}).

The film of the ternary nanocomposite material was prepared as follows: in 150 mg of TiO_2 powder, was added "core-shell" the Ag-TiO_2 and stirred for 24 hours on a magnetic stirrer to form a homogeneous paste. After application and drying, the film was gradually heated in an argon atmosphere for 2 hours. The study of the transient characteristics of the photocurrent of the obtained materials was carried out by registering the photoinduced current in a standard photoelectrochemical three-electrode cell.

The results showed that the nanocomposite TiO_2-GO with the addition of core-shell Ag-TiO_2, which has improved photocatalytic activity compared with the addition of Ag-TiO_2 to TiO_2 (Fig.1).

Репозиторий КарГУ

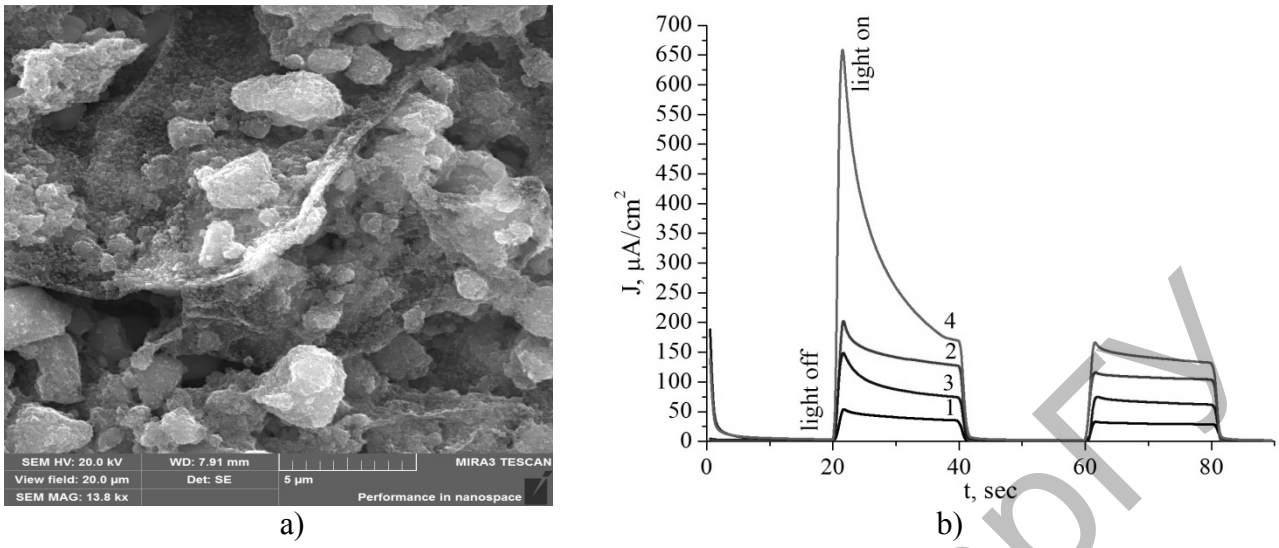


Figure 1. SEM-image nanocomposite TiO_2-GO and transient characteristics of the photocurrent:
1-TiO_2, 2-TiO_2/Ag-TiO_2, 3-TiO_2-GO, 4-TiO_2-GO/Ag-TiO_2

Figure 1, a shows the SEM image of the nanocomposite TiO_2-GO. The figure shows that nanoparticles are aggregated in the bulk sample of titanium dioxide. Single-layer sheets of graphene oxide are embedded between TiO_2 nanoparticles in the form of transparent sheets and are clearly visible in the image.

Figure 1, b shows the photocatalytic activity of the nanocomposite and TiO_2 with/without the addition of the core shell structure Ag-TiO_2. Figure 1, b shows that when the film is illuminated, TiO_2 generates a photocurrent of about 40.5 μA/cm^2. The addition of graphene oxide has been shown to increase photocurrent generation in the nanocomposite. The TiO_2-GO nanocomposite generates a photocurrent of about 93.1 μA/cm^2 and this value is 2.3 times bigger than pure TiO_2.

When Ag-TiO_2 is added to the TiO_2 film, the value of the generated photocurrent increases to ~ 144.8 μA/cm^2. Thus, the generation of photocurrent increases in 3.6 and 1.6 more TiO_2 and TiO_2 nanocomposite. The TiO_2-GO nanocomposite with the addition of Ag-TiO_2 shows the value of the generated photocurrent ~298.0 μA/cm^2 and exceeds the value of the nanocomposite by 3.2 times.

Thus, in the study of the photocatalytic activity of the synthesized nanocomposite material TiO_2-GO with adding core-shell by structure of Ag-TiO_2 increases the generation of photoinduced current in 3.2 and 7.4 times more than the nanocomposite and pure TiO_2, respectively.

Since the efficiency of photocatalytic splitting of water into molecular oxygen and hydrogen will directly depend on the magnitude of the photoinduced electrons, it can be assumed that when using the core-shell structure Ag-TiO_2, hydrogen generation will be higher compared to other nanocomposites.

References

1. A. Fujishima, K. Honda, Nature, V. 238 P. 37, (1972)
2. M.J. Allen, V. C., Tung, R.B. Kaner, Chem. Rev., V. 110 P. 132, (2010)
3. Y. Zhang, Z.-R. Tang, X. Fu, Y.-J. Xu, ACS Nano, V. 4 P. 7303, (2010)
4. A.Zh. Zhumabekov, N.Kh. Ibrayev, E.V. Seliverstova, G.B. Kamalova, Bull. of the Univ. of Karag.-Phys., V. 94 P. 54, (2019)
5. A.Zh. Zhumabekov, E.V.Seliverstova, N.Kh.Ibrayev, Eur. Phys. Tech. J., V. 16 P. 42, (2019)

Репозиторий КарГУ

А.О. Саулебеков[1], Ж.Т. Камбарова[2]
[1]Казахстанский филиал МГУ им.М.В.Ломоносова, Нур-Султан, Казахстан, [2]КарГУ им.Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан, kambarova@bk.ru

Фокусирующие свойства электростатического квадрупольно-цилиндрического зеркала

Цилиндрическое зеркало (ЦЗ) получило самое большое распространение, став базовым элементом в большинстве электронных спектрометров. ЦЗ обладает рядом преимуществ, таких как высокое энергетическое разрешение, простота конструкции и т.д. Его работа основана на фокусирующем и диспергирующем действии поля в пространстве между двумя коаксиальными цилиндрическими электродами на пучок заряженных частиц. Детально теория и возможность практического применения ЦЗ исследована группой ученых под руководством профессора Зашквары В.В [1].

В настоящей работе предложена конструкция квадрупольно-цилиндрического зеркала (КЦП), обладающая более высокими корпускулярно-оптическими параметрами по сравнению с классическим цилиндрическим зеркалом.

Новый класс осесимметричных лапласовых полей, построенных на основе синтеза мультиполей и цилиндрического поля и представляющих практический интерес для решения задачи энергоанализа пучков заряженных частиц, был предложен впервые в работах [2,3]. Потенциал мультипольно-цилиндрического поля, построенного на основе суперпозиции полей цилиндрического типа зеркала и кругового мультиполя различного порядка имеет следующий вид:

$$U(r,z)=\mu\,\ln r+U_m(r,z) \tag{1}$$

где $U_m(r,z)$ - круговой мультиполь, μ - коэффициент, задающий весовой вклад цилиндрического поля.

Ранее в работе [4] приведен расчет структур электростатических квадрупольно-цилиндрических полей, синтезированных на основе суммы базового цилиндрического поля и осесимметричных цилиндрических квадруполей различного вида. Представлены эквипотенциальные портреты квадрупольно-цилиндрических полей различного вида. Проведен анализ полученных эквипотенциальных портретов квадрупольно-цилиндрических полей. Установлено, что электронное зеркало с КЦП, потенциалом

$$U_q(r,\mathrm{z})=U_0\left(\mu+z\right)\ln r \tag{2}$$

более доступно для аналитического исследования его электронно-оптических свойств и для построения на его базе светосильного энергоанализатора. Отмечено, что данное КЦП при величине $\mu=1$ совпадает с хорошо известным полем Ваннберга, предложенным для разработки устройства, работающего в режиме спектрографа. Потенциал поля Ваннберга в системе координат *r, z* описывается следующим выражением [5]:

$$U=\frac{V}{\ln\left(r_1/r_o\right)}\left(1+Az\right)\ln\frac{r}{r_o} \tag{3}$$

где A – малый безразмерный параметр. Наличие малого параметра A дает дополнительную степень свободы в выборе нужного распределения электростатического поля и расширяет возможность поиска наиболее оптимальной схемы энергоанализатора на основе КЦП.

Репозиторий КарГУ

В работе [6] приведены результаты численного моделирования электронно-оптической схемы энергоанализатора с КЦП при A=-0,05. Рассчитаны корпускулярно-оптические параметры предложенной схемы. Найден режим угловой фокусировки второго порядка типа «кольцо-кольцо».

Целью данной работы являются расчет фокусирующих свойств электростатического квадрупольно-цилиндрического зеркала при $A=-0,01$ и поиск возможных режимов угловой фокусировки.

Исследуемое КЦП формируется в пространстве между двумя осесимметричными коаксиальными электродами, внутренний из которых имеет цилиндрическую форму (радиуса r_0) и находится под потенциалом Земли, на внешний электрод, имеющий криволинейный профиль $r = r_0 \exp\left[\dfrac{\ln(r_1/r_0)}{1+Az}\right]$, подается отклоняющий потенциал U_0 (рис.1).

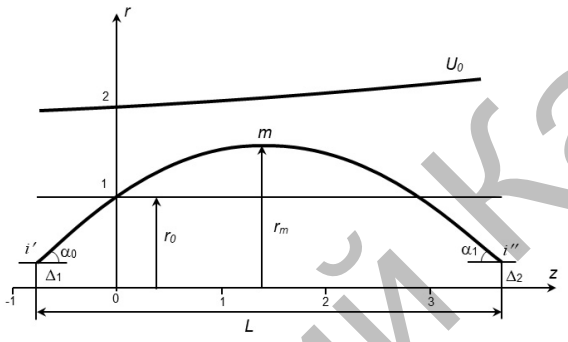


Рисунок 1. Электронно-оптическая схема зеркального анализатора с КЦП

Проведен расчет характеристик КЦП (3), выполненный на основе аналитического метода расчета траекторий, предложенного ранее в работах [7, 8]. Согласно этому методу, в точке поворота траектории **m** размещается система координат x, ξ и с этой точки начинается отсчет левой и правой ветвей траектории, несимметричных относительно оси x. Здесь и в дальнейшем все линейные размеры будут выдержаны в долях радиуса внутреннего цилиндрического электрода r_0:

$$z = z_m \mu \xi,\ \frac{r}{r_0} = \frac{(1+\rho_m) r_0}{r_0} - \frac{x \cdot r_0}{r_0} = R - x, \qquad R = 1 + \rho_m . \tag{4}$$

Распределение КЦП (3) в координатах x, ξ имеет следующий вид:

$$U = U_{1,2}(x,\xi) = U_o\, \omega \left(1 \pm \mu A' \xi\right)\, ln(R-x), \tag{5}$$

где $R = \dfrac{r_m}{r_o} = 1 + \rho_m$, $\omega = \left(1 - A\, z_{m_1}\right) \Big/ ln\left(r_1/r_o\right)$, $A' = \dfrac{A}{1 - A z_{m_1}}$.

Интегро-дифференциальное уравнение движения заряженных частиц в КЦП (3), в котором временно принято, что $A = \pm A'$ [1, 8], имеет вид:

$$\left(\xi'_{1,2}\right)^2 \left\{ -\ln\left(1 - \frac{x}{R}\right) + A\left[\xi \ln(R-x) - \int_0^x ln(R-x)\, \xi' dx \right] \right\} = F_{m_{1,2}} + A \int_0^x ln(R-x)\, \xi' dx. \tag{6}$$

Репозиторий КарГУ

Условие сшивания левой и правой ветвей траектории в точке поворота *m*:

$$P_1^2(A)\operatorname{ctg}^2\alpha - A'f_{m_1} = P_2^2(A)\operatorname{ctg}^2\alpha_1 + A'f_{m_2}, \quad (7)$$

где $f_{m_{1,2}} = \int_0^{\rho_m} \ln(R-x)\xi' dx$, $P_1^2(A) = \frac{P_o^2}{1-Az_m}$ - параметр отражения для левой ветви, $P_2^2(A) = \frac{P_o^2}{1-Az_m}\frac{\sin^2\alpha_1}{\sin^2\alpha_o}$ - для правой ветви и $P_o^2 = \frac{W}{qU}ln\left(\frac{r_1}{r_o}\right)\sin^2\alpha_0$ - параметр, связывающий геометрические и энергетические характеристики отражения цилиндрического зеркального анализатора [1].

Интегрируя уравнение (6) приближенно-аналитическим методом разложения величины ξ в дробно-степенной ряд и $\xi = \sqrt{x}\sum_{n=0}^{\infty} c_n x^n + \sum_{n=1}^{\infty} a_n x^n$ [7, 8], используя при этом метод последовательных приближений для определения R, получены уравнения для основных электронно-оптических характеристик КЦП. В качестве нулевого приближения при определении R использован параметр цилиндрического зеркального анализатора $R_0 = \exp(P^2)$ [1].

Полная проекция траектории на ось симметрии квадрупольно-цилиндрического зеркала от источника до его изображения:

$$l = \frac{L}{r_o} = \Delta_1 \operatorname{ctg}\alpha_o + \xi_i + \Delta_2\operatorname{ctg}\alpha_1, \quad (13)$$

где Δ_1, Δ_2 - величины удаленности источника и его изображения от поверхности внутреннего цилиндрического электрода, которые считаются положительным по направлению внутрь от радиуса r_0.

Для анализа характеристик электростатического квадрупольно-цилиндрического энергоанализатора были определены аберрационные коэффициенты пространственной фокусировки 1, 2 и 3-го порядков. Получены основные электронно-оптические характеристики квадрупольно-цилиндрических энергоанализаторов для схем с $A = -0,01$, $A = 0$, $A = +0,01$, рассчитанные в зависимости от входного угла α_0 и параметра отражения P, и удовлетворяющие условиям угловой фокусировки второго порядка $\frac{dl}{d\alpha} = \frac{d^2l}{d\alpha^2} = 0$.

Сравнение параметров схем с различными значениями A показывает, что угловые аберрации анализаторов с $A < 0$, внешний электрод которых имеет возрастающий экспоненциальный профиль, меньше, чем у квадрупольно-цилиндрических анализаторов с $A > 0$ и меньше, чем у цилиндрического зеркального анализатора, соответствующего схемам с $A = 0$. Это значит, что зеркальные анализаторы на основе КЦП с улучшенными электронно-оптическими характеристиками нужно выбирать среди схем с $A < 0$. При малых значениях параметра A профиль образующей внешнего электрода аппроксимируется наклонной прямой, что позволяет заменить внешний экспоненциальный электрод на конический.

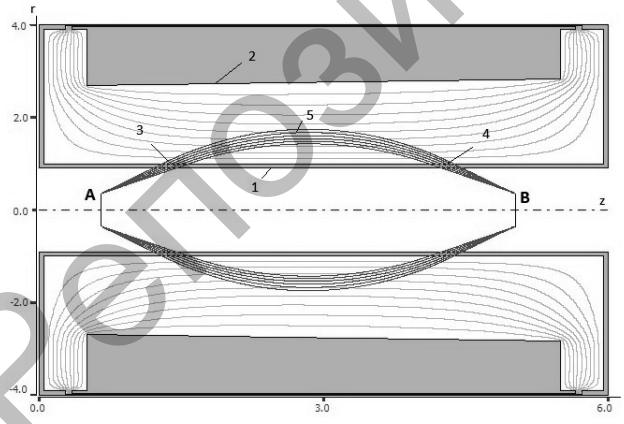
Репозиторий КарГУ

Далее приведены результаты траекторного анализа системы, проведенного с помощью численной программы “Focus” для моделирования систем корпускулярной оптики [9]. Найдено три режима угловой фокусировки второго порядка «кольцо-кольцо», «кольцо-ось» и «ось-кольцо».

На рис.2 показаны траектории заряженных частиц в схеме энергоанализатора при A = -0,01, работающего в режиме фокусировки «кольцо-кольцо». Согласно схеме, заряженные частицы летят из тонкого кольцевого электронно-оптического источника А в интервале полярных углов от 35^0 до 45^0, далее попадают через входную щель в поле, под действием потенциала на внешнем электроде отклоняются обратно, и фокусируются в кольцевое изображение В. Рассчитана аппаратная функция предложенного энергоанализатора, работающего в режиме угловой фокусировки «кольцо-кольцо». Относительное энергетическое разрешение на полувысоте аппаратной функции энергоанализатора с радиусом выходной диафрагмы $0{,}02r_0$ составляет 0,58 %.

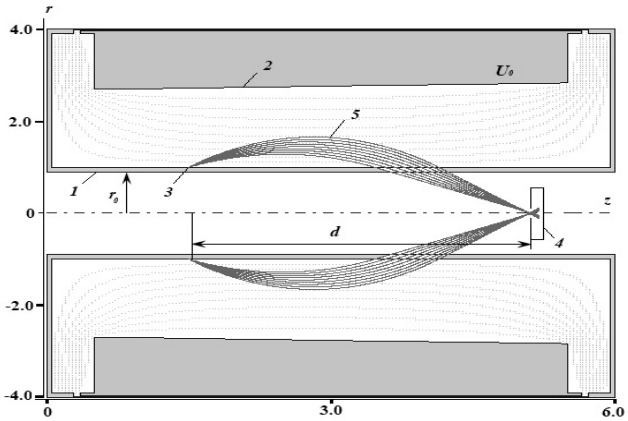
На рис. 3 дана схема исследуемого энергоанализатора при A= - 0,01 и ход траекторий в нем в том случае, когда источником заряженных частиц служит кольцевая щель на внутреннем цилиндре, а детектор расположен на оси симметрии. Согласно схеме заряженные частицы, эмитируемые из реального источника, попадают в поле через входную кольцевую щель на внутреннем электроде, и под действием потенциала на внешнем электроде отклоняются обратно, и регистрируются детектором. Из траекторного анализа определено, что оптимальным диапазоном входных углов частиц в квадрупольно-цилиндрическое поле является интервал начальных углов 30^0-45^0, обеспечивающий максимум светосилы Ω=16% и наилучшей фокусировки пучка заряженных частиц. Относительное энергетическое разрешение на полувысоте аппаратной функции энергоанализатора с радиусом выходной диафрагмы $0{,}04r_0$ составляет 1,5 %.

На рис.4 приведено множество траекторий частиц в электронно-оптической схеме энергоанализатора. Источником первичных электронов служит встроенная электронная пушка, ось которой совпадает с осью симметрии энергоанализатора. Из рис.4 видно, как вторичные электроны, возбужденные из исследуемого образца (3) первичным излучением (6) (электронами), через входную щель (8) во внутреннем цилиндре, попадают в поле анализатора и при своем движении отклоняясь к оси цилиндра, фокусируются кольцевое изображение. Электроны, прошедшие сквозь выходную диафрагму (4), регистрируются детектором (5). В схеме выполняется режим угловой фокусировки второго порядка «ось-кольцо». Моделирование электронно-оптической схемы показало возможность достижения фокусировки второго порядка вблизи угла вылета из источника порядка $36{,}6^0$.



1 – внутренний заземленный цилиндр, 2 – внешний отклоняющий электрод, 3 и 4 – входная и выходная щели, А – тонкий кольцевой источник, В – кольцевое изображение, 5 – траектории частиц

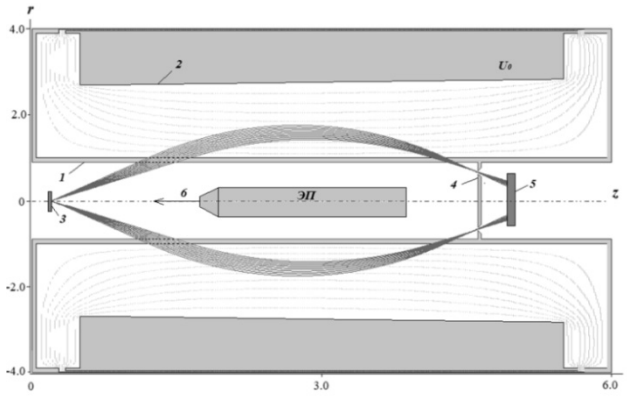
Рисунок 2. Траектории частиц в квадрупольно-цилиндрическом зеркале (фокусировка «кольцо-кольцо»)



1 – внутренний заземленный цилиндр, 2 – внешний отклоняющий электрод, 3 – источник заряженных частиц, 4 – детектор, 5 – траектории частиц

Рисунок 3. Траектории частиц в квадрупольно-цилиндрическом зеркале (фокусировка «кольцо-ось»)

Репозиторий КарГУ



1 – внутренний заземленный цилиндрический электрод, 2 – внешний отклоняющий электрод, 3 – исследуемый образец с точечным источником частиц, 4 – выходная диафрагма, 5 – детектор, 6 – первичные электроны, ЭП – электронная пушка

Рисунок 4. Ход траекторий частиц в квадрупольно-цилиндрическом энергоанализаторе (режим фокусировки «ось-кольцо»)

В таблице 1 представлены результаты расчетов фокусирующие свойства энергоанализатора на основе квадрупольно – цилиндрического поля при A= -0,01 для различных режимов фокусировки.

Таблица 1 – Фокусирующие свойства энергоанализатора на основе электростатического квадрупольно – цилиндрического поля при A= - 0,01

Тип фокусировки	«кольцо-кольцо»	«кольцо-ось»	«ось-кольцо»
Порядок фокусировки	2	2	2
Центральный угол фокусировки	$38{,}3^0$	$36{,}5^0$	$36{,}6^0$
X координата фокусировки	5,03	5,12	4,6
Y координата фокусировки	0,35	0	0,7
Общая протяженность электронно-оптической схемы, $l = L/r_0$	6,0	6,0	6,0
Параметр отражения, P	1	1	1

Таким образом, исследованы схемы квадрупольно-цилиндрического энергоанализатора при A=-0,01, реализующие различные режимы угловой фокусировки второго порядка. Рассчитаны фокусирующие свойства энергоанализатора на основе квадрупольно-цилиндрического поля для различных режимов фокусировки. Установлено, что на основе квадрупольно-цилиндрических полей могут быть построены светосильные энергоанализаторы, обеспечивающие режимы работы в условиях высокой разрешающей способности и большой светосилы.

Литературы:

1. Зашквара В.В., Корсунский М.И., Космачев О.С. Фокусирующие свойства электростатического зеркала с цилиндрическим полем // ЖТФ. – 1966. - Т.36. - С.132.

2. Зашквара В.В., Тындык Н.Н. Осесимметричные электростатические мультиполи, их приложение // ЖТФ. – 1991. - Т.61. - С.148.

3. Zashkvara V.V., Tyndyk N.N. Potential fields based on circular multipole series // Nuclear Instruments and Methods. -1996. - A370. – P. 452-460. doi.org/10.1016/0168-9002(95)00809-8

Репозиторий КарГУ

4. Kambarova Zh.T., Saulebekov A.O. Calculation of the structure of electrostatic quadrupole-cylindrical fields // Bulletin of the University of Karaganda-Physics. – 2018. – Vol.1. – Issue 89. – P. 66-71.

5. Wannberg B. An electrostatic mirror spectrometer with coaxial electrodes for multi-detector operation // Nuclear Instruments and Methods. – 1973. – V.107. – P. 549-556.

6. Saulebekov A.O., Kambarova Zh.T. Development of mirror energy analyzer based on electrostatic quadrupole-cylindrical field // Eurasian Physical Technical Journal. – 2017. - V.14, No 2 (28). – P.42-47.

7. Zashkvara V.V., Ashimbaeva B.U., Chokin K.Sh. Calculation of trajectories in a multipole cylindrical field // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. - 2002. - Vol.122. – P.195-202. doi.org/10.1016/S0368-2048(01)00346-2

8. Ashimbaeva B.U., Chokin K.Sh., Saulebekov A.O. Focusing Properties of a mirror analyzer with hexapole cylindrical field // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. - 2005 – Vol.143. – P.29-32. dx.doi.org/10.1016/j.elspec.2004.11.002

9. Trubitsyn A., Grachev E., Gurov V., Bochkov I., Bochkov V. CAE “FOCUS” for modelling and simulating electron optics systems: development and application // Proceedings of SPIE. - 2017. - V.10250. - P.0V-1 – 0V-7. DOI: 10.1117/12.2256570

Кудусова И.А.
Магистрант физико-технического факультета КарГУ им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, ilona256k@gmail.com

Изучение износостойкости особо твердых покрытий

Одной из важных характеристик физического тела является его твердость. Именно это свойство определяет срок эксплуатации деталей машин и механизмов. Уже более 50 лет с целью увеличения их срока службы используются различные технологии нанесения на поверхность деталей упрочняющих покрытий.

Одним их методов является нанесение тонких (~10 мкм) ионно-плазменных покрытий, который в настоящее время считается наиболее универсальным и перспективным, позволяющим получать покрытия с наперед заданными свойствами [1,2]. Нанесение защитных, упрочняющих, износостойких покрытий на различные изделия является эффективным способом повышения работоспособности и кроме того, использование относительно дешевых металлов также увеличивает экономический эффект.

В работе были изучены два вида покрытий: TiN и (Ti+Cu)N, которые наносились на подложки из стали марки 12Х18Н10Т. Подложки, толщиной 5 мм, изготавливались из шестигранного прутка с гранью длиной 14 мм, после чего шлифовались и полировались на полировально-шлифовальном станке FORCIPOL 102. Следует отметить, что только одна сторона подложки полировалась до зеркального блеска, противоположная сторона подвергалась только шлифовке, грани обработке не подвергались. Перед установкой в камеру подложки промывались органическим растворителем Нефрас С2-80/120, протирались этиловым спиртом-ректификатом и сушились при комнатной температуре.

Нанесение покрытий осуществлялось на установке вакуумного напыления ННВ 6.6-И1, на которой были установлены два электродуговых испарителя и плазменный источник с накаленным катодом (ПИНК), который совмещал в себе функции ионно-плазменной очистки и активации подложек, а также ионного ассистирования во время нанесения покрытий. Таким образом, в ННВ 6.6-И1 были установлены два катода: из Ti и Cu. Подложки располагались на вращающемся столике с плоскостью напыления под углом в 45 градусов к испарителям и к ПИНКу, что позволяло наносить покрытие в основном на полированную поверхность подложки.

Режим нанесения покрытий был выбран следующим. Рабочая камера установки откачивалась до давления P = 0,005 Па, затем с помощью системы напуска газа в камеру

Репозиторий КарГУ

подавался азот особой частоты (99,996) и устанавливалось давление P = 0,5 Па. На подложки подавалось напряжение смещения -1000 В, включались ПИНК и привод вращения стола, после чего в течении t = 20 минут проводилась очистка и активация поверхности образцов.

После очистки и активации напряжение смещения уменьшалось до U = - 200 В и включался либо только титановый катод, либо оба испарителя одновременно. Ток дуги каждого катода в течение всего процесса поддерживался I = 80 А. Время нанесения покрытий в среде азота составляло 90 мин.

Твердость полученных покрытий определялась на микротвердомере HVS-1000A по методу Виккерса. В качестве индентора применена четырехгранная алмазная пирамида. Нагрузка на индентор была выбрана 0,05кг, чтобы диагональ отпечатка была меньше толщины исследуемого покрытия. Результаты измерения микротвердости образцов приведены в таблице 1.

Из результатов, приведенных в табл. 1 видно, что уже нанесение нитрида титана значительно, почти на порядок, увеличивает твердость поверхности образцов, а твердость покрытия (Ti+Cu)N ещё больше, почти на 20%.

Таблица 1. Микротвердость образцов и материала подложки.

№	Образец	$HV_{0.05}$
1	TiN	2100
2	(Ti+Cu)N	2500
3	Сталь 12Х18Н10Т	240

Испытания на трение и износ проводились на приборе, изготовленном сотрудниками научно-исследовательского центра «Ионно-плазменных технологий и современного приборостроения» Карагандинского государственного университета**,** фото которого приведено на рис. 1.

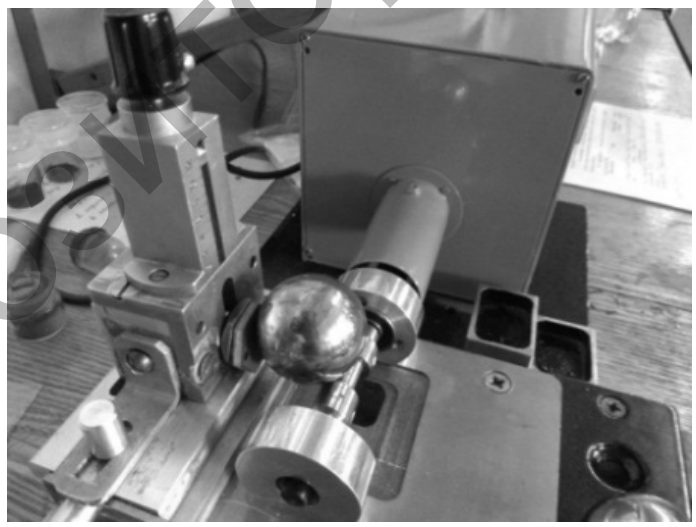


Рисунок 1. Фото внешнего вида устройства по определению износостойкости

Стальной шар (сталь марки ШХ15) весом 262 грамма и диаметром 40 мм, вращался с постоянной скоростью. Несколько ниже центра тяжести вращающегося шара располагался исследуемый образец, которого касался шар. Чтобы исключить протирание покрытия до подложки, время контакта в одной точке было экспериментально подобрано 120 с, а количество точек – 25. Взвешивание образцов (до и после испытаний) проводилось на

Репозиторий КарГУ

электронных весах RADWAG AS 60/220.R2, позволяющих производить взвешивание с точностью до 10 мкг. Приняв убыль массы на образце с покрытием TiN (160 мкг) за единицу износостойкости, износостойкость покрытия (Ti+Cu)N (убыль 90 мкг) можно считать равной – 1,78.

Таким образом, из приведенных результатов следует, что микротвердость покрытия нитрида титана возросла на 20% с добавлением меди, а износостойкость увеличилась на 78%, что может быть объяснено меньшим коэффициентом трения последнего.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК. Гранты № 0118РК000063 и № О.0781

Литературы:

1. Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Вертягина Е.Н., Завацкая О.Н. Структура и свойства ионно-плазменных покрытий. Караганда: Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского университета, 2013, 150 с.

2. Yurov V.M., Guchenko S.A., Platonova E.S., Syzdykova A.Sh., Lysenko E.N. Multiphase composite coatings: structure and properties //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015. Vol. 81.

N. Kantay[1], N.K. Kasmamytov[2], B.Rakhadilov[3], S. Plotnikov [1], M.Pashkovskyi[4], B.Tuyakbayev[3] D. Serikbayev[1]

EKSTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan [2] Institute of Physical-Technical Problems and Materials Science NAS KR, Bishkek, Kyrgyz Republic [3] S.Amanzholov EKSU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan [4]Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland, e-mail: nurgan85@mail.ru

Change in structure and physical properties of porcelain ceramics at various firing temperatures

Electrical products based on high-voltage porcelain ceramics (HVPC) are widely used for the transmission and safe exploitation of electrical energy. In this regard, certain requirements for mechanical and electrical insulating properties are introduced to HVPC electrical products, which must satisfy the values established by GOSTs [1-2]. It can be seen from the data [3-5] that, during the formation of the structural phase components of the HVPC, there are serious discrepancies in the understanding of the phase and microstructural evolution of the HVPC, which are caused by a number of external technological factors, as well as the multicomponent nature of the initial raw material of the ceramic composition. Along with this, in the production of electrical ceramics, much attention is paid to lowering the firing temperature of porcelain ceramics. It is known that the properties of porcelain depend on a number of parameters, but one of the final properties of the HVPC determining is the formation of a sufficient amount of crystalline mullite during firing. According to [7], the porcelain firing temperature should be sufficient for the development of mullite crystal formation processes in the system of clay-non-plastic fluxes. Thus, the firing temperature of porcelain ceramics should not be lower than the temperature of 1150-1200°C at which the processes of mullite formation in HVPC are completed.

The aim of this work is to study the change in the structure and properties of porcelain ceramics at various firing temperatures.

Practical part

Ceramic mass of HVPC is prepared from four different components: kaolin, porcelain stone, clay and feldspar. Previously, each raw material individually was subjected to fine grinding in a ball mill. After grinding, all four components of the raw material were weighed in a certain proportion by weight from which a ceramic mixture (mass) was prepared for further joint wet grinding. The

Репозиторий КарГУ

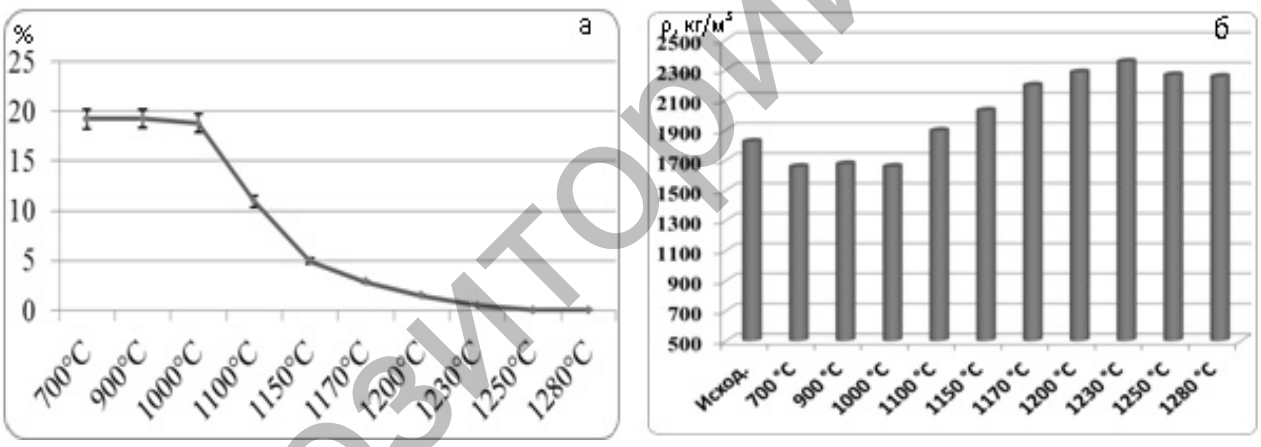
fractional composition of the milled powder by sieving through a set of sieves 45,63,125,250,500 μm and 1 mm was studied with the help of standard sieves set.

The basic mass of the ceramic mixture lies in the interval size of 63-125 μм and compose 66.83%. The sizes of ground ceramics were measured using a ball mill at a given mass of 37.76 g-100%, the grain size of 1.76% turned out to be more than 45 μm, 9.17% 45-63 μm, 66.83% 63-125 μm, 12.61% 125-250 μm, 1.29% 250- 500 μm, 2.1% 500-1mm and 6.49% less than 1 mm. The microstructure of the image consists of small granules, and the size of the granules determined by a standard cytometer is particles the size of agglomerate particles consisting of small particles and this can be seen with the help of raster electron microscopic analysis revealed that the surface of the ceramics from picture 4. a-f.

Samples for studying the structure and properties of HVPC were made on a hydraulic press and underwent a final technological operation - firing. Each batch of HVPC samples was fired at sintering temperatures of 700, 900, 1000, 1100, 1150, 1170, 1200, 1230, 1250 and 1280 °C, with exposure at these temperatures during 30 min. The average heating rate from roam to working sintering temperature was υ = 2-4 ° C/min.

Results and discussion

Picture 1a presents the water absorption dependence of ten batches of experimental samples of wafers sintered at various temperatures of 700-1280°C. It can be seen that with an increase in the firing temperature of the HVPC samples at given sintering temperatures, the water absorption decreases, and it begins to decrease significantly with an increase in the firing temperature over 1000°C.



Picture 1. The curve of changes in water absorption and the density of the experimental samples of HVPC depending on their firing temperatures

For example, at a firing temperature of 1200 °C it is about 2%, but at a firing temperature of 1230 °C, the water absorption of the HVPC samples is about 0.5%, and at a firing temperature of 1250 - 1280 °C, it is almost leveled to zero.

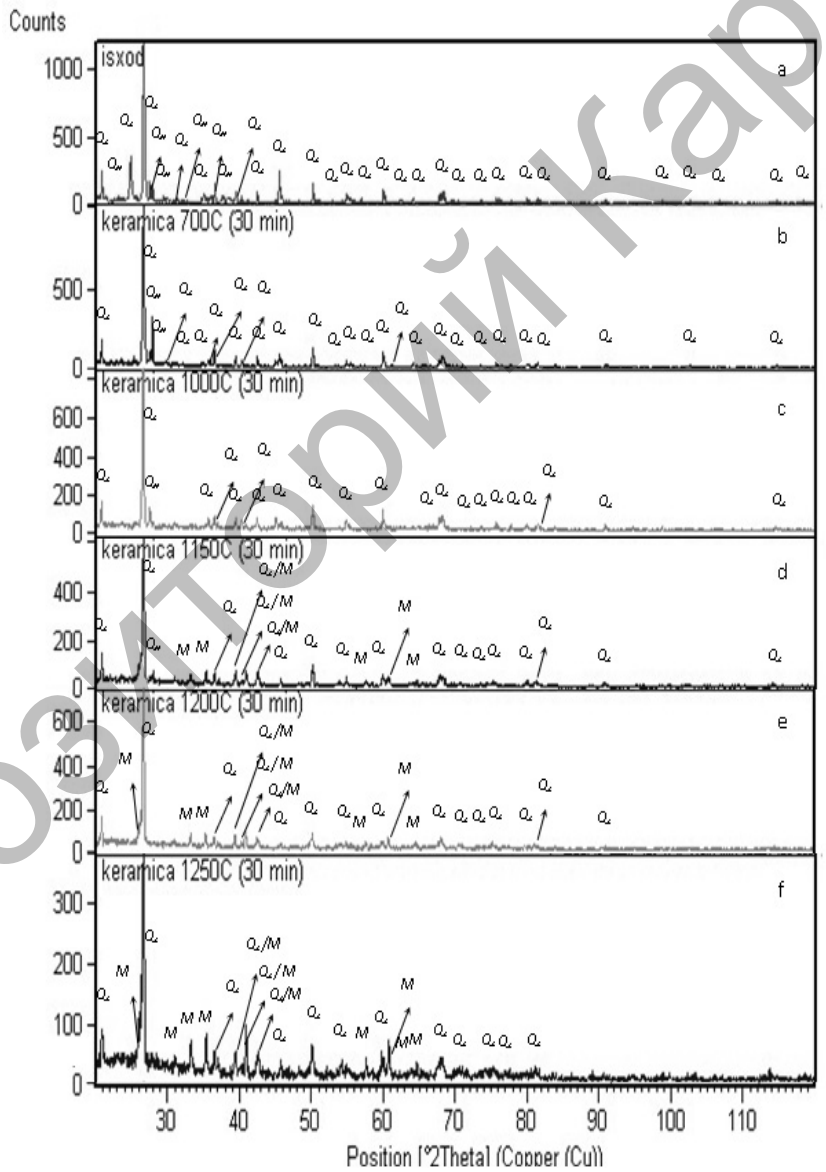
Picture 1b presents the changes in the density values of the test samples at different firing temperatures of the HVPC. It can be seen that, starting from a firing temperature of 1000 °C, the density of the HVPC samples monotonically increases to a firing temperature of 1230 °C. It can be noted that in this range of firing temperatures, the HVPC samples undergo shrinkage and corresponding of it the porosity of the samples decreases, which in a certain way affects on the water absorption values.

Picture 2 presents the X-ray diffraction patterns of the HVPC samples annealed at temperatures of 700,1000,1150,1200 and 1250 ^{o}C with an exposure time of 30 minutes. The results of the X-ray phase analysis (picture 3) presents that the developed composition of the HVPC based on the

Репозиторий КарГУ

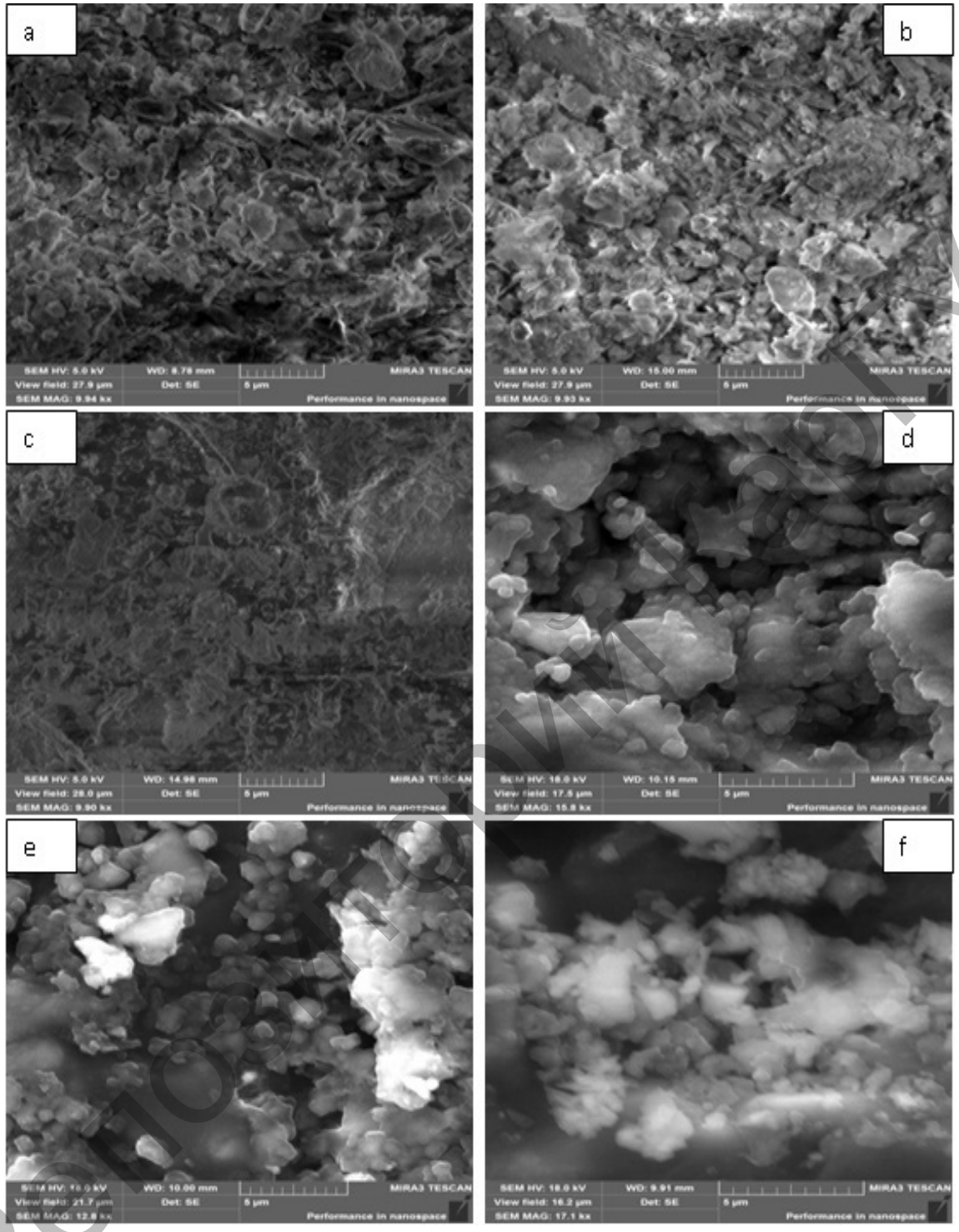
mineral raw materials of the deposits of the Kyrgyz Republic after the specified firing modes, i.e. in the temperature range 700-1000 ° C, they mainly consist of a monoclinic and orthorhombic lattice. A comparative analysis of the X-ray diffraction patterns, depending on the temperature of the HVPC firing, shows that, starting from the firing temperature of 1150 °C and higher to 1250 °C, changes in the intensities of some diffraction maxima are clearly visible in the X-ray diffraction patterns, along with the appearance and disappearance of individual diffraction maxima.

We can note that increasing in the intensity of the maxima should be associated with an increasing in the amount of a certain forming phase - mullite. Phase analysis showed that at firing temperatures of 1150–1250 °C (x-ray diffraction patterns in picture 2-d, e, f), the following strengthening crystalline phases mainly form in the form of $Al_2Si_2O_{13}$ mullite with an orthorhombic crystal lattice and two different modifications of quartz, specifically the hexogonal and monoclinic structure.



Picture 2. X-ray diffraction patterns of HVPC firing at various temperatures:
a-700 °C, b-1000 °C, c-1150 °C, d-1200 °C, e-1250°; where $Q_г$ -SiO_2 (hexagonal), $Q_м$-SiO_2 (monoclinic), M-mulite $Al_2Si_2O_{13}$ (orthorhombic lattice)

Репозиторий КарГУ



Picture 3.a-f. Microstructures of the surface of fractures of HVPC experimental samples at various firing temperatures: a-before firing; b-700 °C; c-1000 °C; d-1150 °C; e-1200 °C; f-1250 °C

A fractographic analysis of the microstructure of fracture surfaces studied with the help of scanning electron microscope showed that the microstructure with increasing firing temperature are changed. It can be seen that significant evolutionary changes in the microstructure of the HVPC are not observed at firing temperatures of 700 and 1000°C (picture 3, a, b, c) compared to the initial (before firing) state. We can note only slight minor changes in the microstructure of HVPC. Analysis of microphotographs of the microstructure of HVPC annealed at temperatures of 1000-

Репозиторий КарГУ

1050 ° C (picture 3, c) presents the formation of primary in morphology “scaly”, short-prismatic and short-columnar mullite.

The most pronounced changes in the microstructure of HVPC are manifested at temperatures of 1150 °C and higher (picture 3, d, e, f). The analysis of the microstructure of the HVPC presents that a sufficient amount of a liquid glassy phase is formed in the microstructure at firing temperatures of 1150-1200 ° C, which envelops the more refractory quartz crystals with sufficient wettability. No significant coagulation growth of the hardening crystalline phases is observed in the microstructure of the HVPC at the temperatures of 1150–1200 ° C of firing. At first glance it can be noted that the formation of such a microstructure (picture 3 d-f) in a wafer determines the rather high physical and mechanical properties of the HVPC. Also, we note that the quantitative content of the mulite phase in the structure of the HVPC with an increase in the firing temperature to 1250 °C in the experimental porcelain samples are significantly increases compared to the firing temperature of 1150-1200 °C.

Conclusion:

1. A new fractional composition of the ceramic mass was developed on the basis of mineral raw materials from deposits of the Kyrgyz Republic, which makes it possible to obtain electrical porcelain ceramics.

2. Water absorption decreases with an increasing in the firing temperature of the HVPC samples and it begins to decrease with an increasing in the firing temperature over 1000° C. At a firing temperature of 1200 ° C, it is about 2%, at 1230 ° C it is about 0.5% and at 1250 - 1280 ° C it is almost leveled to zero.

3. The density of the HVPC samples monotonically increased to a firing temperature of 1230°C. In this firing temperature range of the HVPC samples undergo shrinkage and, accordingly, the porosity of the samples decreases, which affects on the water absorption values.

4. X-ray phase analysis showed that the intensities of some diffraction maxima change in the X-ray diffraction patterns of HVPC and appearred the peaks of mulite phases which starting from firing temperatures of 1150°C and above to 1250 ° C,.

5. Analysis of microphotographs of the microstructure of HVPC annealed at temperatures of 1000-1050°C presents the formation of primary in morphology “scaly”, short-prismatic and short-columnar mullite.

Literature:

1. Chen Li, Wang Jia-Qing. Related problems in ultrasonic detection of porcelain insulator. In: Proceedings of 17th world conference on nonconductive testing, Shanghai, China; 25–28 October 2008.

2. E. Medvedovski Low-temperature sintering of ceramics for the production of low voltage insulators. Intercram 1996;45(2):82–6.

3. W. E. Cox, “The book of pottery and porcelain”, Crown [2] P. Rado, “The strange case of hard porcelain”, Trans. Brit. Ceram. Soc. 70, 6 (1971) 131-139.

4. S. B. Vasquez, J. C. Valequez, M. J. R. Gausa, “Alumina addition affects elastic properties of electric porcelains”, Am. Ceram. Soc. Bull. 77, 4 (1988) 81-85.

5. W. M. Carty, U. Senapati, “Porcelain raw materials processing, phase evolution and mechanical behaviour”, J. Am. Ceram. Soc. 81, 3 (1998) 3-20.

6. A. Vidyadhar, K. Hanumantha Rao, “Adsorption mechanism of mixed cationic-anionic collectors in feldspar-quartz flotation system”, J. Colloid Interface Sci. 306, 2 (2007) 195-204.

7. .K.Kasmamytov, K.K. Makayeva, etc. The composition and microstructure of high-voltage porcelain ceramics based on local raw materials //Journal of Physics IPTPiM NAS KR. -2016. - No. 1. -p. 176-182.

Репозиторий КарГУ

М.С. Ким, А.Ж. Жумабеков
Карагандинский Государственный Университет им. Е.А.Букетова, г. Караганда, Казахстан, mira_0352@mail.ru.

Фотодеградация метиленового голубого на поверхности нанокомпозитного материала «диоксид титана-восстановленный оксид графена».

Интерес к фотокаталитическим процессам стремительно растет впоследнее время. Диоксид титана (TiO_2) широко изучается благодаря его стабильным, нетоксичным, химически инертным характеристикам и низкой стоимости, что делает его одним из лучших материалов для повышения фотокаталитической активности.Привлекательность фотокатализаторов на основе диоксида титана обусловлена эффектом фотокаталитического разложенияорганических загрязнений до элементарных неорганических компонентов.

Влияние различных факторов на фотокаталитическую активность диоксида титана в настоящее времяявляется предметом многочисленных исследований. Различными авторами показано, что добавление восстановленного оксида графена (rGO) в TiO_2 повышает фотокаталитическую активность материала и его стабильность в УФ- видимом диапазоне спектра, благодаря исключительным электроннымсвойствамграфена. Этоявляетсяперспективным способом улучшения фотокаталитических характеристик TiO_2 [1,2].

В данной работе синтезированы нанокомпозитные материалы TiO_2– rGO с разной концентрацией восстановленного оксида графена, проведен сравнительный анализ.

Приготовление нанокомпозитных материалов проводилось методом гидротермального синтеза, подробно описанного в работе [3]. Образование нанокомпозита было подтверждено данными ИК-анализа. Результаты показали, что в нанокомпозитах частично исчезают функциональные группы, что подтверждает восстановление оксида графена в ходе синтеза. Кроме того, появление широкой полосы ниже 1000 $см^{-1}$ свидетельствует о формировании связи между TiO_2 и производной графена. ЭДС анализ показал наличие титана, кислорода и углерода в порошке нанокомпозитных материалов. Спектры комбинационного рассеяния нанокомпозитов показывают пики, характерные как для TiO_2, так и для восстановленного оксида графена.

Каталитические свойства нанокомпозитов TiO_2–rGO были исследованы в одинаковых условиях. Результаты оценивались по реакции фотодеградации Метиленового голубого (МГ) в присутствии наночастиц TiO_2 и нанокомпозитов с разной концентрацией восстановленного оксида графена.

Для этого 0,6 мг красителя растворяли с 50 мл деионизированной воды, очищенной при помощи системы очистки воды AquaMax. Затем смешивали 0,2 г катализатора (чистый TiO_2 или TiO_2–rGO) со 100 мл МГ. Полученную суспензию обрабатывали 30 мин в ультразвуковой ванне. Далее ее выдерживали в темноте 60 мин при постоянном перемешивании для установления абсорбционного равновесия. Из полученной дисперсии отбирали 5 мл и центрифугировали в течение 15 мин при 4000 об/мин. С помощью спектрофлуориметра SolarCM оценивали оптическую плотность раствора. Далее суспензию поместили в магнитную мешалку и облучали светодиодной лампой в видимой области спектра. При этом через каждые 30 мин отбирали по 5 мл раствора и определяли концентрацию красителя. Оценку концентрации красителя проводили по оптической плотности в максимуме полосы поглощения красителя на 663 нм.

Результаты исследования показали, что нанокомпозиты TiO_2–rGO обладают улучшенной фотокаталитической активностью по сравнению с чистым TiO_2 (Рис.1).

Также анализ полученных данных показывает, что с увеличением концентрации восстановленного оксида графена в нанокомпозитах ускоряется фотодеградация молекул

Репозиторий КарГУ

красителя. Так, при наличии TiO_2-rGO/1 мас% через 30 минут облучения светодиодом происходит фотодеградация 10% молекул красителя, при концентрации 5 мас% и 10 мас% в тех же условиях деградирует 20% и 65% соответственно. Тогда как в присутствии чистого диоксида титана деградирует только 3% молекул. Через 90 минут облучения деградировало уже 95% молекул красителя наличии TiO_2-rGO/10 мас%; при добавлении чистого диоксида титана деградирует только 15%.

Улучшение фотокаталитической активности диоксида титана может быть связано как с ростом удельной поверхности нанокомпозитного материала по сравнению с чистым TiO_2, так и повышением эффективности процесса разделения зарядов в полупроводнике, что уменьшает процессы рекомбинации заряда [4-5]. В присутствии rGO возрастает число OH– радикалов, которые образуются в ходе фотореакции TiO с раствором, что обеспечивает более эффективную деградацию молекул красителя. Более того, молекулы МГ более активно адосрбируются на поверхности композитного материала благодаря $\pi - \pi$ сопряжению между красителем и ароматическими областями восстановленного оксида графена. Благодаря совокупности этих факторов, фотодеградация молекул красителя на поверхности нанокомпозитного материала возрастает. Высокая каталитическая активность нанокомпозитов с rGO связана с его улучшенными электронно-транспортными характеристиками, по сравнению с невосстановленным оксидом графена.

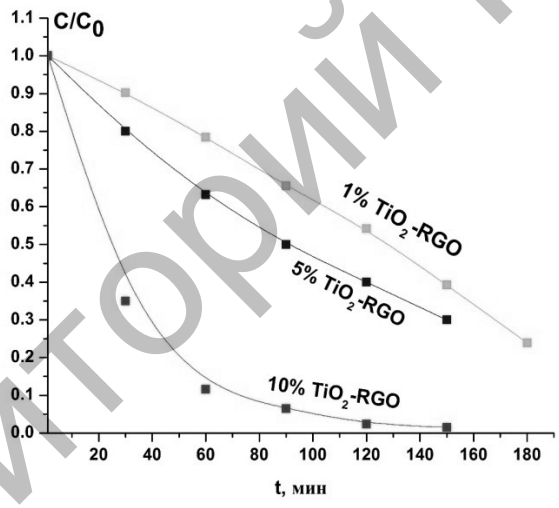


Рисунок 1. Фотокаталитическая деградация МГ в присутствии TiO_2 и TiO_2–rGO

Использование диоксида титана в качестве фотокаталитического материала является весьма перспективным направлением в сфере окружающей среды. Полученные результаты могут быть использованы для создания высокоэффективного катализатора, чувствительного к видимому свету, а также актуальны в областях, требующих фотокаталитической деградации органических соединений.

Литературы:

1. A.Tayel, *Catal., V. 8*, P. 491, (2018)
2. Nakata K., Fujishima A., Photochem. Photobiol. J., V. 13, P. 169, (2012)
3. A.Zh. Zhumabekov, E.V.Seliverstova, N.Kh.Ibrayev, Eur. Phys. Tech. J., V. 16, P. 42, (2019)
4. K. Woan, G. Pyrgiotakis, W. Sigmund, *Adv. Mat.V*. 21, P. 2233, (2009).
5. D. Zhao, G. Sheng, Ch. Chen, X. Wang, Catal.,P. 303, (2012).

Репозиторий КарГУ

В.И. Кубич [1], С.А.Гученко [2], В.М.Юров [2], О.Н.Завацкая [2]
[1]Запорожский национальный технический университет г. Запорожье, Украина, schmirung@gmail.com. [2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, guchen@mail.ru

О коэффициенте трения высокоэнтропийных семиатомных сплавов

Введение. На сегодняшний день многие металловеды посвятили свои силы новому классу металлических систем - высокоэнтропийных сплавов (ВЭСов) [1]. За пятнадцать лет достигнуты многие результаты и в синтезе ВЭСов и в их всестороннем исследовании. Мы отметим лишь некоторые обзоры и диссертации, где изложены основные публикации [2-8].

В настоящей работе мы изложим свои результаты по трению семиатомных высокоэнтропийных сплавов и покрытий.

Методика синтеза и исследований Для синтеза использовались микропорошки из представленных ниже составов:

1. Fe-Co-Cr-Ni-Ta-Ti-Zr; 2. Fe-Co-Cr-Ni-Ta-Ti-Mo; 3. Fe-Co-Cr-Ni-Ta-Ti-W; 4. Fe-Co-Cr-Ni-Ta-Ti-Al; 5. Fe-Co-Cr-Ni-Ta-Ti-Cu.

Для приготовления таблеток брались микропорошки соответствующих металлов и смешивались в эквиатомных пропорциях. Затем приготовленная смесь порошков помещалась в мелющий стакан планетарной шаровой мельницы изготовленный из карбида вольфрама и добавлялись мелющие тела (шары диаметром 5-10мм) также изготовленные из карбида вольфрама , масса которых была равна 10-ти массам смеси порошков. После стакан наполняли бензином «Галоша», закрывали крышку и включали планетарную шаровую мельницу (скорость вращения составляла 500 об/мин., время работы 5 ч.).

Полученные таким образом гомогенизированные составы затем сушились в вакууме и при помощи пресс-формы (давление 20 т) прессовались в плоские диски диаметром 12 мм и толщиной в 3 мм (рис. 1).

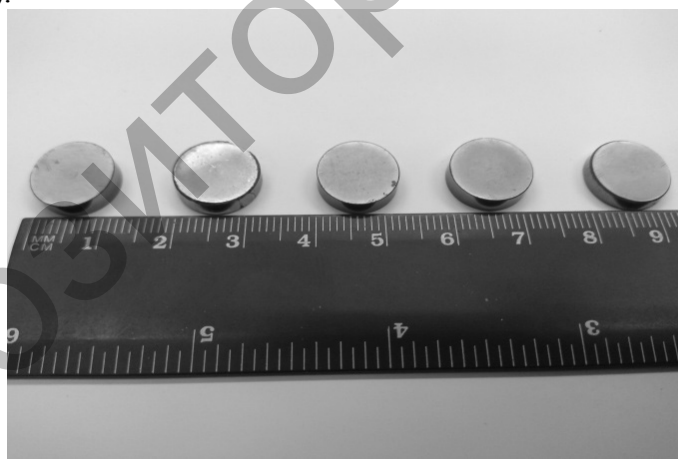


Рисунок 1 – Синтезированные диски ВЭСов

Исследование фазового состава и структурных параметров образцов проводилось на дифрактометре XRD-6000 на CuKα-излучении. В результате были обнаружены две фазы: ОЦК+ГЦК. Экспериментальная установка для определения коэффициентов трения описана нами в работе [9].

Результаты эксперимента. Полученные результаты представлены в табл. 1. Самый меньший коэффициент трения в Fe-Co-Cr-Ni-Ti-Cu, скорее всего из-за меди, которая по данным на дифрактометре не входит в кристаллическую решетку.

Репозиторий КарГУ

Таблица 1 - Коэффициенты трения ВЭСов по меди и алюминию

покрытие	по меди	по алюминию
Fe-Co-Cr-Ni-Ti-Cu	0,136	0,141
Fe-Co-Cr-Ni-Ti-W	0,220	0,152
Fe-Co-Cr-Ni-Ti-Zr	0,240	0,191
Fe-Co-Cr-Ni-Ti-Mo	0,268	0,256
Fe-Co-Cr-Ni-Ti-Al	0,350	0,302

Необходимо отметить [3], что представленные ВЭСы обладают сравнительно меньшим коэффициентом трения по сравнению с покрытиями на основе высокоэнтропийных сплавов, например: 0,76 для (Al-Cr-Ta-Ti-Zr)N покрытия, 0,96 – (Ti-Zr-Nb-Hf-Ta)N, 0,8 – (Al-Cr-Mo-Ta-Ti-Zr)N.

Обсуждение результатов

В работе [10] в рамках термодинамического подхода для коэффициента сухого трения нами получена следующая формула:

$$k_{òð} = \tilde{N} \cdot \grave{O} \cdot \frac{A}{\Delta G^0} \cdot \overline{N}, \quad (1)$$

где A – работа (энергия) разрушения, T – температура, ΔG^0 – энергия Гиббса, $\overline{N}$ - среднее число элементарных носителей разрушения (пропорциональное числу дефектов), C – постоянная. Поскольку, как известно,

$$G^0 = H - TS + PV, \quad (2)$$

где H – энтальпия; T – температура; S – энтропия; V – объем.

Изменение энергии Гиббса в общем случае равно:

$$\Delta G^0 = \Delta H - T\Delta S + P\Delta V + V\Delta P. \quad (3)$$

Из уравнения 2 следует, что возможность самопроизвольного протекания химических реакций зависит от соотношения величин ΔH и TΔS [11].

Общая энтропия смешения складывается из четырех составляющих: конфигурационная, $S_{конф}$, колебательная, S_v, магнитная, S_m, электронная, S_e [11].

Следовательно, энтропия смешения:

$$\Delta S_{ñìåø} = \Delta S_{êîíô} + \Delta S_v + \Delta S_m + \Delta S_e. \quad (4)$$

По мнению автора работы [1], для случая многокомпонентных высокоэнтропийных сплавов состоящих из 5 и более элементов конфигурационная энтропия смешения доминирует над тремя другими составляющими. Таким образом, увеличение количества элементов должно снижать свободную энергию из-за роста вклада энтропии смешения.

Расчетные формулы параметров представлены в работе [6]:

- энтропия смешения:

$$\Delta S_{ñìåø} = -R\sum c_i \ln c_i, \quad (5)$$

где R – универсальная газовая постоянная, c_i – содержание (ат. %) i-того элемента в сплаве;

– энтальпия смешения:

$$\Delta H_{ñìåø} = \sum 4\Omega_{ij} c_i c_j, \quad (6)$$

Репозиторий КарГУ

Но в работе [6] не учитывается параметр ΔP из уравнения (3), который для ВЭСов играет значительную роль [12]. Тогда из (1) мы имеем следующую зависимость коэффициента трения от давления:

$$k_{\text{òð}} = \frac{a}{b + c\Delta P}, \quad (7)$$

где a, b, c – постоянные.

Из (7) следует, что коэффициент трения увеличивается с уменьшением давления. Это приводит к нежелательным эффектам в условиях космического вакуума.

Зависимость (1) должна наблюдается и от концентрации числа электронов $\overline{N}$: $k \sim \overline{N}$. Такой зависимости нами не обнаружено, но можно поступить по иному. Исследования показали [2], что дополнительная добавка в высокоэнтропийный сплав количества атомов какого-либо базового элемента будет оказывать влияние на параметр решетки и соответственно на такие характеристики, как модуль упругости и твердость (и электрические характеристики). В табл. 2 представлены результаты дополнительного легирования эквиатомного сплава VNbTaCrMoW с ОЦК решеткой различными базовыми элементами на характеристики контактного модуля упругости (E_r) и твердости (H) [2].

Представленные данные наглядно демонстрируют, что снижение расчетного атомного радиуса сопровождается увеличением контактного модуля упругости и твердости независимо от модуля упругости атомов вводимого дополнительно элемента.

Таблица 2 - Соотношение расчетной величины усредненного атомного радиуса с контактным модулем упругости и твердостью в высокоэнтропийных сплавах [2]

Состав	Расчетный атомный радиус, нм	E_r, ГПа	H, ГПа
$VNb_2TaCrMoW$	0,1370	111	6,1
$VNbTaCrMo_2W$	0,1360	126	7,2
VNbTaCrMoW	0,1361	127	7,2
$NbCrMoV_2TaW$	0,1358	131	8,4
$NbCr_2MoV_2TaW$	0,1344	134	9,0
$VNbTaCr_2MoW$	0,1341	155	10,5
$NbCr_2MoVTaW$	0,1331	167	13,0

Из полученной нами формулы (1) следует, что коэффициент сухого трения линейно зависит от работы разрушения контактов (шероховатостей).

Работа A (Дж), затрачиваемая на разрушения контактов пропорциональна вновь образованной поверхности частиц разрушенного продукта:

$$\grave{A} = \gamma\Delta S = K_R D^2, \quad (8)$$

где γ - временное сопротивление сжатию (Н·м / м^2), ΔS – площадь вновь образованной поверхности (м^2), K_R – коэффициент пропорциональности (Н·м / м^2), D –размер контакта (м).

Уравнение (8) соответствует гипотезе Риттингера (1867 г.) [13]. Если при разрушении контакта кубической формы энергия затрачивается в основном на деформацию объема, то в этом случае производимая работа прямо пропорциональна изменению его первоначального объема и определяется по формуле Кирпичева – Кика [13]:

$$A = K\Delta V = K_K D^3, \quad (9)$$

где K и K_K – коэффициенты пропорциональности (Н·м / м^3), ΔV – объем (м^3).

Репозиторий КарГУ

П.А. Ребиндер (1941 г.) объединил обе гипотезы и в этом случае полная работа разрушения равна [13]:

$$A = K_R D^2 + K_K D^3. \quad (10)$$

По гипотезе Бонда (1950 г.) работа разрушения пропорциональна среднему геометрическому между объемом и площадью поверхности контакта [13]:

$$A = K_B \sqrt{D^2 D^3} = K_B D^{2,5}. \quad (11)$$

Все формулы (9) – (11) различаются коэффициентами пропорциональности и показателями степени диаметра контакта. Этот показатель связан с размерностью поверхности контакта, которая в современном понимании имеет фрактальную природу. Все формулы показывают, что коэффициент трения $k_{тр}$ пропорционален работе А в формуле (1), то есть пропорционален твердости. В качестве примера, данные представлены в табл. 3.

Из данных, представленных в табл. 3, видно, что нанесение (Ti-Hf-Xr-V-Nb)N нитридного покрытия на сталь 45 приводит к повышению коэффициент трения от 0,469 до 1,19 [3].

В формуле (1) коэффициент трения $k_{тр}$ содержит зависимость от температуры.

Таблица 3 – Трибологические характеристики испытуемых систем [3].

Образец	Коэффициент трения, $k_{тр}$,		Фактор износа $мм^3 x H^{-1} x мм^{-1}$	
	начальный	при испытаниях	контртела ($x10^{-5}$)	образца ($x10^{-5}$)
Покрытие (Ti-Hf-Xr-V-Nb)N	0,469	1,19	2,401	0,039
Сталь 45	0,204	0,67	0,269	35,36

Мы приведем формулу из работы [14], которая, подобна формуле Крагельского И.В.:

$$k_{\text{ôð}} = \tilde{N}_1 \grave{O}_a^{-A_0 C_\upsilon} + 2T_{max}^{-1} \frac{dT}{dx} + C_2, \quad (12)$$

где C_υ – теплоемкость.

Формула (12) содержит 5 неизвестных параметров и она мало пригодна при интерпретации экспериментальных данных. Нашу формулу (1) можно переписать в виде, используя формулу Булаха А.Г. ($G^0=a+bT+cT^2$) [15]:

$$k_{\text{ôð}} = \tilde{N} \cdot \frac{T}{a + bT + cT^2}. \quad (13)$$

Формула (13) описывает всю область температурной зависимости коэффициента трения: при $A >> BT+DT^2$ – линейная; $BT >> A+DT^2$ –постоянная; $DT^2 >> A+BT$ гиперболически убывающая. В формуле (1) энергия Гиббса $G^0=\sigma S$, где σ – поверхностное натяжение, S – площадь поверхности, то есть коэффициент трения будет уменьшаться с увеличением поверхностного натяжения. Для сравнения приведем коэффициенты трения для одноименных пар материалов [10].

Репозиторий КарГУ

Таблица 4 - Коэффициенты трения для одноименных пар материалов

Комбинации материалов		Коэффициент трения
Алюминий	Алюминий	(1,05-1,35)
Медь	Медь	1,0
Сталь	Сталь	0,8
Железо	Железо	1,0
Кадмий	Кадмий	0,5
Хром	Хром	0,41
Магний	Магний	0,6
Никель	Никель	(0,7-1,1)
Платина	Платина	1,2
Серебро	Серебро	1,4
Цинк	Цинк	0,6

Из табл. 1 и 4 видно, что трение наших ВЭСов значительно уступает трению одноименных пар материалов из табл. 4. Для сравнения, никелевый суперсплав 718 обладает коэффициентом трения ~ 0,79.

Заключение. К выводу можно отнести, что нами получено уравнение (1), которое показывает нелинейную зависимость коэффициента трения от энергии Гиббса G^0, от температуры T, от концентрации числа электронов $\overline{N}$ и которое позволяет прогнозировать формирование высокоэнтропийных сплавов.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК. Гранты №0118РК000063 и №Ф.0781.

Литературы:

1. Yeh J.W., Chen Y.L., Lin S.J. High-entropy alloys – a new era of exploitation // Materials Science Forum. 2007. Vol. 560. – P. 1-9.

2. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Печковский Э.П. Новый класс материалов – высокоэнтропийные сплавы и покрытия // Вестник ТГУ. 2013. т.18. вып.4. – С. 1938-1940.

3. Багдасарян А.А. Структурно-фазовое состояние м физико-механические свойства нитридных покрытий на основе Ti, Hf, Zr, V и Nb. Дисс. канд. физ.-мат. наук. Сумы. 2014. – 140 с.

4. Погребняк А.Д., Багдасарян А.А., Якушенко И.В., Береснев В.М. Структура и свойства высокоэнтропийных сплавов и нитридных покрытий на их основе // Успехи химии. 2014. Т. 83(11). – С. 1027-1061.

5. Ивченко М.В. Структура, фазовые превращения и свойства высокоэнтропийных эквиатомных металлических сплавов на основе AlCrFeCoNiCu // Дисс. канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург. 2015.- 167 с.

6. Шайсултанов Д.Г. Структура и механические свойства высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeNiX (X=Mn, V, Mn и V, Al и Cu). - Дисс. канд. тех. наук, Белгород, 2015. – 142 с.

7. Новиков В.Ю. Структура и физико-механические свойства однослойных и многослойных вакуумно-дуговых наноструктурных нитридных покрытий на основе систем TiAlSi, TiAlSiY и TiAlCrY. Диссер. кандид. тех. наук. Белгород. 2019. – 134 с.

8. Юрченко Н.Ю. Разработка и исследование высокоэнтропийных сплавов с высокой удельной прочностью на основе системы Al-Cr-Nb-Ti-V-Zr. Диссер. кандид. тех. наук. Белгород. 2019. - 187 с/

9. Колесников В.А., Байсагов Я.Ж., Юров В.М. Информационно-измерительный прибор для определения коэффициента трения скольжения // Фундаментальные исследования. 2011. №12. Часть 1. – С. 121-124.

10. Юров В.М., Гученко С.А., Ибраев Н.Х. Определение коэффициента трения скольжения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. №8. – С. 148-152.

11. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения. – М.: Бином. Лаборатория знаний. 2009. - 400 с.

Репозиторий КарГУ

12. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А. и др. Влияние пластической деформации на фазовый состав и свойства высокоэнтропийных сплавов // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк. 2016. Випуск № 54. – С. 326-338.
13. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике. - М.: Наука. 1990. - 240 с.
14. Рыжкин А.А. О влиянии температурного поля на трибологические характеристики пары трения // Вестник ДГТУ. 2005. Т.5. №3(25). – С. 460 – 471.
15. Булах А.Г. Методы термодинамики в минералогии - М.: Недра. 1968. - 175 с.

В.И. Кубич[1], О.Г. Чернета[2], В.М. Юров[3]
[1]Национальный университет «Запорожская политехника», г. Запорожье, Украина, schmirung@gmail.com, [2]Днепровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина, ocherneta@gmail.com, [3]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда, Казахстан, exciton@list.ru

Методика определения параметров адгезионных свойств материалов на машине трения СМЦ-2

*Введение.*Исходя из того, что контактное взаимодействие поверхностей металлов при осуществлении передачи и преобразования движений осуществляется с потерями на трение, которые определяются молекулярной и механической составляющей, то определение параметров последних представляется актуальным научно-прикладным заданием. Особенно важно иметь численные значения параметров адгезионных свойств непосредственно для поверхностей металлов натурных эксплуатационных узлов трения машин и механизмов с реверсивным движением, т.е. в которых имеет место быть сдвиг с определенной скоростью перемещения, когда проявление молекулярной (адгезионной) составляющей силы трения успевает проявляться.

Ограниченность сведений о проявлении параметров молекулярной составляющей трения – сдвиговой прочности адгезионной связи τ_0 и пьезокоэффициента β молекулярной составляющей для каждого конкретного исследования предопределяет использование либо данных ранее полученных для подобных материалов, либо же выполнение целенаправленного определения параметров моделированием сдвига на малогабаритных образцах с целью повышения объективности и точности оценки результата. Полученные данные представляются необходимыми, в первую очередь, для прогнозной оценки трибомеханических свойств трибосистем материалов при использовании математических выражений, которые устанавливают взаимосвязь между коэффициентом трения и параметрами микрогеометрии контакта, адгезионной составляющей, твердостью, нагрузкой при проявлении упругого, пластического, упруго-пластического деформирования зон фрикционного взаимодействия.

Цель работы – представление возможностей стандартной машины испытания материалов на трение и износ СМЦ-2 для определения параметров адгезионных свойств материалов.

Методика исследований Параметры молекулярной составляющей предлагается определять в соответствии с методикой работы на адгезиометре ОТ-1 [1] и на устройстве с применением сферического индентора [2], которые предполагают измерение момента трения $M_т$ при сдвиге – нарушении фрикционной связи сферических поверхностей с плоскими поверхностями образцов (пластин) и радиуса (диаметра) проекции отпечатка $R_0(d)$.

Однако моделирование нарушения фрикционных связей будет осуществлено при сдвиге с места диска относительно колодки, выполненной, например, в форме треугольника с цилиндрической наружной поверхностью, при соответствующих нагрузках (рис.1 а) с соответствующей доработкой привода нижнего вала. При этом:

Репозиторий КарГУ

- максимальный момент сдвига определится самописцем на поле масштабной ленты при фиксированном повороте на угол α с определенной нагрузкой, прикладываемой к нижнему валу (рис.1 б). Масса груза определит скорость сдвига;
- площадь взаимодействия поверхностей трения определится отпечатком на миллиметровой бумаге (рис.1 в).

Методика испытаний Для опробования методики использовались следующие трибологические системы материалов:

- «40Х - сталь 45»;
- «12Х2Н4 - сталь 45»;
- «45ХН2МФА - сталь 45.

Контактное взаимодействие моделировалось без смазочного материала.

При этом использовались образцы:

- для стали 45 в форме треугольника (рис.1 в) с цилиндрической внешней поверхностью, толщиной 4 мм, который закреплялся в оправке на неподвижном валу машины;
- для других металлов в форме диска диаметром 50 мм и толщиной 12 мм, которые устанавливались на нижнем валу машины и вращались.

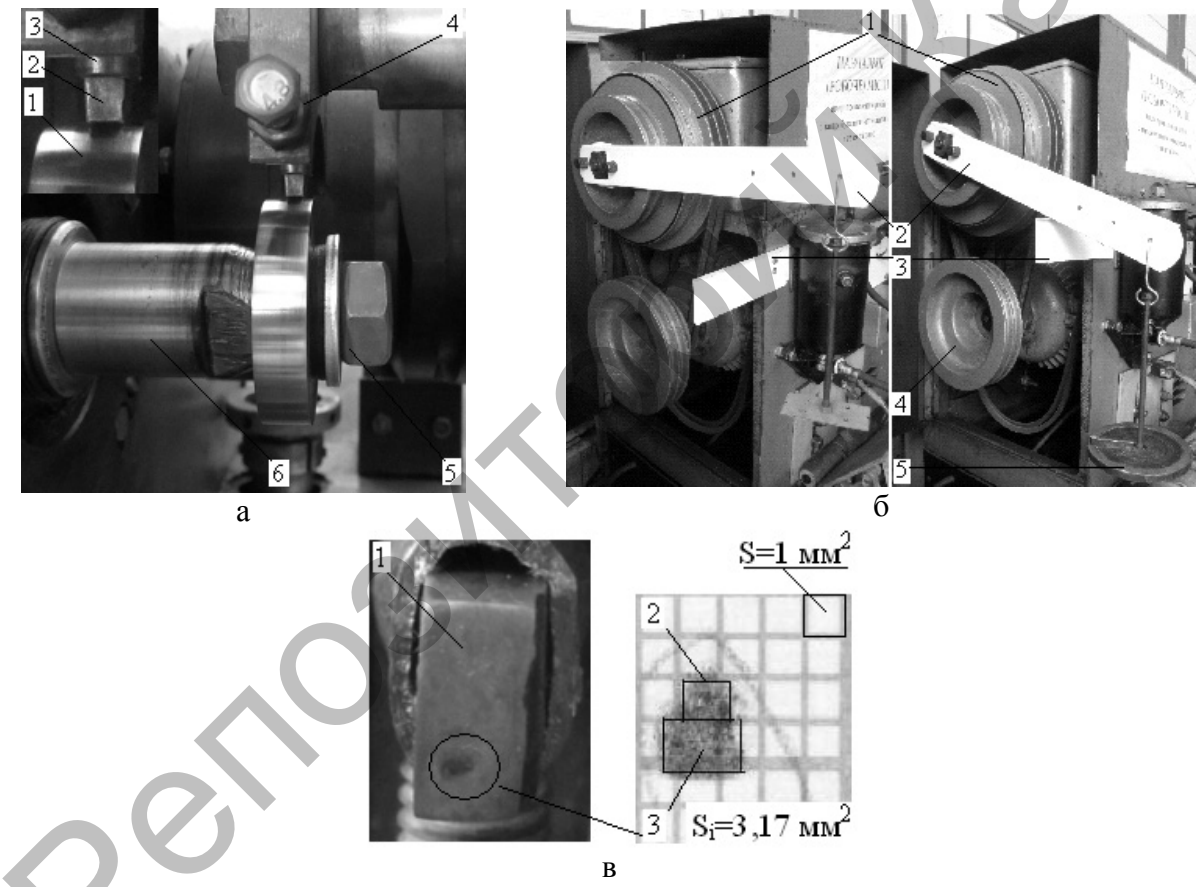


Рисунок 1. Методическое обеспечение измерения сопротивления перемещению при сдвиге: а – контакт модельных образцов: 1 – диск; 2 – колодка; 3 – дополнительный держатель колодки; 4 – винты крепления дополнительного держателя; 5 – детали крепления диска; 6 – нижний вал машины трения СМЦ-2; б – угловой нагрузочный привод нижнего вала: 1 – верхний шкив; 2 - рычаг грузов; 3 – ограничитель хода рычага грузов; 4 – нижний шкив; 5 – груз; в – отпечаток контакта, N=280Н: 1 – колодка; 2,3 – периметры расчетных площадей

Измерения проводили в такой последовательности. Диски из соответствующих материалов закреплялись на нижнем валу машины трения. Колодка размещалась в дополнительном держателе, фиксировалась винтами в штатном держателе, который

Репозиторий КарГУ

закреплялся на верхнем валу машины трения. Далее колодка прижималась с соответствующей силой к диску с помощью загрузочного винта машины трения. Нагрузка имела значения в 140Н, 185Н, 230Н, 280Н. Далее диск сдвигался с места – проворачивался с помощью грузов 5 (рис.1 б) на фиксированный угол α. Время на угловое перемещение и определяло скорость сдвига – t_1=0,43 с и t_2=1 с. Среднее линейное перемещение диска составило l=4,5 мм. При этом самописец на трибограмме фиксировал временное сопротивление сдвига по отклонению от нулевого значения.

Момент трения определялся средним статистическим с соответствующими дисперсиями по количеству опытов (n=8) при скоростях сдвига: υ_1=10,16±0,8 мм/с, υ_2=5,08±0,6 мм/с.

Средняя статистическая дисперсия τ имела значения D_{min}=0,5 МПа, D_{max}=1,13 МПа.

Прочность адгезионной связи при сдвиге (сдвиговое сопротивление молекулярной связи) – тангенциальная прочность τ определялась в соответствии с выражением:

$$\tau = \frac{M_m}{r \cdot S_b} \quad (1)$$

где M_m – момент трения при сдвиге, Н·м; r – радиус диска, м; S_b – площадь отпечатка, мм^2.

Результаты исследований. Графическая аппроксимация осредненных данных в виде линейных зависимостей с обратной экстраполяцией сдвигового сопротивления перемещений приведено на рис.2. При этом по параметрам линий тренда в программе Excel определены их уравнения и достоверность аппроксимации R^2, результаты приведены в табл. 1.

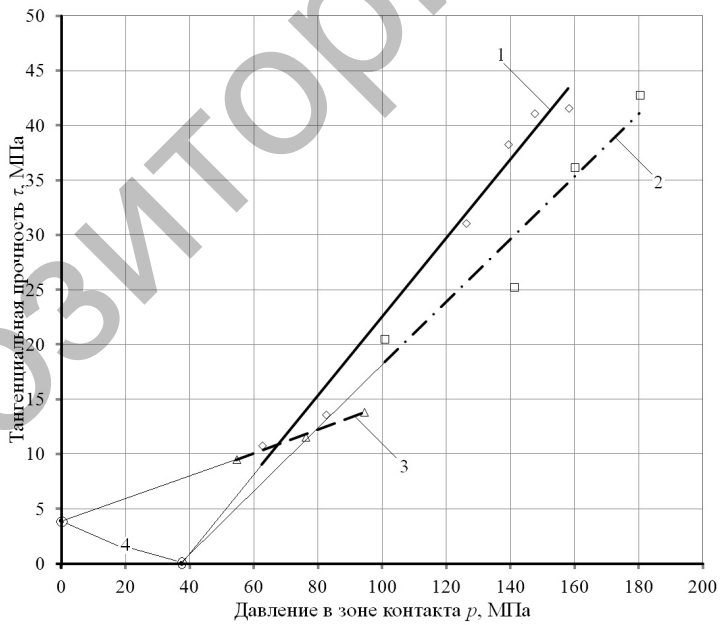


Рисунок 2. Зависимость тангенциальной прочности адгезионной связи стали 45 от давления при скорости сдвига 10,16±0,8 мм/с: 1 – 12Х2Н4; 2 – 40Х; 3 – 45ХН2МФА; 4 – точки обратной экстраполяции

Репозиторий КарГУ

Таблица 1. Параметры аппроксимации экспериментальных данных для трибологических систем материалов

Параметр	«12Х2Н4 – сталь 45»	«45ХН2МФА – сталь 45»	«40Х – сталь 45»
Вид уравнения	$\tau = 0{,}36p + 13{,}44$	$\tau = 0{,}11p + 3{,}58$	$\tau = 0{,}28p + 10{,}27$
Достоверность аппроксимации R^2	0,98	0,99	0,9
Пьезокоэффициент β	0,36	0,11	0,28
Тангенциальная прочность τ_0, МПа	>0 при $p \approx 37$ МПа	3,58	>0 при $p \approx 36$ МПа

Анализ полученных результатов свидетельствует о реализованной возможности экспериментально определять параметры адгезионных свойств, например, рассмотренных трибологических систем металлов. При этом численные значения параметров не расходятся с подобными результатами, представленными в работе [1]. Предварительно полученные результаты указывают на то, что существуют режимы контактного взаимодействия по нагрузке, при которых при выполнении расчетов коэффициента трения учитывать молекулярную составляющую не целесообразно, поскольку она начинает проявляться только с некоторого давления в контакте.

Выводы. Предложенные подходы для моделирования сдвигового сопротивления в контакте малогабаритных образцов в зависимости от нормального нагружения и скорости сдвига при незначительной доработке оборудования машины трения СМЦ-2 позволяют определять параметры адзезионных свойств материалов.

Приведены результаты экспериментальных исследований в соответствии с которыми на примере трибологических систем материалов «40Х - сталь 45», «12Х2Н4 - сталь 45», «45ХН2МФА - сталь 45» показана возможность определять параметры их адгезионных свойств с использованием оборудования машины трения СМЦ-2 при незначительной ее доработке.

Литературы:

1. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. - М.:«Машиностроение», 1977. - 526 с.

2. Семенов В.И. Влияние комплексного параметра пластического фрикционного контакта и структуры материала на прочность адгезионных связей/ В. И. Семенов Л. Ш. Шустер, С. В. Чертовских, Г. И. Рааб/ Трение и износ: январь, февраль 2005. Том 26 №1. С.74-79

В.М. Налбандян, Е.В. Селиверстова*, Д.А. Темирбаева*, М.Г. Кучеренко, Н.Х. Ибраев
Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия, clibph@yandex.ru,
**Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан, evgnseliverstova@gmail.com*

Плазмон-активированные процессы в гибридном молекулярном кластере со сферической наночастицей

В экспериментах ИМНФ КарГУ [1] было обнаружено плазмон-инициированное увеличение интенсивности люминесценции молекул органических красителей в многослойных планарных структурах с островковыми пленками серебра, в условиях ферстеровского резонансного переноса энергии (FRET). Наблюдалось влияние плазмонной подсистемы на скорость FRET молекул красителей, зависящее от толщины изолирующего слоя из молекул ПАВ (Stearic acid) между пленками люминофоров и металла.

Репозиторий КарГУ

В данной работе исследованы свойства простейшей модели, в которой учитывается только одна из сферических плазмонных наночастиц островковой металлической пленки. Микрофотографии пленок [1] указывают на достаточно изолированный характер отдельных наночастиц-островков. Поэтому в рассматриваемом случае уместно выделить в отдельный кластер лишь близлежащие друг к другу частицы: плазмонную глобулу Ag и отделенную от нее несколькими слоями молекул стеариновой кислоты одну донор-акцепторную молекулярную пару (рис. 1).

Распад электронновозбужденного состояния молекулы донора возможен по одному из трех конкурирующих каналов:

1) Излучательный распад $S_1^D \to \hbar\omega + S_0^D$ со скоростью $w_{sp}(\omega | r_D = h)$ с образованием фотона люминесценции с энергией $\hbar\omega$;

2) Межмолекулярный безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения от донора к акцептору $S_1^D + S_0^A \to S_0^D + S_1^A$ со скоростью $U_{DA}(\omega | r_{DA}, r_D, r_A)$;

3) Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения со скоростью $U(\omega | r_D)$ от молекулы донора к металлической наночастице $S_1^D \to S_0^D + \hbar\omega_{res}$, с образованием затухающего локализованного плазмона с энергией $\hbar\omega_{res}$ (прямое тушение люминесценции донора металлической наночастицей).

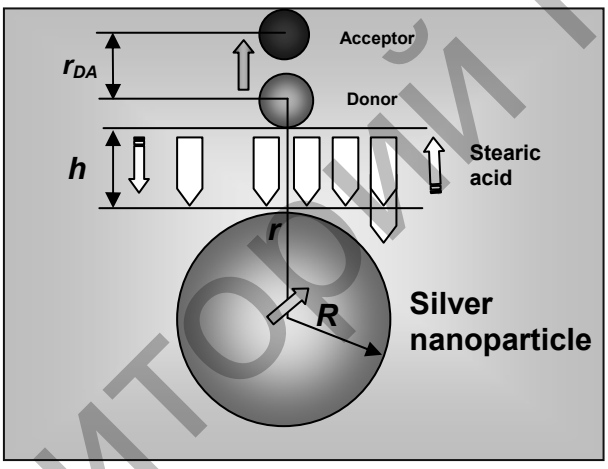


Рисунок 1. Структурная схема фрагмента многослойной планарной наноструктуры молекул органических красителей и островковой пленки серебра на подложке

Выделен трехчастичный кластер, включающий в себя сферическую плазмонную наночастицу Ag радиуса R и молекулярную донор-акцепторную пару, отделенную от металлической глобулы слоем молекул стеариновой кислоты с регулируемой в экспериментах [1] толщиной h. Стрелкой показано направление переноса энергии в молекулярной паре

Выражение для скорости $w_{sp}(\omega | r)$ спонтанной эмиссии молекулы D, расположенной вблизи наночастицы на расстоянии r от ее центра, может быть записано в следующем виде [2-3]

$$w_{sp}(\omega | \mathbf{r}) = \frac{4}{3}\frac{\omega^3}{\hbar c^3}\left|\left[\vec{\mathbf{I}} + \alpha(\omega)\vec{\mathbf{G}}(\mathbf{r})\right]\mathbf{p}_D\right|^2, \quad (1)$$

где $\alpha(\omega)$ - дипольная поляризуемость наночастицы; $\vec{\mathbf{G}}(\mathbf{r})$ - тензорная функция Грина квазистатического поля дипольного источника $\vec{\mathbf{G}}(\mathbf{r}) = r^{-3}\left[3(\mathbf{r} \otimes \mathbf{r})/r^2 - \vec{\mathbf{I}}\right]$; $\mathbf{p}_D$ - вектор

Репозиторий КарГУ

электронного дипольного момента перехода в молекуле донора; $\ddot{\mathbf{I}}$ - единичный тензор. На основе (1) был выполнен расчет частотных зависимостей (спектров) скорости радиационного распада донора, а также зависимости этой скорости от расстояния $r = |\mathbf{r}_D| = h + R$ между донором и наночастицей. Однако даже до выполнения таких расчетов были сделаны некоторые предварительные заключения относительно дистанционной зависимости скорости $w_{sp}(\omega | r_D = h)$ от параметра h. Так одно из слагаемых в квадрате суммы (1) имеет зависимость $(h+R)^{-6}$, тогда как другое, интерференционное – $(h+R)^{-3}$. Таким образом, на относительно больших расстояниях h роль этого слагаемого может стать определяющей. Причем, как уже было отмечено в [2-3], его знак может быть любым.

Напряженность $\mathbf{E}(\mathbf{r}_A)$ результирующего поля в точке размещения акцептора, т.е. поля донорного источника и отраженного поля наночастицы, может быть записана в виде $\mathbf{E}(\mathbf{r}_A) = \ddot{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_{DA})\mathbf{p}_D + \ddot{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_A)\alpha(\omega)\ddot{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_D)\mathbf{p}_D$. Тогда по теории Ферстера скорость безызлучательного переноса энергии $U_{DA} \sim (\mathbf{p}_A \mathbf{E}(\mathbf{r}_A))^2$ на молекулу акцептора с дипольным моментом перехода $\mathbf{p}_A$, расположенную в точке $\mathbf{r}_A$, определяется квадратом энергии взаимодействия поля с акцептором и ее можно представить как [4]

$$U_{DA}(\omega | \mathbf{r}_{DA}, \mathbf{r}_D, \mathbf{r}_A) \sim \left|\mathbf{p}_D \ddot{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_{DA})\mathbf{p}_A\right|^2 + \left|\mathbf{p}_D \ddot{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_D)\alpha(\omega)\ddot{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_A)\mathbf{p}_A\right|^2 + \\ +2\,\mathrm{Re}\left\{ \mathbf{p}_D \ddot{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_{DA})\mathbf{p}_A \left[\mathbf{p}_D \ddot{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_D)\alpha(\omega)\ddot{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_A)\mathbf{p}_A\right]^* \right\}. \tag{2}$$

До выполнения расчетов на основании структуры выражения (2) можно сделать вывод о дистанционной зависимости скорости $U_{DA} \sim (\mathbf{p}_A \mathbf{E}(\mathbf{r}_A))^2$ от расстояния $r = |\mathbf{r}_D| = h + R$. Она имеет схожий характер с зависимостью $w_{sp}(r_D)$. Как и для скорости радиационного канала распада для третьего слагаемого в (2) характерна та же дистанционная зависимость, что и для интерференционного слагаемого $w_{sp}^{(3)}(r_D) \sim (h+R)^{-3}$.

Влияние металлической наночастицы в рассматриваемой системе не ограничивается только лишь изменением скорости спонтанных переходов в молекуле и межмолекулярного переноса энергии. Необходимо, также, учитывать безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения от молекулы донора на плазмонные моды наночастицы и последующее затухание этих мод. Скорость U такого процесса

$$U(\omega | \mathbf{r}) = (2\hbar)^{-1} V \,\mathrm{Im}\left[\mathbf{E}^*(\omega)\alpha(\omega)\mathbf{E}(\omega)\right] = (2\hbar)^{-1} V \,\mathrm{Im}\left[\mathbf{p}_D \overleftrightarrow{\mathbf{G}}(\mathbf{r})\alpha(\omega)\overleftrightarrow{\mathbf{G}}(\mathbf{r})\mathbf{p}_D\right], \tag{3}$$

а для шаровой изотропной наночастицы она пропорциональна мнимой части скалярной поляризуемости

$$U(\omega, r, \theta) = \frac{1}{2\hbar}\frac{p_D^2}{\varepsilon_m^2 r^6}(1 + 3\cos^2\theta)\,\mathrm{Im}\,\alpha(\omega), \tag{4}$$

где ε_m – диэлектрическая проницаемость среды на частоте перехода $i \to f$ в молекуле донора, а $\mathrm{Im}\,\alpha(\omega) > 0$. Как и прежде, свое начало радиус вектор r берет в центре наночастицы. Параметр θ в (4) – угол между векторами r и p. Тогда при расположении частиц в конфигурации рис. 1 получаем $\theta = 0$ и $U(\omega | r) = 2 p_D^2 \hbar^{-1} \,\mathrm{Im}\,\alpha(\omega)(\varepsilon_m r^3)^{-2}$.

Репозиторий КарГУ

На рис. 2-3 представлены зависимости спектров скорости радиационного распада возбужденных молекул донора от радиуса R наночастицы (рис.2) и расстояния r_D от молекулы до центра наночастицы.

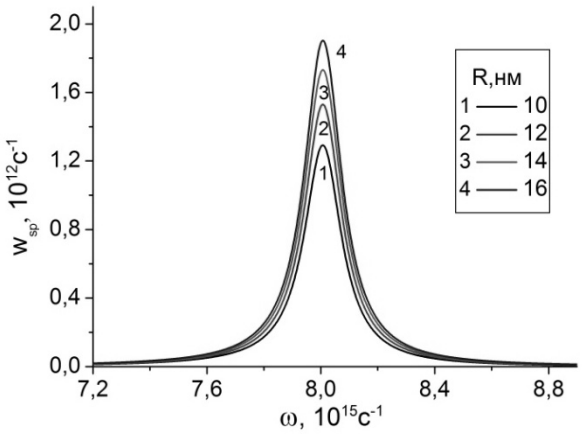


Рисунок 2. Зависимость скорости спонтанной эмиссии донорной молекулы от радиуса НЧ. На резонансной частоте заметно увеличение скорости w_{sp} при увеличении радиуса НЧ $R = 10 \div 16$ нм.

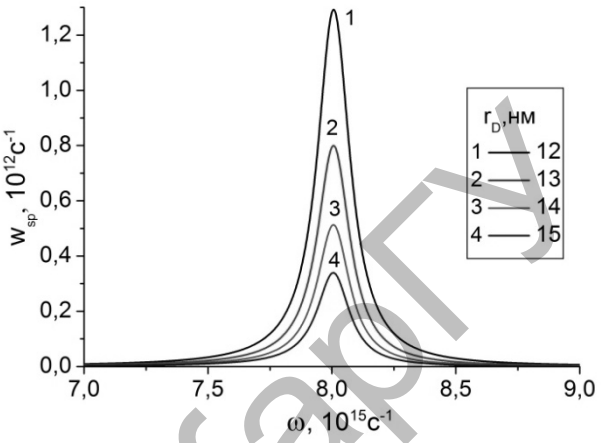


Рисунок 3. Зависимость скорости спонтанной эмиссии донора от расстояния r_D. между донорной молекулой и НЧ. При увеличении расстояния $r_D = 12 \div 15$ нм имеет место уменьшение скорости w_{sp}.

При увеличении радиуса наночастицы $R = 10 \div 20$ нм скорость спонтанного испускания донорной молекулы увеличивается по сублинейному закону. Дистанционная зависимость скорости излучения согласно рис. 3 следует обратному степенному закону, что и предсказывалось согласно анализу, проведенному на основе выражения (1).

Схожие закономерности прослеживаются и при рассмотрении дистанционных зависимостей скорости FRET. На рис. 4 показаны такие зависимости для спектра $U_{DA}(\omega | r_{DA})$ скорости – рис. 4а и для скорости $U_{DA}(\omega_{res} | r_{DA})$ на резонансной частоте ω_{res} – рис. 4б.

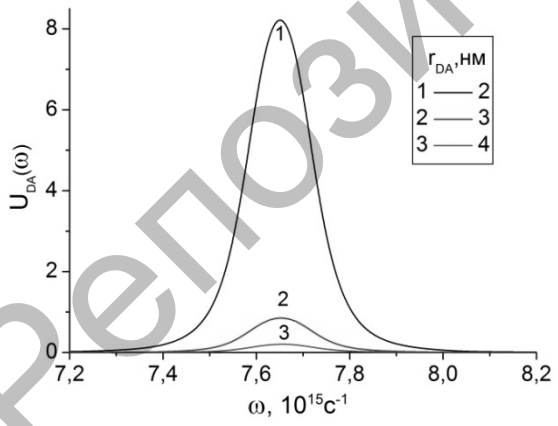


Рисунок 4а. Зависимость скорости Д-А переноса энергии от расстояния r_{DA} между молекулами $r_{DA} = 2 \div 4$ нм. Молекулярные диполи выстроены вдоль одной прямой АДО. $r_{DA} = r_A - r_D$.

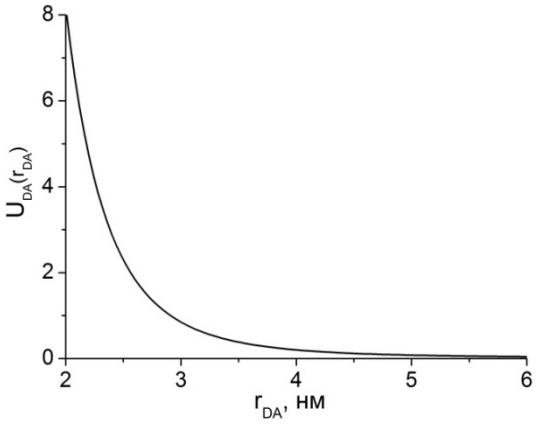


Рисунок 4б. Зависимость скорости Д-А переноса энергии от расстояния r_{DA} между молекулами при постоянной резонансной частоте $\omega_{res} = 7{,}65 \times 10^{15}\,\text{с}^{-1}$.

Репозиторий КарГУ

Из рис. 4 видно, что увеличение расстояния r_{DA} между молекулами от 2 до 4 нм уменьшает скорость переноса энергии на порядок.

На рис. 5 представлены в относительных единицах спектры скорости безызлучательного переноса энергии $U(\omega|r)=U_{dis}(\omega|r_D)$ от молекулярного донора к металлической наночастице, с последующей ее диссипацией, для различных расстояний r_D между молекулой донора и центром частицы. Расчет скорости диссипации производился с учетом спектра $G_D(\omega)$ колебаний донорного диполя в предположении о его лоренцевой форме

$$G_D(\omega)=\frac{1}{\pi}\frac{\gamma_D}{\left(\omega-\omega_D\right)^2+\gamma_D^2}.$$

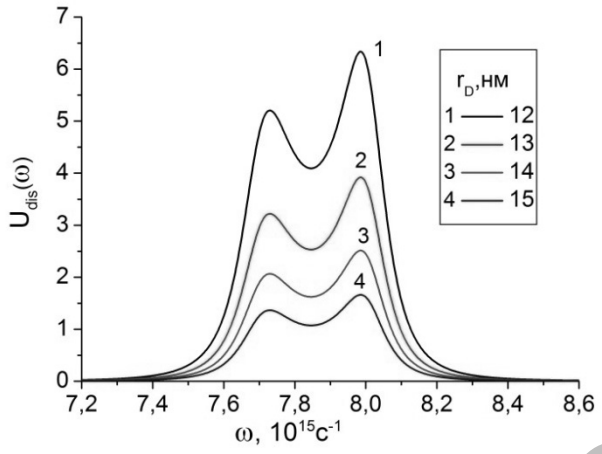


Рис. 5. Спектры скорости безызлучательного переноса энергии электронного возбуждения от молекулы донора на НЧ с последующей ее диссипацией для различных расстояний $r_D=12\div15$ нм.

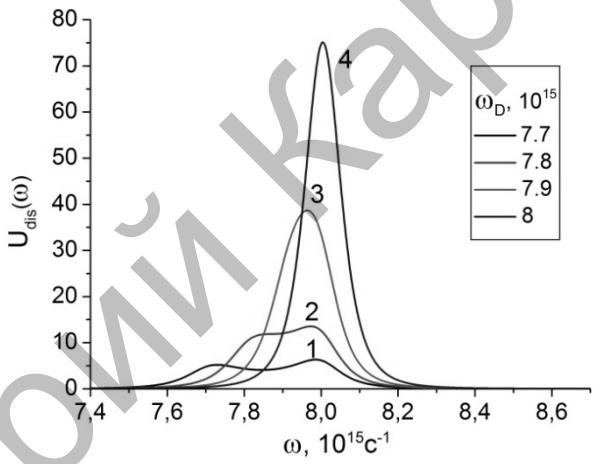


Рис. 6. Спектры скорости диссипации энергии электронного возбуждения молекулы донора на НЧ при изменении резонансной частоты перехода в доноре $\omega_D=7.7\div8\times10^{15}\,\mathrm{c}^{-1}$.

Именно этим объясняется наличие двух полос в спектре рис. 5. Одна из этих полос формируется в результате спектра поляризуемости $\alpha(\omega)$ наночастицы, а другая – как лоренцева полоса донорного диполя. Когда максимумы двух этих полос совпадают, скорость переноса- диссипации увеличивается более чем на порядок (рис. 6).

Спектры скорости межмолекулярного переноса энергии и диссипации на металлической наночастице демонстрируют сильную зависимость от угла ориантации донорного диполя относительно прямой, соединяющей все три частицы кластера. Так, на рис. 7 показана такая зависимость для полного диапазона углов ориентаций диполя от нуля до π для скорости Д-А переноса в относительных единицах. С увеличением угла от 0 до $\pi/4$ скорость переноса падает до нуля, а начиная от $\pi/4$ и до π – возрастает в 5 раз. На рис. 8 в относительных единицах представлены спектры скорости диссипации энергии электронного возбуждения молекулы донора на наночастице, при изменении направления вектора дипольного момента в интервале острых углов $\theta_D^p=0\div\pi/2$. С увеличением угла ориентаций диполя величина скорости переноса-диссипации уменьшается почти на пол-порядка.

Следует отметить, что регистрируемыми в спектральных экспериментах величинами плотности N_ω числа фотонов на частоте ω, испущенных объединенной системой ДА-пара-

Репозиторий КарГУ

наночастица, определяется как произведение скорости w_{sp} спонтанного перехода (1) на функцию формы линии, которую во многих случаях можно считать лоренцевой.

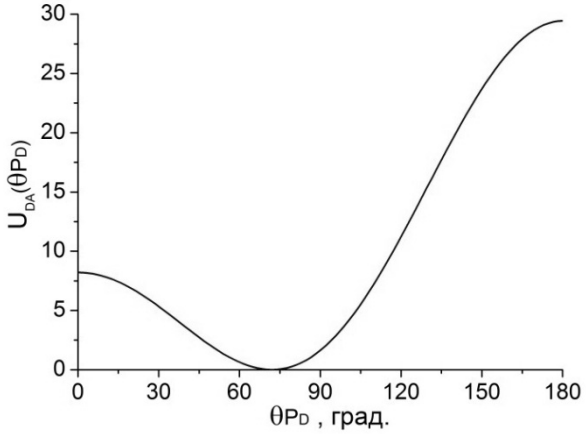


Рис. 7. Зависимость скорости Д-А переноса энергии от угла $\theta_D^p = 0 \div \pi$, определяющего направление вектора дипольного момента донорной молекулы.

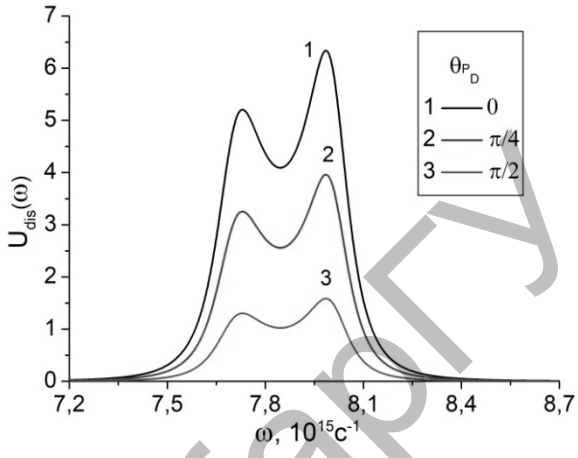


Рис. 8. Спектры скорости переноса-диссипации энергии электронного возбуждения молекулы донора на НЧ, при изменении направления вектора дипольного момента донора в интервале углов $\theta_D^p = 0 \div \pi / 2$.

Для наблюдаемой спектральной плотности можем записать

$$N_\omega(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A) = \frac{1}{2\pi}\cdot\frac{w_{sp}^2(\omega|\mathbf{r}_D)\ \Gamma(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A)}{(\omega-\omega_{if}^{(D)})^2+\Gamma^2(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A)},$$

где $\omega_{if}^{(D)}$ - резонансная частота лоренцева контура спектральной полосы люминесценции донора; $\Gamma(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A) = w_{sp}(\omega|\mathbf{r}_D)+U_{DA}(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A)+U(\omega|\mathbf{r}_D)+K$ – полная ширина линии возбужденного состояния донора; K – скорость одномолекулярной безызлучательной релаксации донора.

Кинетика средней по поверхности слоя концентрации $n_D(t)$ возбужденных молекул донора в модели трехчастичного кластера принимает предельно простую – экспоненциальную форму.

Авторы (ВМН и МГК) выражают благодарность Министерству науки и высшего образования Российской Федерации за финансовую поддержку научного проекта № 0743-2017-0001 (3.7758.2017/8.9). Часть работы выполнена в рамках научного проекта № BR05236691 при финансовой поддержке Министерства науки и образования Республики Казахстан.

Литературы:

1. Ibrayev N., Seliverstova E., Zhumabay N., Temirbayeva D. Plasmon effect in the donor-acceptor pairs of dyes with various efficiency of FRET // Journal of Luminescence, V. 214 (2019). P. 116594.

2. Кучеренко М.Г., Русинов А.П. Влияние металлической наночастицы на процессы дезактивации электронно-возбужденного состояния молекулы // Матер. всеросс. научно-метод. конфер. ОГУ (с международным участием). Оренбург, 2015 г. С. 1091-1096.

3. Кучеренко М.Г., Русинов А. П., Налбандян В.М. Люминесценция молекул вблизи слоистых сферических нанокомпозитов с экситон-плазмонной связью // Матер. международ. научной конфер.

Репозиторий КарГУ

«Наука и образование: фундамент. основы, технологии, инновации», посвящ. 60-летию ОГУ. 2015 г. Часть 4. – С. 167-173.

4. Кучеренко М. Г., Степанов В. Н., Кручинин Н. Ю. Межмолекулярный безызлучательный перенос энергии в кластерах с плазмонными наночастицами // Оптика и спектроскопия. 2015. – Т. 118. -№ 1. – С. 107–114.

М.Г. Кучеренко, А.П. Русинов, Н.Х. Ибраев *, Е.В. Селиверстова *
*Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия. *Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан*

Радиационные и безызлучательные процессы в молекулярных системах над квазидвумерной решеткой плазмонных наночастиц

В недавних экспериментах [1] был исследован плазмон-ускоренный ферстеровский резонансный перенос энергии (FRET) в слоистых структурах молекул органических красителей на поверхности островковых пленок серебра. Наблюдалось влияние плазмонной подсистемы на интенсивность флуоресценции красителей, зависящее от толщины изолирующей прослойки между пленками флуорофора и металла. В данной работе мы представляем результаты расчетов характеристик ближних полей, формирующихся в подобных наноструктурах и определяющих эффективность безызлучательных процессов в них, а также спектры результирующей флуоресценции многослойного композита для различной его геометрии. Расчеты выполнены на основе специальной модели, прототипом которой служила ранее разработанная теория [2-3]. В качестве модели островковой пленки металла рассмотрим бесконечную плоскую нанорешетку гексагональной симметрии из проводящих наночастиц. Фрагмент такой решетки в приближении двух первых координационных сфер представлен на рис. 1. Влияние частиц, находящихся в других координационных сферах не учитывается, потому что их вклад в поляризуемость рассматриваемой частицы (в центре фрагмента) будем считать пренебрежимо малым. Поскольку рассматриваемая бесконечная система симметрична, наведенная поляризуемость любой наночастицы одинакова для всех частиц решетки. Тогда учет шести ближайших соседей первой координационной сферы и двенадцати диполей второй координационной сферы в решетке дает для вектора дипольного момента выделенной в центре фрагмента наночастицы следующее выражение

$$\begin{aligned}&\mathbf{P}_2(\omega)=\alpha_0\left[\mathbf{E}_0+\vec{\mathbf{G}}_1(a)\mathbf{P}_2(\omega)+\vec{\mathbf{G}}_2(a)\mathbf{P}_2(\omega)+\ldots+\vec{\mathbf{G}}_6(a)\mathbf{P}_2(\omega)\right]+\\&+\alpha_0\left[\vec{\mathbf{G}}_7(2a)\mathbf{P}_2(\omega)+\vec{\mathbf{G}}_9(2a)\mathbf{P}_2(\omega)+\ldots+\vec{\mathbf{G}}_{17}(2a)\mathbf{P}_2(\omega)\right]+\\&+\alpha_0\left[\vec{\mathbf{G}}_8(2h)\mathbf{P}_2(\omega)+\vec{\mathbf{G}}_{10}(2h)\mathbf{P}_2(\omega)+\ldots+\vec{\mathbf{G}}_{18}(2h)\mathbf{P}_2(\omega)\right],\end{aligned}\qquad(1)$$

где α_0 - поляризуемость отдельной наночастицы; $h=a\sqrt{3}/2$, a - расстояние между соседними частицами; $\vec{\mathbf{G}}_j(\mathbf{r})$ - тензор Грина ближнего поля дипольного источника, определяемый соотношением

$$\vec{\mathbf{G}}_j(\mathbf{r})=r^{-3}\left(3\mathbf{n}\otimes\mathbf{n}-\vec{\mathbf{I}}\right).\qquad(2)$$

Тогда из (1) следует

Репозиторий КарГУ

$$\left[\mathbf{I}-\alpha_0\left(\sum_{j=1}^{6}\vec{\vec{\mathbf{G}}}_j(a)+\sum_{j=3}^{8}\vec{\vec{\mathbf{G}}}_{2j+1}(2a)+\sum_{j=4}^{9}\vec{\vec{\mathbf{G}}}_{2j}(2h)\right)\right]\mathbf{P}_2(\omega)=\alpha_0\mathbf{E}_0\,, \tag{3}$$

и для эффективного тензора поляризуемости сферического нанокомпозита в этом приближении можем записать

$$\vec{\vec{\alpha}}_{eff}(\omega)=\left[\mathbf{I}-\alpha_0(\omega)\left(\sum_{j=1}^{6}\vec{\vec{\mathbf{G}}}_j(a)+\sum_{j=3}^{8}\vec{\vec{\mathbf{G}}}_{2j+1}(2a)+\sum_{j=4}^{9}\vec{\vec{\mathbf{G}}}_{2j}(2h)\right)\right]^{-1}\alpha_0(\omega)\,. \tag{4}$$

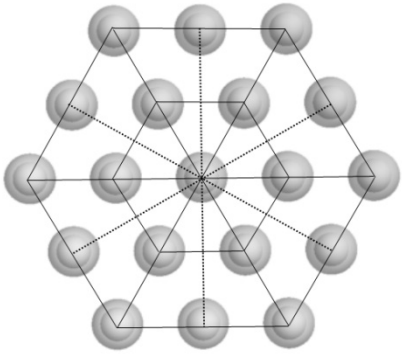


Рисунок 1. Первые две координационные сферы плоской решетки из сферических плазмонных наночастиц PNP

Потенциал квазистатического поля от дипольного источника с моментом p в пространстве над такой решеткой определяется выражением

$$\varphi(\mathbf{r})=\frac{\mathbf{pr}}{r^3}+\sum_j\vec{\vec{\alpha}}_{eff}(\omega)\frac{3(\mathbf{pr}_j)\mathbf{r}_j-\mathbf{p}r_j^2}{r_j^5}\frac{(\mathbf{r}-\mathbf{r}_j)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_j|^3}, \tag{5}$$

а напряженность поля в этой точке

$$\mathbf{E}(\mathbf{r})=\frac{3(\mathbf{pr})\mathbf{r}-\mathbf{p}r^2}{r^5}+\sum_j\frac{\left[3(\mathbf{p}_{eff}^{(j)}(\omega)(\mathbf{r}-\mathbf{r}_j))(\mathbf{r}-\mathbf{r}_j)-\mathbf{p}_{eff}^{(j)}(\omega)(\mathbf{r}-\mathbf{r}_j)^2\right]}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_j|^5}, \tag{6}$$

где

$$\mathbf{p}_{eff}^{(j)}(\omega)=\vec{\vec{\alpha}}_{eff}(\omega)\frac{3(\mathbf{pr}_j)\mathbf{r}_j-\mathbf{p}r_j^2}{r_j^5}$$

наведенный дипольный момент в (j)-м элементе решетки.

Плазмонная инициация люминесценции осуществляется посредством увеличения скорости $w_{sp}(z_D\,|\,\omega)$ радиационного спонтанного перехода в наноструктуре

$$w_{sp}(z_D\,|\,\omega)=\frac{4}{3}\frac{\omega^3}{\hbar c^3}\left|\mathbf{p}_{eff}\right|^2 \tag{7}$$

за счет формирования эффективного дипольного момента перехода:

Репозиторий КарГУ

$$\mathbf{p}_{eff} = \mathbf{p} + \sum_j \mathbf{p}_{eff}^{(j)} = \mathbf{p} + \sum_j \tilde{\alpha}_{eff}(\omega) \frac{3(\mathbf{p}\mathbf{r}_j)\mathbf{r}_j - \mathbf{p}r_j^2}{r_j^5}, \quad (8)$$

и изменения квантового выхода свечения на частотах, близких к частоте радиационного перехода в молекуле донора.

Если наряду с донорными молекулярными центрами в системе присутствуют и молекулы-акцепторы (как в эксперименте [1]), то на основе (6) может быть определена и скорость межмолекулярного безызлучательного D-A-переноса энергии. Т.е. теперь в произвольной точке $\mathbf{r}_A$ расположения молекулы-акцептора над решеткой можем записать

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}_A) = \tilde{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_{DA})\mathbf{p}_D + \tilde{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_A)\tilde{\alpha}(\omega)\tilde{\mathbf{G}}(\mathbf{r}_D)\mathbf{p}_D .$$

Тогда энергия взаимодействия акцепторного диполя с моментом $\mathbf{p}_A$ с полем (6) принимает вид

$$\mathbf{p}_A\mathbf{E}(\mathbf{r}_A) = \frac{3(\mathbf{p}_D\mathbf{r}_{DA})(\mathbf{p}_A\mathbf{r}_{DA}) - (\mathbf{p}_D\mathbf{p}_A)r_{DA}^2}{r_{DA}^5} + \sum_j \frac{\left[3(\mathbf{p}_{eff}^{(j)}(\mathbf{r}_A - \mathbf{r}_j))\mathbf{p}_A(\mathbf{r}_A - \mathbf{r}_j) - \mathbf{p}_{eff}^{(j)}\mathbf{p}_A(\mathbf{r}_A - \mathbf{r}_j)^2\right]}{|\mathbf{r}_A - \mathbf{r}_j|^5}, \quad (9)$$

а скорость межмолекулярного безызлучательного переноса энергии электронного возбуждения при квантовом описании элементарного акта (теория Ферстера) будет определяться квадратом скалярного произведения (9): $U_{DA} \sim (\mathbf{p}_A\mathbf{E}(\mathbf{r}_A))^2$.

Картина распределения напряженности ближнего поля на различных околорезонансных частотах в пространстве вне решетки представлена на рисунках 2 и 3 в различных плоскостях. Так, на рис. посредством цветовой градации показана структура результирующего поля в плоскости X0Z на частоте 0.9, 1.02 и 1.15 от частоты ω_{res} плазмонного резонанса сферической частицы. В случае частоты $1.02\,\omega_{res}$, наиболее близкой к частоте ω_{res} плазмонного резонанса, наблюдается максимальная локализация наведенного в решетке поля на ближайшей к инициирующему диполю плазмонной наночастице.

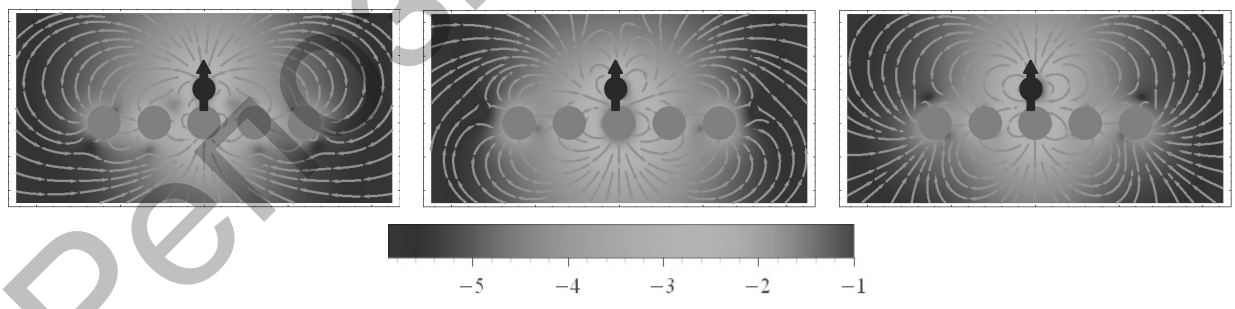


Рисунок 2. Распределение напряженности электрического поля в ближней зоне над решеткой нано-частиц в плоскости X0Z на различных частотах 0.9, 1.02 и 1.15 от частоты ω_{res} плазмонного резонанса в шаре

Расчеты показывают, что в случае ориентации молекулярного диполя в плоскости решетки XY структура силовых линий поля вблизи частоты плазмонного резонанса практически не изменяется, однако локализация поля около центральной наночастицы уже не столь явно выражена как при вертикальной ориентации диполя.

Репозиторий КарГУ

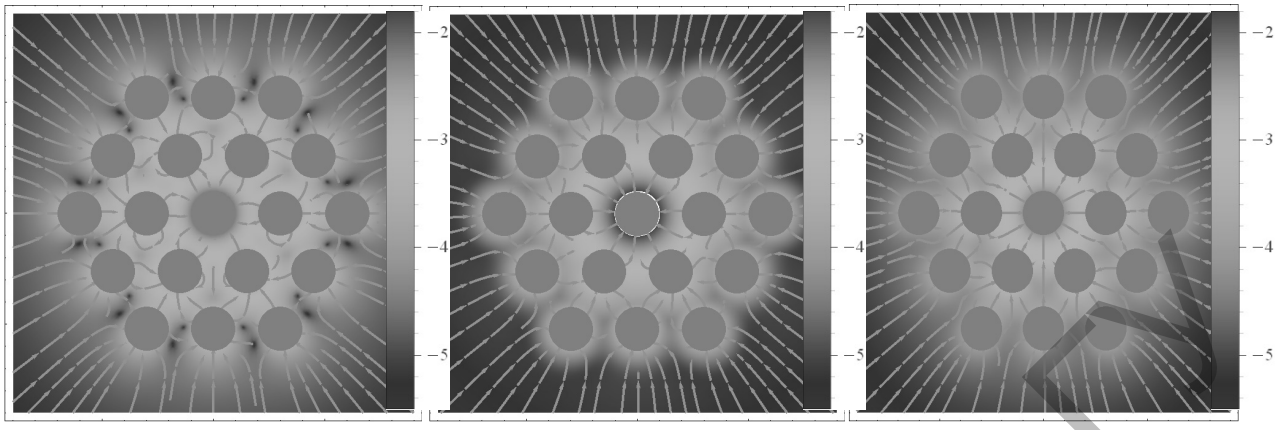


Рисунок 3. Распределение напряженности электрического поля в ближней зоне над решеткой наночастиц в плоскости X0Y при Z=0 на различных частотах 0.9, 1.02 и 1.15 от частоты плазмонного резонанса ω_{res} в шаре

Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения от молекулы донора на плазмонные моды наночастицы с последующим затуханием этих мод характеризуется скоростью U такого процесса в виде

$$U(\omega|\mathbf{r}) = (2\hbar)^{-1} V \operatorname{Im}\left[\mathbf{E}^{*}(\omega)\vec{\alpha}_{eff}(\omega)\mathbf{E}(\omega)\right] = (2\hbar)^{-1} V \operatorname{Im}\left[\mathbf{p}_D \vec{\mathbf{G}}(\mathbf{r})\vec{\alpha}_{eff}(\omega)\vec{\mathbf{G}}(\mathbf{r})\mathbf{p}_D\right]. \quad (10)$$

В случае отдельной шаровой изотропной наночастицы PNP эта скорость пропорциональна мнимой части эффективной скалярной поляризуемости $\alpha_{eff}(\omega)$ – скалярному аналогу (4)

$$U(\omega, r, \theta) = \frac{1}{2\hbar}\frac{p^2}{\varepsilon_m^2 r^6}(1+3\cos^2\theta)\operatorname{Im}\alpha_{eff}(\omega), \quad (11)$$

где ε_m – диэлектрическая проницаемость среды на частоте перехода $i \to f$, а $\operatorname{Im}\alpha(\omega) > 0$. Как и прежде, радиус-вектор r берет свое начало в центре наночастицы. Угол θ в (11) – угол между векторами r и p. Тогда при $\theta = 0$ $U(\omega, r, 0) = \hbar^{-1}\operatorname{Im}\alpha(\omega) 2p^2(\varepsilon_m r^3)^{-2}$. Тогда скорость переноса на фрагмент решетки из близлежащих к дипольному источнику наночастиц слоя

$$U(\mathrm{z}_D, \omega) = \frac{p_D^2 \operatorname{Im}\alpha_{eff}(\omega)}{2\hbar\varepsilon_m^2}\sum_{j=1}^{19}\frac{(1+3\cos^2\theta_j)}{r_j^6}$$

Спектральная плотность N_ω числа фотонов, испущенных объединенной системой «DA-PNP» на частоте ω, определяется как произведение вероятности w_{sp} спонтанного перехода (7) на функцию формы линии, которую будем считать лоренцевой, с шириной, определяемой общей скоростью диссипации $U_{tot}(\omega|\mathbf{r}_D, \mathbf{r}_A) = U_{DA}(\omega|\mathbf{r}_D, \mathbf{r}_A) + U(\omega|\mathbf{r}_D)$ и скоростью плазмон-активированного радиационного распада $w_{sp}(\omega|\mathbf{r}_D)$ (7) ($\mathbf{r}_D(r_D, \theta)$, θ – угол между векторами p и r_D)

Репозиторий КарГУ

$$N_{\omega}(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A)=\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{w_{sp}^2(\omega|\mathbf{r}_D)\,\Gamma(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A)}{(\omega-\omega_{if}^{(D)})^2+\Gamma^2(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A)}. \qquad (12)$$

Здесь, в (12), $\omega_{if}^{(D)}$ - резонансная частота лоренцева контура спектральной полосы люминесценции донора; $\Gamma(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A)=w_{sp}(\omega|\mathbf{r}_D)+U_{tot}(\omega|\mathbf{r}_D,\mathbf{r}_A)+K$ – полная ширина линии возбужденного состояния донора; K – скорость одномолекулярной безызлучательной релаксации донора.

На рис. 4 представлена частотная зависимость относительной скорости спонтанных радиационных переходов $w_{sp}(z_D|\omega)/w_{sp0}(\omega)=|p_{eff}|^2/|p_D|^2$ в молекуле донора над решеткой на различном расстоянии z_D от нее: 1 – 2.5R, 2 - 3R, где R=10 нм – радиус наночастиц. Ориентация диполя вдоль оси OZ. $\omega_{pp}=\omega_{res}$ - плазмонная частота для одного элемента решетки. При удалении молекулы от плоскости решетки амплитуда скорости перехода ожидаемо уменьшается, выходя на асимптоту $w_{sp}(z_D|\omega)/w_{sp0}(\omega)=1$ при $z_D>>R$. Следует отметить, что в спектре рис. 4 на пострезонансных частотах наблюдается *уменьшение* скорости спонтанных радиационных переходов.

На рис. 5 показаны дистанционные зависимости относительной скорости радиационных спонтанных переходов в молекуле донора, расположенной над плазмонной решеткой, для различных частот ω_D вблизи частоты плазмонного резонанса ω_{res} отдельного элемента решетки. Если для предрезонансных частот ω_D эти зависимости монотонно затухающие с ростом расстояния z_D от молекулы до решетки, то для пострезонансной частоты наблюдается рост величины $w_{sp}(z_D|\omega)/w_{sp0}(\omega)=|p_{eff}|^2/|p_D|^2$ после практически полного прекращения свечения при z_D=15 нм, с последующим выходом на единичную асимптоту при $z_D>>R$.

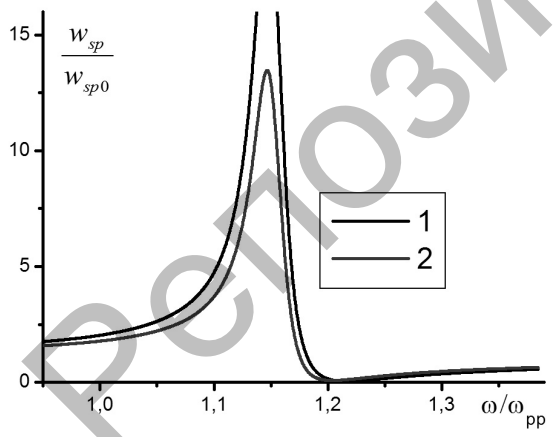


Рисунок 4. Частотные зависимости относительной скорости спонтанных радиационных переходов в молекуле донора на расстоянии z_D: 25 (1) и 30 (2) нм от плоскости решетки.

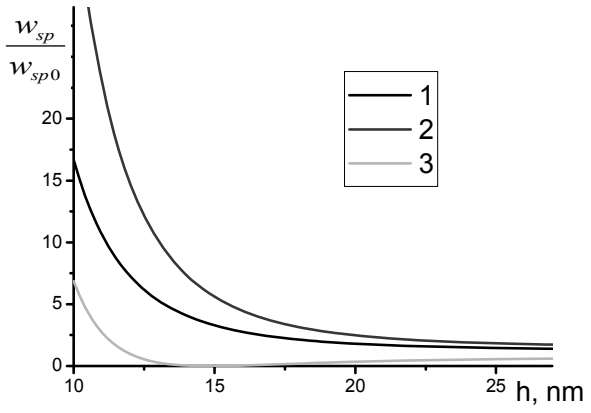


Рисунок 5. Дистанционные зависимости относительной скорости спонтанных радиационных переходов в молекуле донора от плоскости решетки на различных частотах ω_D : 1 - 6, 2 - 7 и 3 – 10 $\cdot 10^{15}$ Гц.

Репозиторий КарГУ

На рисунках 6 и 7 показаны частотные и дистанционные зависимости скорости безызлучательного донор-акцепторного переноса энергии над плазмонной решеткой по отношению к скорости переноса в уединенной донор-акцепторной паре $\left|\mathbf{p}_A\mathbf{E}_{eff}(\mathbf{r}_A)\right|^2 \Big/ \left|\mathbf{p}_A\mathbf{E}_D(\mathbf{r}_A)\right|^2$

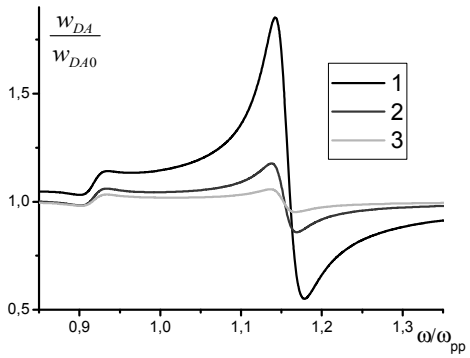


Рисунок 6. Частотные зависимости относительной скорости безызлучательного донор-акцепторного переноса энергии при различном удалении z_D от плоскости плазмонной решетки. 1 – 1.5R, 2 - 2R и 2 – 2.5R. R=10 нм – радиус наночастиц.

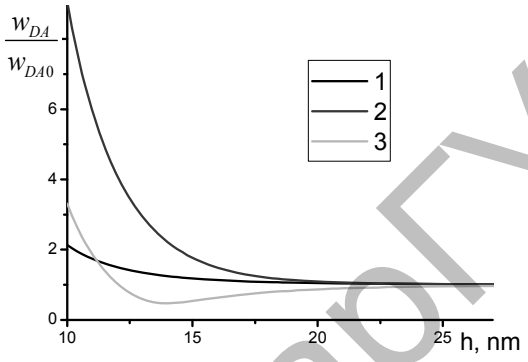


Рисунок 7. Дистанционные зависимости относительной скорости безызлучательного донор- акцепторного переноса энергии над плазмонной решеткой на различных частотах 1 – 7.5, 2 – 8.3 и 3 – 8.5 x10^{15} Гц.

Авторы (МГК и АПР) выражают благодарность Министерству науки и высшего образования Российской Федерации за финансовую поддержку научного проекта № 0743-2017-0001 (3.7758.2017/8.9). Часть работы выполнена в рамках научного проекта № BR05236691 при финансовой поддержке Министерства науки и образования Республики Казахстан.

Литературы

1. Ibrayev N., Seliverstova E., Zhumabay N., Temirbayeva D. Plasmon effect in the donor-acceptor pairs of dyes with various efficiency of FRET // Journal of Luminescence, V. 214 (2019). P. 116594.

2. Кучеренко М.Г., Русинов А.П. Влияние металлической наночастицы на процессы дезактивации электронно-возбужденного состояния молекулы // Матер. всеросс. научно-метод. конфер. ОГУ (с международным участием). Оренбург, 2015 г. С. 1091-1096.

3. Кучеренко М.Г., Русинов А. П., Налбандян В.М. Люминесценция молекул вблизи слоистых сферических нанокомпозитов с экситон-плазмонной связью // Матер. международ. научной конф. «Наука и образование: фундамент. основы, технологии, инновации», посвящ. 60-летию ОГУ. Часть 4. Оренбург, 2015 г.– С. 167-173.

М.Г. Кучеренко, Н.Ю. Кручинин
Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия, clibph@yandex.ru

Форма импульса замедленной флуоресценции, сопровождающей молекулярную реакцию в петлевом полимерном слое на поверхности поляризованной глобулы

Произведено обобщение ранее предложенной авторами математической модели кинетики кросс-аннигиляции электронных возбуждений молекул кислорода и триплетных (Т) возбуждений органических молекул, учитывающая неоднородный и неизотропный характер распределения звеньев полимерной цепи вблизи поверхности сферической наночастицы. Предполагалось, что локальная концентрация синглетных электронных

Репозиторий КарГУ

возбуждений молекул кислорода определяется как радиальным, так и угловым распределением Т-центров, связанных со звеньями макромолекулы, а также особенностями диффузионной релаксации плотности молекул O_2 в приповерхностной области наночастицы. В рамках общей модели получены выражения для времязависящего сигнала кросс-аннигиляциионной замедленной флуоресценции молекул-сенсибилизаторов. Расчеты, выполненные на основе модели, демонстрируют предсказуемый отклик на изменения модельных параметров – в согласии с аналогичными изменениями экспериментальных характеристик. Предложенная модель может быть использована для обработки времяразрешенных сигналов кислород-активированной люминесценции коллоидов, с целью получения информации о конформационной структуре макромолекулярного опушечного слоя дисперсных включений, и особенностях ее проявления в реакциях с участием молекул O_2.

В последнее время внимание исследователей привлекают композитные наносистемы, представляющие собой металлические наночастицы с адсорбированными на их поверхности полимерными цепями. Ранее уже отмечалось [1-2], что двустадийные фотореакции с участием электронно-возбужденных молекул, протекающие в приповерхностном слое с макроцепной «опушкой» обладают специфической кинетикой, определяемой особенностями размещения одного из реагентов в структуре полимера. В данной работе развита математическая модель кинетики кросс-аннигиляции электронных возбуждений молекул кислорода и триплетных (Т) возбуждений органических молекул, учитывающая неоднородный и неизотропный характер распределения звеньев полимерной цепи вблизи поверхности сферической наночастицы. Мгновенная локальная концентрация $n_\Delta(r,\theta,t)$ синглетных электронных возбуждений молекул кислорода будет определяться радиальным и угловым распределением Т-центров, связанных со звеньями макромолекулы, а также особенностями диффузионной релаксации их плотности в приповерхностной области наночастицы. В рамках предложенной модели получены выражения для времязависящего сигнала кросс-аннигиляциионной замедленной флуоресценции молекул-сенсибилизаторов.

Расчеты, выполненные на основе предложенной модели, демонстрируют вполне объяснимый отклик на изменения модельных параметров, в согласии с аналогичными изменениями экспериментальных характеристик. В силу этого предложенная модель может быть использована для обработки времяразрешенных сигналов кислород-активированной люминесценции коллоидов, с целью получения информации о конформационной структуре макромолекулярного опушечного слоя дисперсных включений, и особенностях ее проявления в реакциях с участием молекул O_2.

Различие кинетических режимов для разных конформаций цепи связано с особенностями пространственно-временного распределения концентрации $n_T(\mathbf{r},t)$ триплет-возбужденных органических молекул (Т-центров) $n_T(\mathbf{r},t)=n(\mathbf{r})\cdot\eta f(t)$, $(\eta\le 1)$ в объеме, занятом макроцепью. Пространственное распределение $n(\mathbf{r})$ связанных с цепью молекул следует картине размещения звеньев цепи, адсорбированной на поверхности наночастицы. Временное распределение концентрации $n_T(\mathbf{r},t)$ Т-центров подчиняется закону дезактивации, сформированному диффузионным движением молекул-тушителей, функцию которых выполняют молекулы O_2

$$n_T(t,r,\theta)=\eta n(r,\theta)\exp\left\{-\frac{t}{\tau_T}-4\pi r_m D_m^{\Sigma} n_{ox}\left(t+2r_m\sqrt{\frac{t}{\pi D_m^{\Sigma}}}\right)\right\}, \qquad (1)$$

Репозиторий КарГУ

где D_m^{Σ} - коэффициента микродиффузии невозбужденных молекул O_2 в макроцепном опушечном слое; τ_T - время жизни Т-состояния; r_m - радиус реакции тушения Т-центра невозбужденной молекулой кислорода.

Выражение для плотности электронных возбуждений $n_{\Delta}(r,t)$ молекул O_2 можно построить на основе решения кинетического уравнения с диффузионным оператором [1-2]

$$\frac{\partial}{\partial t}n_{\Delta}(r,\theta,t)=D_{\Delta}\frac{1}{r^{d-1}}\left[\frac{\partial}{\partial r}r^{d-1}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{\sin^{d-2}\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin^{d-2}\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right]n_{\Delta}(r,\theta,t)- \\ -\frac{1}{\tau_{\Delta}}n_{\Delta}(r,\theta,t)+4\pi r_m D_m^{\Sigma}n_T(r,\theta,t)n_{ox}(r,\theta)-4\pi r_m D_m^{\Delta}n_T(r,\theta,t)n_{\Delta}(r,\theta,t) \quad (2)$$

для наночастиц различной формы: d=2 – для цилиндрической, и d=3 – для сферической. Постоянная τ_{Δ} в (2) – время жизни возбужденного состояния молекул кислорода. Величина коэффициента мезодиффузии D_{Δ} также как и величина коэффициента микродиффузии D_m^{Δ} предполагается не зависящей от конформационного состояния макроцепи.

Аналитическое решение кинетического уравнения (2) получить сложно. Однако, достаточно часто реализуемым на практике является случай, когда допустимо рассмотрение кинетики процесса на основе (2) в отсутствие последнего - «аннигиляционного» слагаемого в правой части (2), отвечающего за процесс слияния возбуждений

$$\frac{\partial}{\partial t}n_{\Delta}(r,\theta,t)=-\frac{1}{\tau_{\Delta}}n_{\Delta}(r,\theta,t)+4\pi r_m D_m^{\Sigma}n_T(r,\theta,t)n_{ox}+ \\ +D_{\Delta}\frac{1}{r^{d-1}}\left[\frac{\partial}{\partial r}r^{d-1}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{\sin^{d-2}\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin^{d-2}\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right]n_{\Delta}(r,\theta,t) \quad (3)$$

В таком варианте построения кинетической модели процесса кросс-аннигиляции нам удалось получить точное аналитическое решение для $n_{\Delta}(r,\theta,t)$ в квадратурах, как для случая сферической частицы, так и для случая протяженного цилиндрического тела

$$n_{\Delta}(r,\theta,t)=4\pi r_m D_m^{\Sigma}n_{ox}\exp(-t/\tau_{\Delta})\times \\ \times\int_0^t\int_R^{\infty}\int_0^{\frac{2\pi}{d-1}}\exp(\tau/\tau_{\Delta})n_T(\rho,\tau)G_d(r,\rho,\theta,\vartheta,t-\tau)(2\pi)^{d-2}\rho^{d-1}d\rho\sin^{d-2}\vartheta\,d\vartheta\,d\tau \quad (4)$$

Для этого использовались сферические, либо цилиндрические функции $G_d(r,\rho,\theta,\vartheta,t-\tau)$ – функции Грина уравнения диффузии

$$\frac{\partial}{\partial t}G_d(r,\rho,\theta,\vartheta,t-\tau)=\frac{\delta(r-\rho)\delta(\theta-\vartheta)}{2\pi(d-1)\sin^{d-2}\theta r^{d-1}}\delta(t-\tau)-\frac{1}{\tau_{\Delta}}G_d(r,\rho,\theta,\vartheta,t-\tau)+ \\ +D\frac{1}{r^{d-1}}\left[\frac{\partial}{\partial r}r^{d-1}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{\sin^{d-2}\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin^{d-2}\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right]G_d(r,\rho,\theta,\vartheta,t-\tau) \quad (5)$$

Репозиторий КарГУ

Каждая из этих функций может быть представлена в факторизованном виде по радиальным r,ρ и угловым θ,ϑ переменным

$$G_d(r,\rho,\theta,\vartheta,t-\tau)=G_d(r,\rho,t-\tau)G_d(\theta,\vartheta,t-\tau). \quad (6)$$

Радиальная сферическая функция Грина $G(r,\rho,t-\tau)$ для уравнения диффузии с граничным условием второго рода

$$\frac{\partial}{\partial r}G_3(r,\rho,\,t-\tau)\,|_{r=R}=0$$

имеет вид

$$G_3(r,\rho,t-\tau)=\frac{1}{8\sqrt{\pi^3 D(t-\tau)}}\frac{1}{r\rho}\left\{\exp\left[-\frac{(r-\rho)^2}{4D(t-\tau)}\right]+\exp\left[-\frac{(r+\rho-2R)^2}{4D(t-\tau)}\right]-\right.$$
$$\left.-\frac{\sqrt{4\pi D(t-\tau)}}{R}\exp\left[\frac{D(t-\tau)}{R^2}+\frac{r+\rho-2R}{R}\right]\left\{1-\Phi\left[\frac{r+\rho-2R}{\sqrt{4D(t-\tau)}}+\frac{\sqrt{D(t-\tau)}}{R}\right]\right\}\right\}, \quad (7)$$

где функция $\Phi(q)$ в (7) представляет собой интеграл вероятности $\Phi(q)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^q\exp(-x^2)dx$.

Угловая функция Грина на сфере в виде ряда по полиномам Лежандра $P_l(\cos\beta)$ содержит коэффициент D_Ω поперечной диффузии молекулы кислорода

$$G_3(\theta,\varphi,t\,|\,\theta',\varphi',\tau)=\frac{1}{4\pi R^2}\sum_l(2l+1)\exp\left[-D_\Omega l(l+1)(t-\tau)\right]P_l(\cos\beta), \quad (8)$$

$$\cos\beta=\cos\theta\cos\theta'+\sin\theta\sin\theta'\cos(\varphi-\varphi').$$

Для цилиндрических объектов функция Грина факторизуется по всем трем координатам: радиальной, угловой и линейной координате *z*, отсчитываемой вдоль оси цилиндра. Конкретный вид этих функций может быть найден в справочной литературе.

Поляризация наночастицы изменяет конформации адсорбированных на ней макроцепей и влечет за собой изменения пространственного распределения $n(\mathbf{r})$ связанных с цепью молекул. В свою очередь это отражается на функции плотности молекулярных возбуждений кислорода, определяемой формулой (4).

Процесс кросс-аннигиляции молекулярных возбуждений сопровождается замедленной флуоресценцией (ЗФ) сенсибилизатора [1-2]. При фотоактивации системы ультракоротким лазерным импульсом форма импульса $I_{DF}^{T\Delta}(t)$ кросс-аннигиляционной замедленной флуоресценции определяется как интеграл по объему области пространства, заполненному макроцепями, от произведения концентраций $n_T(r,\theta,t)$ триплетных возбуждений органических молекул и $n_\Delta(r,\theta,t)$ синглетных возбуждений молекул кислорода

Репозиторий КарГУ

$$I_{DF}^{T\Delta}(t) \sim \int_{R}^{\infty} \int_{0}^{\frac{2\pi}{d-1}} n_T(r,\theta,t)\, n_\Delta(r,\theta,t)(2\pi \sin\theta)^{d-2} d\theta\, r^{d-1} dr\,. \qquad (9)$$

На основе (9) были построены кинетические кривые сигналов кросс-аннигиляционной замедленной флуоресценции в зависимости от характерных структурных и термодинамических параметров системы. Наблюдались отличия временных зависимостей $n_\Delta(r,t)$, $I_{DF}^{T\Delta}(t)$ по сравнению с ранее изученными случаями разбавленных полимерных растворов без наночастиц, а также с неполяризованными наночастицами (рис. 1 и 2). Зарегистрированные отклонения кинетического режима реакций связываются с изменившимся характером пространственного распределения Т-центров в системе поляризованных наночастиц с макроцепной «опушкой» и отсутствием партнеров по аннигиляции для молекул кислорода во внутренней части наночастицы.

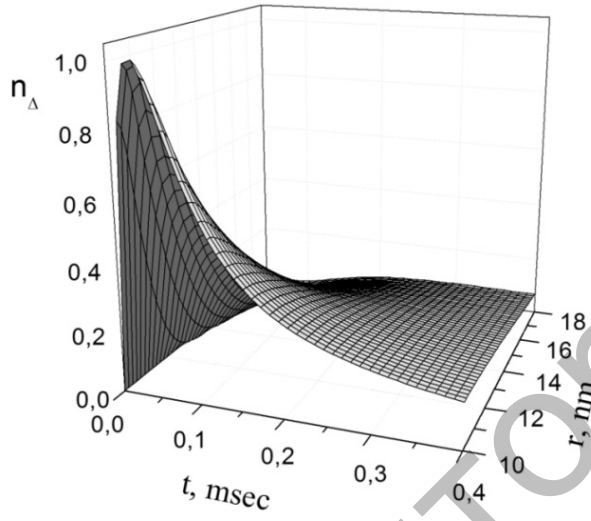
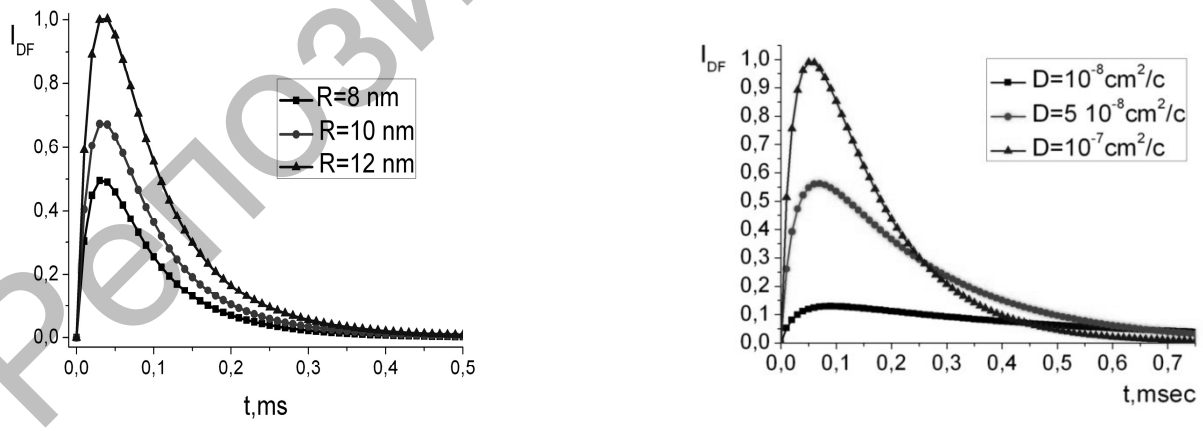


Рисунок 1. Кинетика радиального распределения молекул синглетного кислорода в многопетлевом опушечном слое макромолекулы со связанными Т-центрами, адсорбированной неполяризованной сферической наночастицей радиуса *R*=10 нм.



а б

Рисунок 2. Форма импульсных сигналов замедленной флуоресценции молекулярных сенсибилизаторов, закрепленных на адсорбированной полимерной цепи для различных радиусов *R* неполяризованной сферической наночастицы (а); для различных коэффициентов диффузии *D* молекул O_2

Репозиторий КарГУ

На рис. 2 представлены временные зависимости сигнала кросс-аннигиляционной замедленной флуоресценции сенсибилизатора для а) сферических наночастиц различного радиуса R; б) различных коэффициентов диффузии молекул кислорода в опушечном слое адсорбированной макромолекулярной цепи. Наблюдается отчетливая зависимость формы импульсного сигнала свечения от указанных параметров системы.

Было произведено молекулярно-динамическое (МД) моделирование наносистемы (рис.3), состоящей из поляризованной наночастицы Au радиусом 1.5 нм с адсорбированными на ней полиамфолитными полипептидами с разными законами распределения положительных и отрицательных аминокислотных остатков макроцепи размером от 300 до 400 звеньев. МД-моделирование выполнено на основе программного комплекса NAMD 2.13.

Для полипептидов было использовано силовое поле CHARMM22, а взаимодействие с золотой наночастицей описывалось потенциалом Леннард-Джонса, который обрезался на расстоянии 1.2 нм с помощью функции сглаживания между 1.0 и 1.2 нм. Электростатические взаимодействия рассчитывались непосредственно на расстоянии 1.2 нм, для более удаленных зарядов использовался метод «частица–сетка Эвальда» (PME) с шагом сетки 0.11 нм. Вся молекулярная система помещалась в куб со сторонами 20 нм, заполненный молекулами воды (TIP3P). Модель золотой наночастицы была получена путем вырезания шара радиусом 1.5 нм из кристалла золота.

Поляризация сферической наночастицы в электрическом поле задавалась через изменение по закону косинуса поверхностной плотности заряда. Были использованы следующие значения суммарного дипольного момента наночастицы: $p_{0.25} = 2.73$, $p_{0.25} = 5.46$ и $p_{0.25} = 10.92$ кД. При этих значениях момента полюсы наночастицы несли парциальные заряды: 0.25, 0.5 и 1e соответственно.



а б

Рисунок 3. Конформации 300-звенного полипептида (ПП) на поверхности неполяризованной (а) и поляризованной (б) золотой наночастицы радиусом 1.5 нм.
Состав ПП по числу звеньев: 240 ALA, 30 ARG и 30 ASP: ALA240ARG30ASP30.
Конформация (б) ПП возникала в результате МД-моделирования при поляризации (1.00) наночастицы в вертикальном направлении с дипольным моментом $p_{1.00}$.
Синим цветом изображены звенья Ala, белым – Arg, красным – Asp.

По результатам МД-моделирования для различных значений дипольного момента наночастицы на конечном стационарном участке траектории по всем полученным конформациям полипептида рассчитывались распределения средней радиальной плотности атомов с дифференциацией по типам звеньев, а также средние угловые распределения атомов полипептида. Произведен расчет средней радиальной плотности атомов полипептида в направлениях положительно и отрицательно заряженных полюсов поляризованной

Репозиторий КарГУ

наночастицы, а также в ее экваториальной области. По мере увеличения дипольного момента наночастицы происходила перестройка конформационной структуры адсорбированной полиамфолитной макроцепи. Заряженные аминокислотные остатки смещались к соответствующим по знаку полюсам. Кроме того, степень вытягивания опушки макроцепи в районе полюсов зависела от расстояния между противоположно заряженными звеньями. Такая перестройка конформационной структуры начинала происходить при значении дипольного момента наночастицы $p_{0.50}$, а при меньших значениях дипольного момента наночастицы такие конформационные изменения были слабо выражены.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научного проекта № 0743-2017-0001 (3.7758.2017/8.9), а также Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-43-560003) и администрации Оренбургской области.

Литературы:

1. Кучеренко М.Г., Чмерева Т.М., Кручинин Н.Ю., Измоденова С.В. Диффузионная кинетика фотореакций с участием молекул кислорода в макроцепных оболочечных структурах на поверхности тубуленовых ядер // Матер. всеросс. конфер. «Фотоника органических и гибридных наноструктур». Черноголовка: ИПХФ РАН. 2011. - С. 90.

2. Кучеренко М.Г., Измоденова С.В., Чмерева Т.М., Кручинин Н.Ю., Подрезова Н.С. Кинетика диффузионно-контролируемых фотореакций в приповерхностном слое фуллерен-тубуленовой наночастицы с адсорбированной полимерной цепью // Вестник ОГУ. 2013. №9 (158). С. 100-109.

М.Г. Кучеренко, Н.Ю. Кручинин
Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия, clibph@yandex.ru

Перестройка конформаций полиамфолитной макроцепи, адсорбированной на поверхности поляризованной свч-полем металлической наночастицы

В рамках исследовательского проекта № 19-43-560003 РФФИ 2019 года «Адсорбция полиамфолитных полипептидов на поверхности поляризованной металлической наночастицы» было осуществлено построение математической модели формирования конформационных перестроек адсорбированной макроцепи полиамфолита, вызванных распределенными электрическими зарядами на поверхности поляризованной сферической наночастицы.

При помещении сферической наночастицы в однородное СВЧ-поле шаровая симметрия системы утрачивается, и потенциал поля, создаваемого поляризованной частицей приобретает зависимость от угловой переменной θ. Ранее, в ряде работ авторов [1-3] для сферически-симметричного случая было показано, что адсорбционный потенциал поверхности наночастиц, в случае физической – ван-дер-ваальсовой адсорбции – может быть эффективно представлен комбинацией простейших модельных потенциалов «твердая стенка – дельта-функциональная яма»: $V_1(r) = V_\infty(R) - \alpha\delta(r - r_0)$ (R- радиус сферы).

Переменное монохроматическое СВЧ-поле $E(t) = E_0 \exp(-i\omega t)$ поляризует наночастицу по гармоническому закону с частотой ω, и к адсорбционному потенциалу $V_1(r) = V_\infty(R) - \alpha\delta(r - r_0)$ добавляется как потенциал самого СВЧ-поля, так и потенциал поля поверхности $V_2(r,\theta) = -eE_0 r\cos\theta + V_P(r,\theta)$ поляризованного шара. Тогда суммарный потенциал поля в пространстве вне наночастицы может быть записан в виде

$$V(\mathbf{r}) = V_1(r) + V_2(r,\theta) = V_\infty(R) - \alpha\delta(r - r_0) - eE_0 r\cos\theta + V_P(r,\theta), \quad (1)$$

Репозиторий КарГУ

где

$$V_2(r,\theta) = -eE_0 r\cos\theta + \frac{\varepsilon_1(\omega)-\varepsilon_2}{\varepsilon_1(\omega)+2\varepsilon_2} R^3 eE_0 \frac{\cos\theta}{r^2}. \quad (2)$$

Диэлектрические проницаемости $\varepsilon_1(\omega), \varepsilon_2$ характеризуют металл частицы и окружающую среду, соответственно. Равновесные конфигурации адсорбированной макроцепи в идеализированной модели, исключающей объемные взаимодействия звеньев, определяются конформационной функцией $\psi(\mathbf{r})$, являющейся решением дифференциального уравнения шредингеровского типа [4]

$$\frac{a^2 kT}{6}\nabla^2\psi(\mathbf{r}) = [V(\mathbf{r})-\varepsilon]\psi(\mathbf{r}), \quad (3)$$

где a – размер звена цепи, kT – энергия теплового кванта. В случае слабого СВЧ-поля учет потенциала (2) может быть произведен в рамках теории возмущений. Однако использование в качестве функций нулевого приближения ранее определенных в [1-2] функций $\psi_0(r)$ со сферической симметрией не может привести к требуемому результату. Как уже было отмечено, уравнение (3) с потенциалом (1) содержит угловую переменную, поэтому его следует записывать в виде

$$\frac{a^2 kT}{6}\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}r^2\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right]\psi(\mathbf{r}) = [V(\mathbf{r})-\varepsilon]\psi(\mathbf{r}). \quad (4)$$

Решение (4) может быть представлено в виде $\psi(\mathbf{r}) = F(r)P_l(\cos\theta)$, где $P_l(\cos\theta)$ – полином Лежандра порядка l. Тогда, с учетом спектра собственных значений для полиномов Лежандра для радиальной функции $F_l(r)$ получаем уравнение

$$\frac{a^2 kT}{6}\left[\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}r^2\frac{d}{dr} - \frac{l(l+1)}{r^2}\right]F_l(r) = [V(r)-\varepsilon_l]F_l(r). \quad (5)$$

Здесь в (5) радиальный потенциал $V(r) = V_1(r) + V_2(r)$, а $V_2(r)$ определен соотношением

$V_2(r,\theta) = V_2(r)P_1(\cos\theta)$, или $V_2(r,\theta) = -\left[1-\alpha'(\omega)\left(\frac{R}{r}\right)^3\right]rE_0P_1(\cos\theta)$

Сферически-симметричное (l=0) решение уравнения (3) Гросберга-Хохлова [4] для сферической наночастицы и дельта-функционального потенциала $V_1(r) = V_\infty(R) - \alpha\delta(r-r_0)$ притяжения имеет вид [2-3] ($A = \text{const}$)

$$\begin{cases} \psi_I = A\dfrac{\exp(-qr)[\exp(2qr)-\exp(2qR)]}{2qr}, & R < r < r_0 \\ \psi_{II} = A\dfrac{\exp(-qr)[\exp(2qr_0)-\exp(2qR)]}{2qr} & r_0 < r < \infty \end{cases}, \quad (6)$$

Репозиторий КарГУ

$$n(r) = \psi^2(r)$$

где параметр q является корнем уравнения

$$q = \frac{3\alpha}{a^2 k_B T}\left[1 - \exp\left(2q(R - r_0)\right)\right] \tag{7}$$

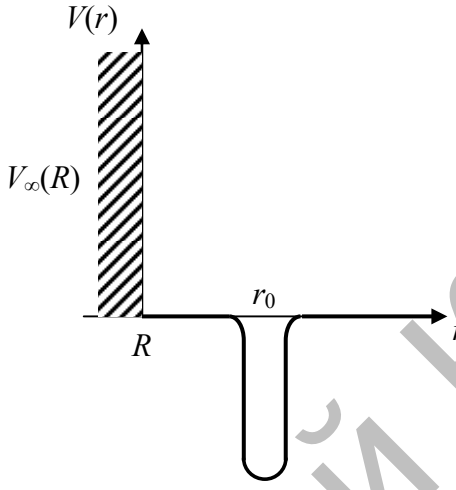


Рисунок 1 Адсорбционный потенциал в виде δ-функциональной ямы с бесконечно высокой стенкой.

Построим, теперь, зависящие от угла θ функции $\psi(\mathbf{r})$ нулевого приближения, то есть решения уравнения (4) с потенциалом $V(r) = V_1(r)$, без поляризующего поля. Используя для радиальной функции $F_l(r)$ подстановку $F_l(r) = f_l(r)/\sqrt{r}$ получаем для функции $f_l(r)$ уравнение

$$f_l''(r) + \frac{1}{r} f_l'(r) - \left[\frac{(l+1)l + 1/4}{r^2}\right] f_l(r) = \frac{6}{a^2 kT}\left[V_1(r) - \varepsilon_l\right] f_l(r) \tag{8}$$

Учитывая, что $(l+1)l + 1/4 = (l+1/2)^2$, от (8) приходим к уравнению Бесселя для цилиндрических функций $Z_{l+1/2}(\xi)$ с полуцелым индексом. Таким образом, решением (8) являются функции Бесселя мнимого аргумента $I_{l+1/2}(q_l r)$ и $K_{l+1/2}(q_l r)$, $\xi = q_l r$, $q_l^2 = -\frac{6\varepsilon_l}{a^2 kT}$. В качестве парциальных решений уравнения (5) с определенным индексом l в поле $V(r) = V_1(r)$ можем записать следующие

$$\begin{cases} F_l^I(r) = A_l \dfrac{I_{l+1/2}(q_l r)}{\sqrt{r}} + B_l \dfrac{K_{l+1/2}(q_l r)}{\sqrt{r}}, & R < r < r_0 \\ F_l^{II}(r) = C_l \dfrac{K_{l+1/2}(q_l r)}{\sqrt{r}}, & r_0 < r < \infty \end{cases} . \tag{9}$$

Репозиторий КарГУ

Постоянные A_l, B_l и C_l находим из тех соображений, что ψ - функции должны удовлетворять следующим граничным условиям

$$\psi_I(R)=0, \quad \psi_I(r_0)=\psi_{II}(r_0), \quad \psi'_{II}(r_0)-\psi'_I(r_0)=-\frac{6\alpha}{a^2kT}\psi_{II}(r_0). \tag{10}$$

Последнее уравнение позволяет определить единственный дискретный уровень спектра ε_l для каждого l. При l=0 приходим к уже исследованной ранее задаче и сферически-симметричным функциям (6), которые, теперь, принимают несколько иную, но эквивалентную (6) форму

$$\begin{cases} \psi_I^{(l=0)}(r)=A_0\dfrac{I_{1/2}(q_0r)}{\sqrt{r}}+B_0\dfrac{K_{1/2}(q_0r)}{\sqrt{r}}, & R<r<r_0 \\ \psi_{II}^{(l=0)}(r)=C_0\dfrac{K_{1/2}(q_0r)}{\sqrt{r}}, & r_0<r<\infty \end{cases}, \tag{6'}$$

Учитывая, что $I_{1/2}(\xi)=\sqrt{\dfrac{2}{\pi\xi}}\mathrm{sh}\xi$, $K_{1/2}(\xi)=\sqrt{\dfrac{\pi}{2\xi}}\exp(-\xi)$ легко приходим от (6') к (6), а q_0 по-прежнему определяется уравнением (7).

При l=1 получаем

$$\begin{cases} \psi_I^{(l=1)}(r,\theta)=\left[A_1\dfrac{I_{3/2}(q_1r)}{\sqrt{r}}+B_1\dfrac{K_{3/2}(q_1r)}{\sqrt{r}}\right]P_1(\cos\theta), & R<r<r_0 \\ \psi_{II}^{(l=1)}(r,\theta)=C_1\dfrac{K_{3/2}(q_1r)}{\sqrt{r}}P_1(\cos\theta), & r_0<r<\infty \end{cases}, \tag{11}$$

Заметим, что плотность $n(r)=\psi^2(r)$ звеньев адсорбированной макроцепи будут по-прежнему определять функции (6) или эквивалентные им (6') , а не (11), т.к. собственные значения ε_1, соответствующие (11), имеют больший модуль, чем ε_0. Кроме того, обратим внимание и на тот факт, что поправки первого порядка к ε_0 для состояний (6) и (6') при учете возмущения $V_2(r,\theta)=-eE_0r\cos\theta+V_P(r,\theta)$ равны нулю. Корректное использование теории возмущений Релея-Шредингера требует учета состояний (11) для уточнения базисного состояния (6').

В общем случае произвольного индекса l для определения параметров q_l и ε_l (важный случай l=1) необходимо воспользоваться уравнением

$$\frac{d}{dr}F_l^{II}(r)|_{r=r_0}-\frac{d}{dr}F_l^{I}(r)|_{r=r_0}=-\frac{6\alpha}{a^2kT}F_l^{II}(r_0). \tag{12}$$

Из (9) и (10) находим соотношения между константами A_l, B_l и C_l:

Репозиторий КарГУ

$$B_l = -A_l \frac{I_{l+1/2}(q_l R)}{K_{l+1/2}(q_l R)}, \quad C_l = A_l \left[\frac{I_{l+1/2}(q_l r_0)}{K_{l+1/2}(q_l r_0)} - \frac{I_{l+1/2}(q_l R)}{K_{l+1/2}(q_l R)} \right]. \tag{13}$$

Тогда (9) принимает вид

$$\begin{cases} F_l^I(r) = A_l \left[\dfrac{I_{l+1/2}(q_l r)}{\sqrt{r}} - \dfrac{I_{l+1/2}(q_l R)}{K_{l+1/2}(q_l R)} \dfrac{K_{l+1/2}(q_l r)}{\sqrt{r}} \right], & R < r < r_0 \\ F_l^{II}(r) = A_l \left[\dfrac{I_{l+1/2}(q_l r_0)}{K_{l+1/2}(q_l r_0)} - \dfrac{I_{l+1/2}(q_l R)}{K_{l+1/2}(q_l R)} \right] \dfrac{K_{l+1/2}(q_l r)}{\sqrt{r}}, & r_0 < r < \infty \end{cases}. \tag{9'}$$

Подставляя (9') в (12) получаем общее трансцендентное уравнение на собственные значения

$$\left[\frac{I_{l+1/2}(q_l r_0)}{K_{l+1/2}(q_l r_0)} \right] \left[q_l \frac{K'_{l+1/2}(q_l r_0)}{K_{l+1/2}(q_l r_0)} - \frac{1}{2r_0} \right] - \frac{2r_0 q_l I'_{l+1/2}(q_l r_0) - I_{l+1/2}(q_l r_0)}{2r_0 K_{l+1/2}(q_l r_0)} = -\frac{6\alpha}{a^2 kT} \left[\frac{I_{l+1/2}(q_l r_0)}{K_{l+1/2}(q_l r_0)} - \frac{I_{l+1/2}(q_l R)}{K_{l+1/2}(q_l R)} \right]. \tag{14}$$

Теория возмущений второго порядка по СВЧ-полю: Учитывая ортогональность полиномов Лежандра с различными индексами l и структуру угловой зависимости оператора возмущения $V_2(r,\theta) \sim \cos\theta$, замечаем, что вклад в поправки базисного состояния $\psi_{I,II}^{(l=0)}(r)$ будут вносить только функции (11) с l=1.

Исправленное базисное состояние $\psi_{I,II}^{(l=0)}(r)$ во втором порядке по малому параметру $\eta = eE_0 a / |\varepsilon_1 - \varepsilon_0|$ может быть записано в виде

$$\begin{cases} \psi_I(r,\theta) = \psi_I^{(l=0)}(r) + \dfrac{\left\langle \psi_I^{(l=0)} | V_2 | \psi_I^{(l=1)} \right\rangle}{\varepsilon_1^{(0)} - \varepsilon_0^{(0)}} \psi_I^{(l=1)}(r,\theta) - \dfrac{1}{2} C_I^{(2)} \psi_I^{(l=0)}(r), & R < r < r_0 \\ \psi_{II}(r,\theta) = \psi_{II}^{(l=0)}(r) + \dfrac{\left\langle \psi_{II}^{(l=0)} | V_2 | \psi_{II}^{(l=1)} \right\rangle}{\varepsilon_1^{(0)} - \varepsilon_0^{(0)}} \psi_{II}^{(l=1)}(r,\theta) - \dfrac{1}{2} C_{II}^{(2)} \psi_{II}^{(l=0)}(r), & r_0 < r < \infty \end{cases}, \tag{15}$$

Заметим, что поправки второго порядка с коэффициентами $C_{I,II}^{(2)}$, где

$$C_{I,II}^{(2)} = \frac{\left| \left\langle \psi_{I,II}^{(l=0)} | V_2 | \psi_{I,II}^{(l=1)} \right\rangle \right|^2}{(\varepsilon_1^{(0)} - \varepsilon_0^{(0)})^2}, \tag{16}$$

не привносят ожидаемую угловую зависимость в базисное состояние и поэтому они могут быть опущены.

Однако радиально-угловое распределение плотности звеньев макроцепи как квадратичная форма от (15) содержит члены второго порядка малости по параметру $\eta = eE_0 a / |\varepsilon_1 - \varepsilon_0|$. Выражения для радиально-углового распределения плотности звеньев адсорбированной макроцепи в однородном СВЧ-поле могут быть записаны в виде

$$n_I(r,\theta) = n_I^{(l=0)}(r) + n_I^{(1)}(r)\cos\theta + n_I^{(2)}(r)\cos^2\theta, \quad R < r < r_0, \tag{17}$$

$$n_{II}(r,\theta) = n_{II}^{(l=0)}(r) + n_{II}^{(1)}(r)\cos\theta + n_{II}^{(2)}(r)\cos^2\theta, \quad r_0 < r < \infty, \tag{18}$$

Репозиторий КарГУ

где

$$n_{I,II}^{(1)}(r)=2\frac{\left\langle \psi_{I,II}^{(l=0)}\mid V_2\mid \psi_{I,II}^{(l=1)}\right\rangle}{\varepsilon_1^{(0)}-\varepsilon_0^{(0)}}F_0^{I,II}(r)F_1^{I,II}(r),\quad n_{I,II}^{(2)}(r)=\frac{\left|\left\langle \psi_{I}^{(l=0)}\mid V_2\mid \psi_{I}^{(l=1)}\right\rangle\right|^2}{\mid \varepsilon_1^{(0)}-\varepsilon_0^{(0)}\mid^2}\left|F_1^{I,II}(r)\right|^2.$$

Собственные значения ε_1 находим из уравнения $\varepsilon_l=-q_l^2a^2kT/6$, а коэффициенты $\left\langle \psi_{I,II}^{(l=0)}\mid V_2\mid \psi_{I,II}^{(l=1)}\right\rangle$ представляют собой следующие интегралы

$$\left\langle \psi_{I,II}^{(l=0)}\mid V_2\mid \psi_{I,II}^{(l=1)}\right\rangle=\begin{cases}\int\limits_R^{r_0}F_0^I(r)V_2(r)F_1^I(r)r^2dr, & I: R<r<r_0\\ \int\limits_{r_0}^{\infty}F_0^{II}(r)V_2(r)F_1^{II}(r)r^2dr, & II: r_0<r<\infty\end{cases}, \tag{19}$$

которые вычисляются от комбинаций показательных и степенных функций.

Заметим, что выражение (2) для потенциала $V_2(r,\theta)=-eE_0r\cos\theta+V_P(r,\theta)$ записано для случая однородно заряженной макроцепи с зарядом звена равным e. В случае макроцепного полиамфолита вместо заряда e можно ввести эффективный дипольный момент электронейтральной группы звеньев $e\to p$. В этом случае усредняя разброс ориентаций диполей относительно вектора напряженности СВЧ-поля для потенциала $V_2(r)$ можно записать

$$V_2^P(r)=-pE_0-2\frac{\varepsilon_1(\omega)-\varepsilon_2}{\varepsilon_1(\omega)+2\varepsilon_2}\left(\frac{R}{r}\right)^3pE_0. \tag{20}$$

Напряженность СВЧ-поля предполагается адиабатически медленно изменяющейся со временем. Было произведено молекулярно-динамическое (МД) моделирование конформаций полиамфолитных полипептидов размером от 300 до 400 звеньев с разными законами распределения положительных и отрицательных аминокислотных остатков вблизи золотой наночастицы радиусом 1.5 нм. Проведенное МД-моделирование в условиях неоднородно распределенных электрических зарядов на поверхности поляризованной сферической металлической наночастицы позволило зарегистрировать появление конформаций полиамфолитных макромолекул, значительно отличающихся от случаев неполяризованной нейтральной наночастицы и равномерно заряженной по поверхности наночастицы.

Литературы

1. Кучеренко М.Г., Чмерева Т.М. Размещение звеньев полимерной цепи в поле гладкой твердой поверхности и в нанополостях пористого сорбента // Вестник ОГУ. 2008.-№9. -С. 177-184.

2. Кучеренко М.Г., Кручинин Н.Ю., Чмерева Т.М. Кинетика квазистатического тушения возбужденных центров приповерхностного слоя сегментами макромолекулярных цепей в нанопорах и вблизи наночастиц // Вестник ОГУ. 2010. -№5. -С. 124-135.

3. Кучеренко М.Г., Измоденова С.В., Чмерева Т.М., Кручинин Н.Ю., Подрезова Н.С. Кинетика диффузионно-контролируемых фотореакций в приповерхностном слое фуллерен-тубуленовой наночастицы с адсорбированной полимерной цепью // Вестник ОГУ. 2013. №9 (158). С. 100-109.

4. Гросберг А. Ю., Хохлов А.Р. Статистическая физика макромолекул. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1989. -344 с.

Репозиторий КарГУ

М.Г. Кучеренко, В.М. Налбандян
Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия, clibph@yandex.ru

Диссипация энергии поля экситон-активированной квантовой точки в кластере проводящих наночастиц

Ансамбли наночастиц сложной структуры представляют собой перспективный прототип новейших функциональных систем наноэлектроники и фотоники [1-4]. В данной работе исследована диссипация энергии электронного возбуждения в трехчастичной системе, включающей в себя экситон-активированную квантовую точку (КТ) и две металлические наночастицы (НЧ) различного радиуса (Рис. 1). На основе уравнения Шредингера и базовых уравнений электродинамики получены выражения для потенциалов $\delta\varphi_j(r,\theta)$ (j=1,2,3) электрического поля внутри ($r < R_1, R_2$) КТ (j=1) и металлического шара радиуса R_2 (j=2, НЧ-рефлектор), с диэлектрическими проницаемостями ε_1 и $\vec{\varepsilon}_2(\omega|\mathbf{B})$, соответственно, а также снаружи глобул $r > R_1, R_2$, т.е. в среде с диэлектрической проницаемостью ε_3. Учитывалось, что при наличии внешнего магнитного поля индукции B проницаемость $\vec{\varepsilon}_2(\omega|\mathbf{B})$ в металлической частице представляет собой тензор второго ранга [1].

Потенциалы $\delta\varphi_j(r,\theta|\mathbf{B})$ (j=2,3) поля, инициированного выстроенным вдоль направления $\mathbf{r}_0$ точечным диполем $\mathbf{p}_0 \| \mathbf{r}_0$ КТ представлялись в виде следующих степенных рядов по мультиполям большой (R_2) НЧ

$$\delta\varphi_2(r,\theta;r_0|\mathbf{B}) = -\sum_{l=1}^{\infty}(2l+1)(l+1)\mathbf{p}_0\vec{\varepsilon}_l^{-1}(\omega|\mathbf{B})\mathbf{r}\cdot\frac{r^{l-1}}{r_0^{l+2}}\cdot P_l(\cos\theta), \qquad r < R_2, \tag{1}$$

$$\begin{aligned}\delta\varphi_3(r,\theta;r_0|\mathbf{B}) &= \frac{p_0}{\varepsilon_3 R_{MM_0}^3}(r\cos\theta - r_0) + \\ &+ \frac{1}{\varepsilon_3}\sum_{l=1}^{\infty} l(l+1)\mathbf{p}_0[\vec{\varepsilon}_2(\omega|\mathbf{B}) - \varepsilon_3\vec{\mathbf{I}}]\vec{\varepsilon}_l^{-1}(\omega|\mathbf{B})\mathbf{r}\frac{R_2^{2l+1}}{r_0^{l+2}r^{l+2}}P_l(\cos\theta), \qquad r > R_2.\end{aligned} \tag{2}$$

где $\boldsymbol{\varepsilon}_l^{-1}(\omega|\mathbf{B})$ тензор, обратный тензору $l\boldsymbol{\varepsilon}_2(\omega|\mathbf{B}) + (l+1)\varepsilon_3\mathbf{I}$, $P_l(\xi)$ - полином Лежандра степени l.

Поле с потенциалом $\delta\varphi_3(r,\theta;r_0|\mathbf{B})$ (2) диссипирует на малой НЧ в результате безызлучательного переноса энергии экситона КТ вблизи большой НЧ-рефлектора к малой частице-акцептору. Предполагается, что малая металлическая наночастица радиуса $R_A << R_2$, не искажает существенно поля, определяемого потенциалом $\delta\varphi_3(r,\theta)$. Тогда скорость диссипации энергии на частоте ω в малой сферической наночастице радиуса R_A с удельной поляризуемостью $\alpha_A(\omega)$, расположенной в точке (r,θ) от центра НЧ-рефлектора ($НЧ_2$) имеет вид

$$U_A(r,\theta|\mathbf{B}) = \frac{2}{3}\frac{\pi R_A^3}{\hbar}\operatorname{Im}\alpha_A(\omega)\left|\vec{\nabla}_{\mathbf{r}}\delta\varphi_3(r,\theta|\mathbf{B})\right|^2, \tag{3}$$

где $-\vec{\nabla}_{\mathbf{r}}\delta\varphi_3(r,\theta|\mathbf{B}) = \mathbf{E}_3(r,\theta)$ – напряженность поля, создаваемого экситон-активированной КТ и поляризованной ею $НЧ_2$ в месте нахождения акцептора. Выражение (3)

Репозиторий КарГУ

справедливо в силу того, что акцептирующая частица (в общем случае – композит) имеет малый радиус R_A, а расстояние r между центром НЧ-ретранслятора и центром наночастицы-акцептора предполагается достаточно большим: $r \gg R_A$. Тогда, в пределах пространственной области, занятой наночастицей-акцептором НЧ$_A$, поле $\mathbf{E}_3(r,\theta)$ можно приближенно считать однородным, а его искажения при внесении такой частицы – малым.

В случае безызлучательной передачи энергии от КТ к большой наночастице необходимо учитывать неоднородность поля, и скорость $U(\omega|\mathbf{B},r_0)$ диссипации может быть представлена интегралом от мнимой части квадратичной формы вектора напряженности локального поля $-\vec{\nabla}_{\mathbf{r}}\delta\varphi_2(r,\theta|\mathbf{B}) = \mathbf{E}_2(r,\theta;r_0)$ внутри такой НЧ

$$U(\omega|\mathbf{B},r_0) = \frac{1}{2\pi\hbar}\int_0^{R_2}\int_0^{\pi} \mathrm{Im}\ \mathbf{E}_2^*(r,\theta|\omega)\vec{\varepsilon}_2(\omega|\mathbf{B})\mathbf{E}_2(r,\theta|\omega)\sin\theta d\theta\, r^2 dr\,. \qquad (4)$$

Для упрощения расчетов выражение (4) модифицировалось к квазиоднородной форме

$$U(\omega|\mathbf{B},r_0) = \frac{2}{3}\frac{R_2^3}{\hbar}\,\mathrm{Im}\left[\mathbf{E}_2^*(r_0|\omega)\vec{\varepsilon}_2(\omega|\mathbf{B})\mathbf{E}_2(r_0|\omega)\right]. \qquad (5)$$

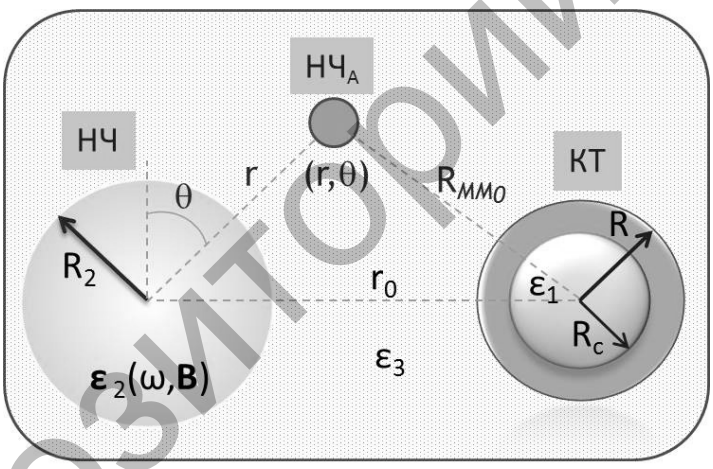


Рисунок 1. Геометрическая конфигурация системы

При расчетах были использованы следующие значения постоянных параметров:
$\theta = \pi/4$, $\omega_p = 13.87\times10^{15}\,\mathrm{c}^{-1}$, $\omega_{pA} = 13.87\times10^{15}\,\mathrm{c}^{-1}$, $\gamma = 1.6\times10^{14}\,\mathrm{c}^{-1}$, $\gamma_A = 2.1\times10^{14}\,\mathrm{c}^{-1}$,
$R_2 = 7$, $R_c = 3$, $R = 4$, $R_A = 2$, $\Delta = 1$, $r_B = 5$ нм, $r_0 = R_2 + 5$ нм, $d_{vc} = 12$ Д, $\varepsilon_1 = \varepsilon_{\mathrm{QD}} = 6, \varepsilon_3 = 2$,
$K = 8\times10^{13}\,\mathrm{c}^{-1}$.

На рис. 2 представлены спектры скорости диссипации энергии поля на акцепторной наночастице для случая, когда обе НЧ состояли из одного и того же металла. Тогда их плазменные частоты и частоты столкновений электронов одинаковы. В этом случае в спектре рис. 2 мультипольные резонансы высших порядков малозаметны на фоне сильно возросшего основного – дипольного резонанса, частота $\omega_{res} \approx 6.2\times10^{15}\,\mathrm{c}^{-1}$ которого едина для обеих НЧ в силу ее независимости от радиуса частицы в теории Ми. При увеличении

Репозиторий КарГУ

расстояния r между акцепторной наночастицей и НЧ-рефлектором скорость диссипации энергии на $НЧ_A$ уменьшается.

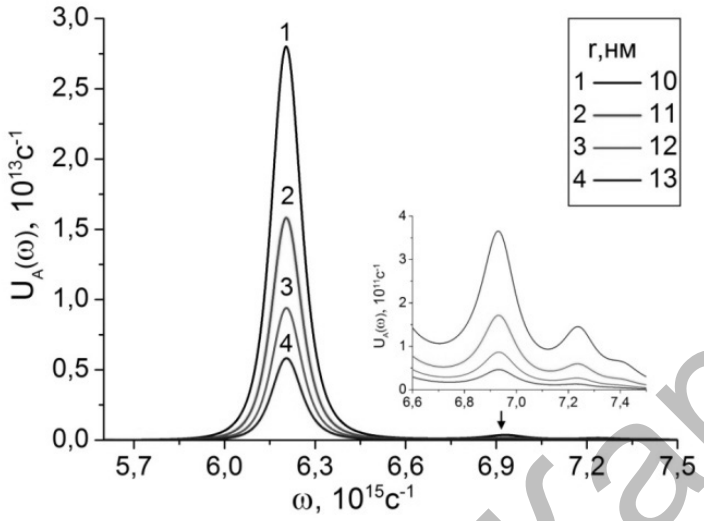


Рисунок 2. Зависимость скорости диссипации энергии акцепторной НЧ от расстояния r. n=4, $r = 10 \div 13$ нм , $\theta = \pi / 4$ - угол, определяющий положение акцепторной $НЧ_A$.

На врезке показана скорость диссипации $U_A(\omega)$ для мультиполей высших порядков. В том же случае, когда металлические наночастицы состоят из разных материалов, в спектрах скорости переноса энергии на $НЧ_A$ наблюдаются две сравнимые по интенсивности полосы, отвечающие плазмонным резонансам на каждой из НЧ. При этом скорость диссипации на $НЧ_A$ уменьшается почти на два порядка по сравнению со случаем рис. 2, и более заметными становятся мультиполи высших порядков (рис. 3).

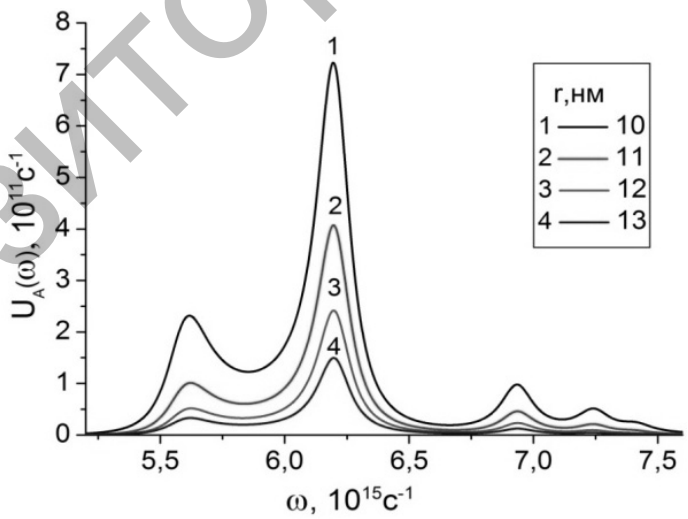


Рисунок 3. Зависимость скорости диссипации энергии акцепторной НЧ от расстояния r в случае наночастиц из разных металлов. $\omega_{pA} = 12.5 \times 10^{15}\ c^{-1}$, $r = 10 \div 13$ нм, $\theta = \pi / 4$, $\gamma_A = 2.1 \times 10^{14}\ c^{-1}$

При этом характер изменения кривых остается таким же, как и в случае с частицами из одинаковых материалов: с увеличением расстояния r скорость $U_A(\omega)$ уменьшается на всех резонансных частотах.

Репозиторий КарГУ

При достаточно больших расстояниях $r = 15 \div 18$ нм, уменьшение скорости диссипации на частотах мультипольных резонансов в абсолютных единицах выражено слабо. При большом расстоянии вклад мультиполей высших порядков в общую скорость диссипации незначителен (рис. 4).

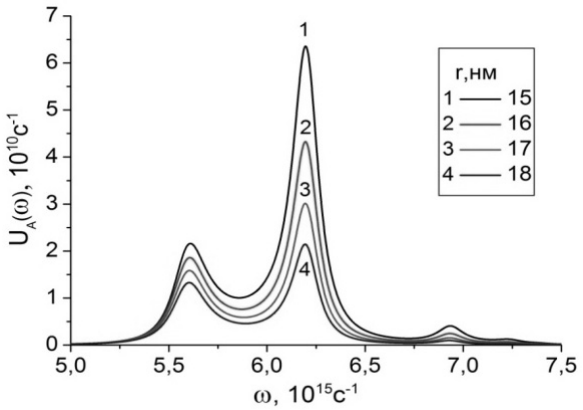


Рисунок 4. Скорость диссипации энергии на акцепторной наночастице при больших расстояниях r. $\omega_{pA} = 12.5\times10^{15}$ с$^{-1}$, $r = 10 \div 13$ нм, $\theta = \pi/4$, $\gamma_A = 2.1\times10^{14}$ с$^{-1}$

Отдельно был рассмотрен случай, когда изменению подвергалось угловое положение акцепторной наночастицы относительно оси кластера НЧ$_2$-КТ (рис. 5).

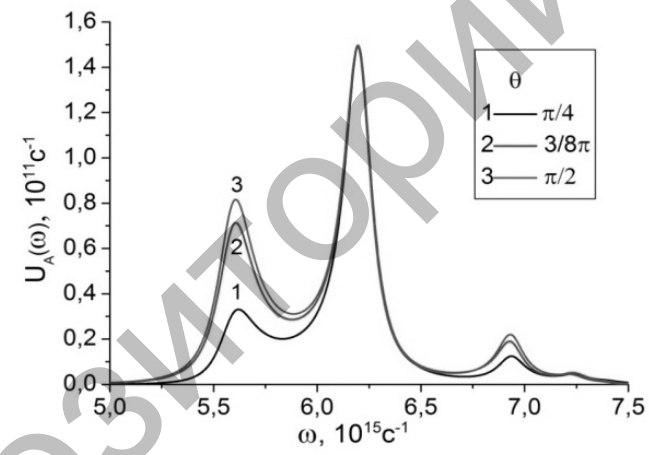
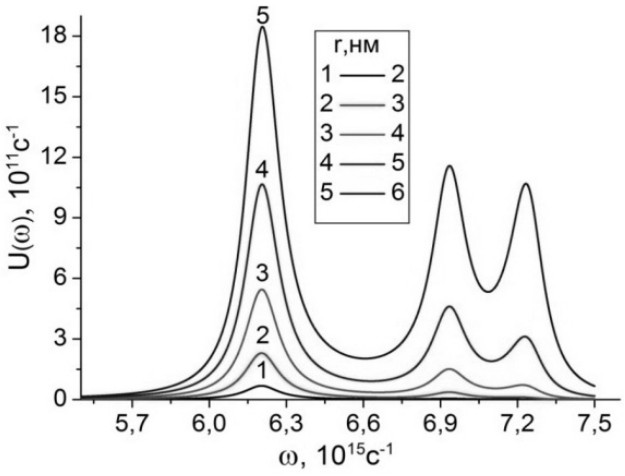


Рисунок 5. Изменение спектров скорости диссипации на НЧ$_A$ в зависимости от угла θ в системе координат, связанной с НЧ$_2$. $\theta = \pi/4 \div \pi/2$, $r = 13$ нм

Из рис. 5 видно, что при изменении угла θ, определяющего положение акцепторной частицы от $\pi/4$ до $\pi/2$, происходит увеличение интенсивности полосы, отвечающей за резонанс акцепторной НЧ$_A$. При этом наблюдается и увеличение амплитуды спектральной полосы, отвечающей за квадрупольный плазмонный резонанс.

На рисунке 6 приведен график локальной скорости диссипации энергии в металлической наночастице НЧ$_2$ (влияние акцепторной наночастицы на этот процесс игнорируется) в зависимости от внутреннего радиуса шарового слоя. Расчет скорости диссипации для этого случая был проведен на основе выражений (4)-(5). Поскольку напряженность поля в НЧ$_2$ зависит от радиуса $r<R_2$, соответствующим образом меняется и локальная скорость диссипации энергии поля в шаровом слое. Чем дальше от центра НЧ$_2$ находится шаровой слой, тем больший вклад в скорость диссипации энергии вносят мультиполи высших порядков.

Репозиторий КарГУ



n=3, $\gamma = 1.6\times10^{14}\ \text{с}^{-1}$, $R_2 = 7$ нм

Рисунок 6. Зависимость скорости диссипации энергии от внутренней координаты в $НЧ_2$.

На рисунке 6 показано, что при радиусе $НЧ_2$ 7 нм, в слое с радиусом 6 нм, квадрупольные и октупольные спектральные резонансы становятся значительно больше по амплитуде, чем они были в слоях меньшего радиуса, и почти сравниваются с дипольным резонансом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научного проекта № 0743-2017-0001 (3.7758.2017/8.9).

Литературы:

1. Kucherenko M.G. and Nalbandyan V.M. Absorption and spontaneous emission of light by molecules near metal nanoparticles in external magnetic field // Physics Procedia. 73. 136-142. (2015) doi: 10.1016/j.phpro.2015.09.134. Published by Elsevier B.V.

2. Агранович В.М., Баско Д.М. Резонансный перенос энергии от полупроводниковой квантовой точки к органической матрице // Письма в ЖЭТФ. 69. -В.3. 232-235. (1999).

3. Briskina C.M., Tarasov A.P., Markushev V.M., Shiryaev M.A. Magnetic field influence on the intensity of ZnO random lasing and exciton luminescence // Journal of Nanophotonics. 2018. Т. 12. № 4. С. 043506.

4. Кучеренко М.Г., Скуратова С.В. Перенос энергии экситон-активированной квантовой точки к нанокомпозитным частицам в стеклах // Университет. комплекс как регион. центр образования, науки и культуры: Матер. всеросс. научно-метод. конфер. Оренбургский гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург: ОГУ, 2016. – С. 1237-1247.

В.М.Юров [1], В.С.Олешко [2], А.В.Федоров [2]

[1] Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан, exciton@list.ru, [2] Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия, ovs_mai@mail.ru

Разработка устройства определения работы выхода электронов

Введение. В современном машиностроении в качестве материалов деталей машин широко применяются многокомпонентные сплавы на основе Al, Fe, Ti, Cu, Ni, Cr, и др. металлов [1].

Репозиторий КарГУ

Поверхность является важнейшей составляющей металлических деталей и необходим контроль ее состояния на всех этапах жизненного цикла детали — при ее производстве, эксплуатации и ремонте.

Поверхностный слой металлических деталей можно рассматривать как часть твердого тела, в которое входят составляющие его молекулы, атомы, протоны, нейтроны, электроны, вакансии, дислокации, и другие составляющие, каждая из которых обладает энергией. На поверхности металла имеются электроны проводимости, находящиеся в постоянном беспорядочном движении, которые практически не выходят с поверхности металла в вакуум при комнатной температуре, что объясняется увеличением потенциальной энергии электрона при удалении его от поверхности металла. Некоторые электроны постоянно покидают поверхность металла, а затем снова возвращаются, поскольку их потенциальной энергии недостаточно для преодоления некоего потенциального барьера. В результате металл оказывается окруженным электронным облаком, в котором действуют силы, направленные внутрь металла. И чтобы электрон покинул металл, необходимо совершить работу против этих сил, называемую работой выхода электронов (РВЭ). Одним из методов определения РВЭ является метод измерения контактной разности потенциалов (КРП).

Теория КРП непосредственно связана с зонной теорией твердого тела. Если рассмотреть контакт двух металлов с разной работой выхода, можно заметить, что при контакте электроны с более высоких уровней первого металла (с меньшей РВЭ) будут занимать более низкие уровни второго (с большей РВЭ), следовательно, первый металл зарядится положительно, а второй отрицательно. Одновременно происходит смещение энергетических уровней, поскольку уровни Ферми металлов совпадают, а работы выхода остались неизменными, потенциальная энергия в точках вне этих металлов будет различной. В результате между этими двумя точками устанавливается разность потенциалов.

Измерение КРП необходимо для оценки энергетического состояния поверхности металла. Знание энергетического состояния поверхности металлических деталей важно, например, при нанесении защитных покрытий, склеивании, пайке, сварке и при других технологических операциях.

Материалы и методы. Для проведения достоверного неразрушающего контроля металлических деталей необходимы специально разработанные для этого средства и методика его применения.

Измерительный электрод (ИЭ) датчика прибора измерения КРП и поверхность контролируемой металлической детали образуют конденсатор (ДК), между обкладками которого и возникает КРП. Датчик прибора является, своего рода, посредником между КРП и измерительной схемой.

К емкостным датчикам предъявляются следующие функциональные требования:

1. Простая для анализа форма зависимости между входной и выходной характеристиками, желательно линейная.

2. Достаточная чувствительность. Проведенные нами исследования показали, что ввиду энергетической неоднородности поверхности металлических деталей машин, необходимо обеспечить чувствительность прибора измерения КРП 1 мВ.

3. Стабильность характеристик, наименьшее влияние параметров окружающей среды (влажности, температуры, атмосферного давления, электромагнитных полей, радиации и др.). В целях выполнения данного требования необходимо использовать экранирование датчика от паразитных наводок и в качестве материала ИЭ использовать металл, имеющий стабильные во времени характеристики. Чаще всего разработчики приборов измерения КРП использовали Au, Ni или Cu [2–7].

4. Малое время измерения КРП.

5. Простота монтажа и эксплуатации.

6. Ремонтопригодность.

Репозиторий КарГУ

7. Малая стоимость.

Указанные свойства необходимо добиваться при создании прибора измерения КРП.

Преимуществами способа ДК метода КРП являются:

- конденсатор можно изготовить с высокой точностью;
- конденсатор обладает малыми потерями (прохождение электрического тока через емкостное сопротивление не сопровождается потерями тепла) и высоким коэффициентом полезного действия;
- малое влияние электрических сил на механические детали конденсатора;
- форму датчика конденсаторного типа можно приспособить к различной форме поверхности КО.

Недостатком конденсаторных способов измерения физических величин считаются малые значения емкости. Поэтому необходимо использовать усилители мощности электрического сигнала, либо высокочастотные колебания пластин конденсатора, что не всегда обеспечивает стабильность показаний измерительного прибора. Кроме того, погрешность измерений КРП могут увеличивать электромагнитные наводки, возникающие в цепи в результате удаленного расположения от ИЭ усилителя сигнала [8]. Поэтому предварительный усилитель сигнала целесообразно располагать непосредственно в датчике прибора измерения КРП.

Результаты. Качество конденсатора при переменном электрическом токе (что имеет место при ДК) лучше всего характеризует постоянная времени (произведение емкости и параллельного сопротивления) $Q_в$ [8]:

$$Q_в=\omega\cdot R\cdot C=\omega\cdot T, \quad (1)$$

где $\omega=2\pi F$ — круговая частота переменного тока, рад/с; F — частота переменного электрического тока, Гц; $R=\dfrac{0,16}{F\cdot C}$ — сопротивление, Ом; C — емкость конденсатора, Ф; T — период, с.

Сопротивление R при высокой круговой частоте ω определяется не только изоляцией, но и включает в себя и другие потери, например, потери на диэлектрический гистерезис, и поэтому согласно формуле (1) возрастает пропорционально круговой частоте ω [8].

Вибрирующий ИЭ датчика, реализующего принцип ДК, включенный в цепь переменного тока, обладает сопротивлением R тем меньшим, чем больше частота F переменного тока согласно формуле (1) [8].

Емкость конденсатора, обкладки которого образуют контролируемая деталь и ИЭ, зависит от их формы (мы выбрали плоский ИЭ), площади перекрытия, диэлектрической проницаемости (в нашем случае это воздух) и расстояния между его обкладками [8].

При образовании ИЭ и контролируемой металлической деталью конденсатора, обкладками которого они являются, заряд конденсатора Q можно, определить на основе следующей формулы [9]:

$$Q=C\cdot U=\frac{\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot S\cdot U}{d},$$

где $\varepsilon_0\approx 8,8542\cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума); ε — относительная диэлектрическая проницаемость, для сухого воздуха $\varepsilon\approx 1,0006$; S — площадь ИЭ, м^2; U — напряжение на конденсаторе; d — зазор между ИЭ и КО, м.

В случае же ДК, обкладками которого являются вибрирующий с частотой ω ИЭ и поверхность КО, то емкость $C_{дин}$ будет изменяться по закону [9]:

Репозиторий КарГУ

$$C_{\text{дин}}(t) = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d_0 + d_1 \cdot \sin(\omega \cdot t)} = C \cdot \frac{1}{1 + m \cdot \sin(\omega \cdot t)},$$

где d_0 — среднее расстояние между ИЭ и поверхностью контролируемой металлической детали; d_1 — амплитуда вибрации ИЭ; t — время; $m=d_1/d_0$ — коэффициент модуляции ДК.

При этом в цепи будет возникать электрический ток $I(t)$ [121]:

$$I(t) = U \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = -\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S \cdot U \cdot \frac{d_1 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)}{d_0 + d_1 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}.$$

Датчики приборов измерения КРП методом ДК подвержены воздействию различного рода факторов, снижающих чувствительность и достоверность данного метода — собственные шумы, наводки от электромагнитных полей, паразитные емкости связи и др. [9]. Это требует тщательного экранирования, применение других конструктивно-схемных решений в построении датчиков приборов.

Разработанный нами способ измерения КРП имеет особенности:

- контактная разность потенциалов измеряется цифровым осциллографом, регистрирующим напряжение и частоту периодически изменяющейся КРП между контролируемой деталью и ИЭ датчика прибора;
- экранирование элементов датчика и проводов;
- усиление регистрируемой КРП и фильтрацию паразитных сигналов;
- подготовка поверхностей детали и датчика к измерению КРП.

В качестве регистратора КРП нами был выбран портативный цифровой осциллограф Micsig TO1104 планшетного типа, имеющий чувствительность измерения электрического напряжения 0,5 мВ.

Датчик, подключаемый к осциллографу авторы разработали сами. Основную часть конструкции датчика прибора измерения КРП составляет электронная схема, которая позволяет контактирующему с металлической деталью ИЭ датчика работать в автоколебательном режиме. Кроме того, в состав датчика входит предварительный усилитель сигнала.

Комплекс измерения КРП, разработанный авторами, представлен на рисунке 1. Принципиальная схема датчика представлена на рисунке 2. Корпус датчика (рисунок 3) спроектирован в программе *SolidWorks* и напечатан на 3Д-принтере *Picaso3D Designer*.

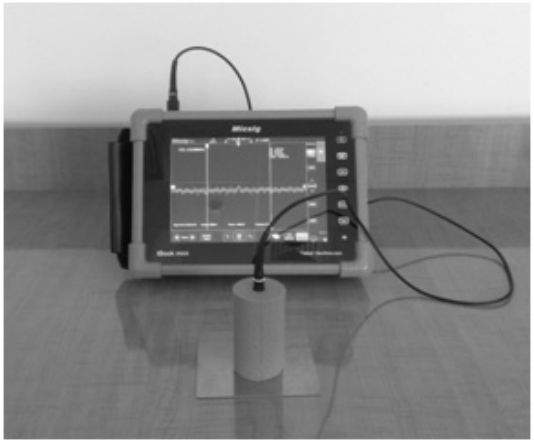


Рисунок 1 — Комплекс измерения контактной разности потенциалов металлических деталей

Репозиторий КарГУ

Корпус датчика разработан так, что обеспечивает зазор между ИЭ и КО, равный 0,5 мм в состоянии покоя ИЭ. Указанные конструктивные особенности датчика позволяют выполнять надежное измерение КРП металлов. Авторы продолжают совершенствование конструкции датчика комплекса измерения КРП металлических деталей машин.

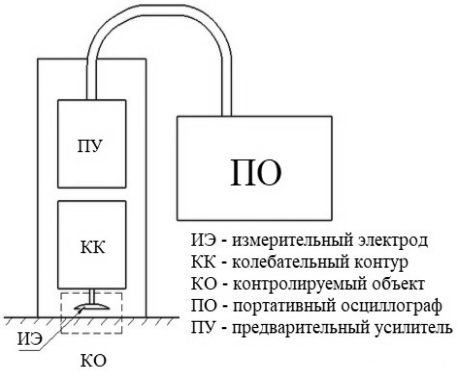


Рисунок 2 — Принципиальная схема датчика

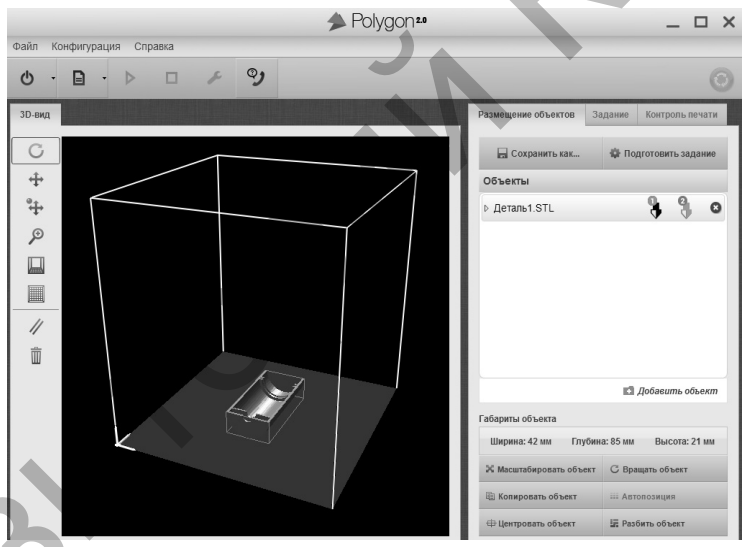


Рисунок 3 — Polygon 2.0: программа-оператор 3Д-принтера Picaso3D Designer

Заключение. Разработанный авторами переносной комплекс измерения КРП на основе портативного цифрового осциллографа позволяет выполнять в непрерывном режиме неразрушающий контроль поверхности металлических деталей в процессе их производства, эксплуатации или ремонта. Дальнейшая наша работа будет заключаться в разработке методики измерения КРП на поверхности деталей машин [13–15].

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК. Гранты №0118РК000063 и №Ф.0781.

Литературы:

1. Бецофен С.Я., Осинцев О.Е., Князев М.И., Долгова М.И., Кабанова Ю.А. Количественный фазовый анализ сплавов системы Al-Cu-Li-Mg // Вестник Московского авиационного института. 2016. Том 23. № 4. С. 181–188.

2. Мусохранов М.В. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя направляющих элементов машиностроения. Дисс. … к.т.н. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 138 с.

Репозиторий КарГУ

3. Жарин А.Л. Метод контактной разности потенциалов и его применение в трибологии. Минск: Бестпринт, 1996. 240 с.

4. Кочаров Э.А. Физические методы в контроле материалов и разработке наукоемких технологий. — М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 477 с.

5. Крячко В.В., Левин М.Н., Татаринцев А.В., [и др.]. Бесконтактный метод исследования зарядового состояния границы раздела полупроводник−диэлектрик // Журнал технической физики. 2004. Том 74. Выпуск 10. С. 128–133.

6. Лоскутов С.В. Закономерности формирования энергетического рельефа металлической поверхности // Вісник Запорізького державного ун-ту. 1999. № 1. С. 138–142.

7. Петров Л.М., Плихунов В.В. Определение энергетического состояния поверхности конструкционных металлических материалов после технологических воздействий // Авиационная промышленность. 2012. № 1. С. 22–26.

8. Форейт И. Емкостные датчики неэлектрических величин. Перевод с чешск. В.И. Дмитриева. Библиотека по автоматике. Выпуск 213. М.-Л.: Энергия, 1966. 160 с.

9. Тявловский А.К., Жарин А.Л. Анализ метода измерения поверхностного потенциала диэлектриков по схеме токовой компенсации // Приборы и методы измерений. 2011. № 2 (3). С. 136–144.

10. Компанеец И.В., Комолов В.М., Шкилько А.М. Оценка чувствительности измерителя контактной разности потенциалов // Вестник НТУ «ХПИ»: Серия «Новые решения в современных технологиях». 2010. № 46. С. 89–94.

11. Илюкович А.М. Техника электрометрии. М.: Энергия, 1976. 400 с.

12. Пантелеев К.В. Методы и средства измерения контактной разности потенциалов на основе анализа компенсационной зависимости зонда Кельвина. Автореф. дисс. … к.т.н. Минск: Белорусский нац. техн. ун-т, 2016. 26 с.

13. Олешко В.С., Юров В.М. Флуктуация контактной разности потенциалов при определении работы выхода электронов из конструкционных материалов ионизационным способом // 10-я Междунар. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент». Алматы: КазНУ им. Аль-Фараби. С. 165–169.

14. Олешко В.С., Гученко С.А., Юров В.М. Определение величины поверхностной энергии твердых металлов // Материалы XIV Межд. науч. конф. «Физика твердого тела, функциональные материалы и новые технологии» (ФТТ-2018), посвященной 80-летию проф. Т.А. Кукетаева, Бишкек-Караганда, 2018. – С. 124-128.

15. Yurov V.M., Oleshko V.S. The impact of the environment on the contact potential difference of metal machine parts // Eurasian Physical Technical Journal, 2019. Vol. 16. № 1 (31). С. 99-108.

В.С.Олешко [1], В.М.Юров [2]

[1] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия, ovs_mai@mail.ru, [2] Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан, exciton@list.ru

Работа выхода электронов и толщина поверхностного слоя металлов и сплавов

Введение. Важнейшей характеристикой металлов является работа выхода электронов (РВЭ). По РВЭ судят о многих физико-химических характеристиках металлических деталей. Так в работах [1, 2] разработанный нами способ позволяет оперативно определять величину поверхностной энергии (ПЭ) металлических деталей и может применяться в процессе производства, эксплуатации и ремонта авиационной техники (АТ). Определение ПЭ мы предлагаем проводить по следующему, разработанному нами алгоритму:

1. Определение РВЭ измерительного электрода $\varphi_{иэ}$ прибора измерения контактной разности потенциалов (КРП) (для измерительного электрода разработанного нами прибора, напомним, $\varphi_{иэ}=7{,}21\cdot10^{-19}$ Дж).

Репозиторий КарГУ

2. Определение относительно твердости по шкале Мооса $H_ц$ по справочнику, экспериментально или расчетом по формуле.

3. Подготовка поверхности контролируемой детали к измерению .

4. Измерение КРП на поверхности контролируемой детали.

5. Расчет ПЭ контролируемой детали.

Разработанный нами способ позволяет оперативно определять ПЭ не только авиационных металлических деталей, но применяться и в других отраслях науки и техники. А метод КРП определения РВЭ, являющейся универсальным параметром, отображающим энергетические состояния твердых тел, в том числе и неравновесные, является перспективным методом неразрушающего контроля.

В работах [3-5] проведены экспериментальные исследования, включающие измерения контактной разности потенциалов на образцах из Al, Ti и Ni способом Кельвина-Зисмана при различных: температуре, давлении и относительной влажности воздуха, а также в неравновесных и равновесных условиях окружающей среды. Полученные результаты экспериментальных исследований показали прямое влияние изменение температуры окружающей среды на контактную разность потенциалов и работу выхода электронов металлических образцов, имеющее среднюю корреляционную зависимость.

Обнаружено, что атмосферное давление и относительная влажность воздуха оказывает слабое влияние на КРП и РВЭ исследуемых металлов, их влиянием можно пренебречь. Исследовано влияние на КРП и РВЭ металлических образцов равновесных и неравновесных параметров окружающей среды.

В настоящей работе мы продолжим исследование работа выхода электронов (РВЭ), сравнив ее с толщиной поверхностного слоя металлов.

Описание модели. В работе [6] обобщена, предложенная нами, модель поверхностного слоя атомарно-гладких металлов. Поверхностный слой атомарно-гладкого металла состоит из двух слоев – d(I) и d(II). Слой толщиной h=d назван слоем (I), а слой при h≈10d – слоем (II) атомарно-гладкого кристалла. При h≈10d начинает проявляться размерная зависимость физических свойств материала. Для определения толщины поверхностного слоя различных соединений нами использовалась размерная зависимость некоторого физического свойства A(r) [6]:

$$\begin{aligned} A(r) &= A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{r}\right), \quad r >> d \\ A(r) &= A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{d+r}\right), \quad r \le d. \end{aligned}, \tag{1}$$

Параметр d связан с поверхностным натяжением σ формулой [6]:

$$d = \frac{2\sigma\upsilon}{RT}, \tag{2}$$

Здесь σ–поверхностное натяжение массивного образца; υ–объем одного моля; R–газовая постоянная; T–температура. В работе [6] было показано, что с большой точностью выполняется соотношение:

$$\sigma = 0.7 \cdot 10^{-3} \cdot T_m, . \tag{3}$$

Репозиторий КарГУ

где T_m – температура плавления твердого тела (К). Соотношение выполняется для всех металлов и для других кристаллических соединений. Если его подставить в (2), то при $T = T_m$ получим:

$$d(I) = 0.17 \cdot 10^{-6} \upsilon . \quad (4)$$

Уравнение (4) показывает, что толщина поверхностного слоя d(I) определяется одним фундаментальным параметром – молярным (атомным) объемом элемента ($\upsilon = M/\rho$, M – молярная масс (г/моль), ρ – плотность (г/см^3)), который периодически изменяется в соответствие с таблицей Д.И. Менделеева.

Результаты расчета и их обсуждение. В табл. 1 показаны результаты расчета d по формуле (4) и значения φ из работы [7].

Таблица 1 - Работа выхода электронов φ и толщина поверхностного слоя металлов d

Металл	x10^{-19} φ, Дж	d, нм	Металл	x10^{-19} φ, Дж	d, нм
Li	3,81	2.2	Zr	6,24	2.2
Be	6,28	1.8	Ni	7,21	1.1
Na	3,76	4.5	Nb	6,39	1.3
Mg	5,83	2.4	Mo	6,89	1.8
K	3,55	7.7	Ag	6,89	1.7
Al	6,81	1.6	Cd	6,56	3.4
Ti	6,33	1.7	Ta	6,60	4.7
V	6,60	1.7	Sn	7,02	2.8
Cr	7,34	1.2	W	7,27	1.6
Cu	7,05	1.2	Re	8,00	1.5
Zn	6,79	1.6	Pt	8,52	1.6
Fe	6,91	1.2	Au	6,89	1.7
Co	7,06	1.1	Pb	6,41	3.1

Уравнение (4) показывает, что толщина поверхностного слоя d атомарно гладкого твердого тела определяется одним параметром – атомным объемом элемента, изменяющемуся в соответствии с периодическим законом Менделеева Д.И. (рис. 1).

Уравнение (2) показывает, что между поверхностным натяжением σ и толщиной поверхностного слоя d существует линейная связь, и она изменяется в соответствии с периодическим законом Менделеева Д.И. (рис. 1).

По мнению С.Н. Задумкина, основным недостатком имеющихся расчетов поверхностного натяжения металлов, на его взгляд, является то обстоятельство, что число свободных электронов Z на атом металла, входящее в теоретически полученные формулы, берется авторами до известной степени произвольно. Одни из них принимают за Z максимальную валентность атома, другие - среднее значение химической валентности, третьи - один свободный электрон на атом металла и т. п.

Подобная связь была обнаружена еще в 1957 году С.Н. Задумкиным [8]:

$$\sigma_1 = \alpha \frac{\rho}{M}, \quad (5)$$

где ρ - плотность, M - атомная масса, α - коэффициент, равный 7,87·10^{-3} мДж/м^2.

Репозиторий КарГУ

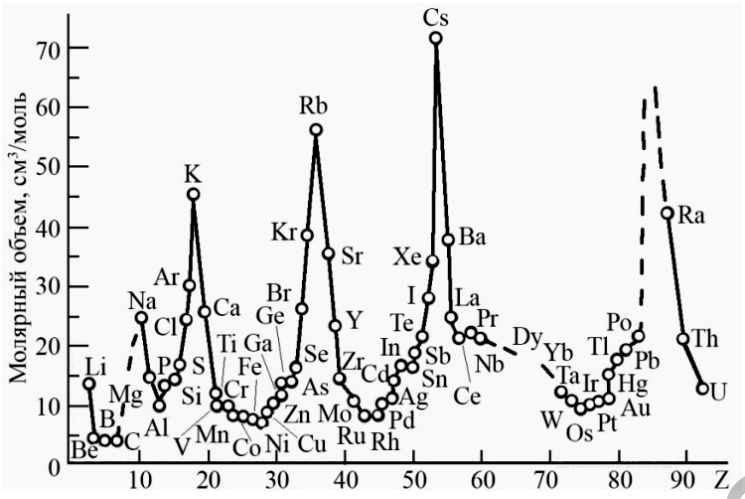


Рисунок 1 – Периодическое изменение атомного объема элементов

Однако такая важная характеристика металла, какой является число Z, должна определяться прежде всего на основании опыта. Приняв полярную модель, С.Н. Задумкин получил уравнение (5). Из работы [8] следует, что вычисленные значения σ, несмотря на грубость принятой модели металла и приближенность всего расчета, хорошо согласуются с наиболее достоверными экспериментальными данными, особенно для РЬ, для которого экспериментальное значение σ известно достаточно точно. В большинстве остальных случаев отклонение σ от эксперимента составляет не более 5%, и лишь для Си, Fe и других; оно равно 10-20%.

Уравнение (2) перепишем в виде:

$$\sigma = \frac{dRT}{2\vartheta} = \alpha\frac{\rho}{M} = \frac{\alpha}{\vartheta}, \tag{6}$$

из которого видно совпадение двух величин (2) и (6). Но формула С.Н. Задумкина дает заниженный результат и не содержит зависимости от температуры.

Еще известна формула Л.Л. Кунина [9]:

$$\sigma_2 = 444{,}5\frac{\varphi}{R^2}, \tag{7}$$

где φ - работа выхода электронов, R - атомный радиус.

Если атомный объем определить как сферически симметричной системой $\vartheta = R^3$, то:

$$\sigma_2 = 444{,}5\frac{\varphi \cdot R}{\vartheta}, \tag{8}$$

Действительно, на практике имеет место хождение различных радиусов (R), таких как ван-дер-ваальсовы, кинетические, орбитальные, ковалентные и др. [10]. Аналогичная неопределенность в выборе оптимального радиуса характерна и для других атомов таблицы Менделеева. Сложилась парадоксальная ситуация, когда для описания простейшей сферически симметричной системы, какой является атом, понадобилось такое обилие разношерстных радиусов [11]. Поэтому мы наблюдаем разницу в определениях

Репозиторий КарГУ

поверхностного натяжения σ, работы выхода электронов φ и толщины поверхностного слоя металлов d, связанной, видимо, с атомным объемом.

В работе [11] сделан вывод: «В отличие от сложившихся в квантовой механике представлений о неопределенности размеров атомов и их размытых границах, в настоящей работе показано, что объем атома точно задан и характеризуется «абсолютным» радиусом, который можно определить на основании данных измерения поляризуемости атомов».

Рассмотрим теперь работу [12], в которой представлены обобщенные данные значений работы выхода электрона поликристаллических металлов и их карбидов.

Таблица 2 – Температура плавления T, поверхностное натяжение σ, работа выхода электронов φ и толщина поверхностного слоя металлов d

Металл	T_m, K	σ, Дж/м^2	d(I), нм	φ, эВ
Nb	2743	1.920	1.3	3.99
NbC	4173	2,920	2.3	3.58
Mo	2893	2.025	1.8	4.30
MoC	2973	2.081	2.1	3.80
Ta	3273	2.291	4.7	4.12
TaC	4153	2.907	2.3	3.70
W	3683	2.587	1.6	4.54
WC	3053	2.137	2.1	3.60
Ti	1943	1.360	1.8	3.95
TiC	3683	2.576	2.1	3.85
Zr	2125	1.488	2.4	3.90
ZrC	3903	2.732	2.6	3.80

Здесь значения РВЭ приведены в единицах эВ. Видно, что меньшим значениям поверхностного слоя металлов соответствуют большие значения РВЭ. Это и понятно, так как речь идет об эмиссии электронов. Рассмотрим данные, в которой представлены оксиды.

Таблица 3 – Температура плавления T, поверхностное натяжение σ, работа выхода электронов φ и толщина поверхностного слоя металлов d оксидов металлов

Металл	T_m, K	σ, Дж/м^2	d(I), нм	φ, эВ
SiO_2	1983	1,388	3,9	4,1
MgO	3098	2,169	1,9	3,8
BeO	2803	1,962	1,4	4,5
Al_2O_3	2317	1,622	4,3	3,6
TiO_2	2116	1,481	3,3	4,1
CaO	2843	1,990	2,8	4,35
CdO	1723	1,206	2,7	4,2
FeO	1650	1,155	2,1	4,7
WO_2	1803	1,262	3,0	4,65
Cu_2O	1515	1,061	4,0	4,1
La_2O_3	2593	1,815	8,4	2,2
Mg_2SiO_4	1823	1,276	7,2	4,1

Из табл. 3 следует, что РВЭ оксидов незначительно отличается от чистых металлов и от карбидов. Толщина поверхностного слоя металлов d оксидов металлов превышает только для La_2O_3 и Mg_2SiO_4, имеющих большую массу и небольшую плотность ($d=0{,}17\upsilon=0{,}17\ M/\rho$).

Табл. 2 и 3 показывают неплохое сходство между значениями, выраженными в нанометрах (нм) и электрон-вольтах (эВ). Это значит, что толщина поверхностного слоя металлов d соответствует потенциальному барьеру, необходимого для эмиссии электрона.

Уравнения (2), (5) и (6) отличаются лишь некоторыми параметрами, но со существу речь идет о поверхностной энергии.

Репозиторий КарГУ

Величина РВЭ связана напрямую с физико-химическими и механическими свойствами вещества в конденсированном состоянии. Изменение физико-химических и механических параметров поверхности твердого тела должно вызывать соответствующее изменение РВЭ и соответствующее изменение толщины поверхностного слоя металлов d. При h≈10d начинает проявляться размерная зависимость физических свойств материала и мы попадаем в наноструктурную область (h ≈ 100 нм).

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК. Гранты №0118РК000063 и №Ф.0781.

Литературы:

1. Олешко В.С., Самойленко В.М. Применение прибора измерения контактной разности потенциалов «Поверхность-11» в неразрушающем контроле деталей машин // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. — 2011. — № 2. — С. 3–6.

2. Олешко В.С., Пиговкин И.С. Оперативное определение поверхностной энергии металлических деталей авиационной техники // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2016. Том 8. №3. – С. 1-15.

3. Олешко В.С., Юров В.М. Флуктуация контактной разности потенциалов при определении работы выхода электронов из конструкционных материалов ионизационным способом // 10-я Междунар. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент». Казахстан. Алматы. 16–18 июня 2017. — Алматы: КазНУ им. Аль-Фараби. — С. 165–169.

4. Олешко В.С., Гученко С.А., Юров В.М. Определение величины поверхностной энергии твердых металлов // Материалы XIV Межд. науч. конфер. «Физика твердого тела, функциональные материалы и новые технологии» (ФТТ-2018), посвященной 80-летию проф. Т.А. Кукетаева, Бишкек-Караганда, 2018. – С. 124-128.

5. Yurov V.M., Oleshko V.S. The impact of the environment on the contact potential difference of metal machine parts // Eurasian Phys. Tech. J. 2019. Vol.16. №1(31). - С. 99-108.

6. Юров В.М., Гученко С.А., Лауринас В.Ч. Толщина поверхностного слоя, поверхностная энергия и атомный объем элемента // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2018. Вып. 10. – С. 691-699.

7. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов. - М.: Киев: Наукова думка. 1981. - 339 с.

8. Задумкин С.Н. Приближенный расчет поверхностного натяжения металлов // Докл. АН СССР. 1957. Том 112. № 3. - С. 453–456.

9. Кунин Л.Л. Поверхностные явления в металлах. М.: Металлургия. 1955. - 304 с.

10. Потапов А.А. Деформационная поляризация: поиск оптимальных моделей. Новосибирск: Наука, 2004. – 511 с/

11. Потапов А.А. Абсолютный радиус многоэлектронных атомов по данным их полязируемостей // Электронный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ». http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/048.pdf.

12. Арзамасов В.Б., Смирнова Э.Е. и др. Термоэмиссионные свойства сплавов на основе тугоплавких металлов // Известия МГТУ «МАМИ». № 2(6). 2008. – С. 105-107.

Г.С. Омарова

Институт молекулярной нанофотоники, Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда, Республика Казахстан, E-mail: guldenserikovna@mail.ru

Влияние размера наночастиц серебра на спектрально-люминесцентные свойства родамина 6ж

В настоящее время активно ведутся исследования, связанные с возбуждением локализованного плазмонного резонанса (ЛПР) НЧ металлов. Молекулы органических

Репозиторий КарГУ

красителей, помещенные вблизи поверхности наночастиц металлов подвергаются действию локальных электромагнитных полей. При этом, в зависимости от расстояния между наночастицами и молекулами, скорости излучательных и безызлучательных внутримолекулярных электронных переходов либо увеличиваются, либо уменьшаются [1].

Изменение интенсивности флуоресценции при этом определяется, в основном, природой диполь-дипольного взаимодействия между молекулой красителя и наночастицей (НЧ) металла. Например, тушение флуоресценции, как правило, наблюдается тогда, когда полоса поверхностного плазмона металлической НЧ значительно перекрывается с полосой свечения красителя. Это способствует передаче энергии возбуждения от молекулы красителя к наночастице. Для получения метал-усиленной люминесценции требуется выполнение более строгих требований в системе «металлическая НЧ-краситель», которые включают спектральное перекрытие в области возбуждения, пространственное расположение электрических диполей красителя и НЧ, и отсутствие фотоиндуцированного переноса заряда между взаимодействующими компонентами.

Известно, что положением полосы поглощения и частотой ЛПР НЧ металлов можно управлять, изменяя их размер и форму. Например, более крупные НЧ металлов поглощают энергию более длинных волн видимого диапазона спектра [2]. НЧ несферической формы присущи колебания как в продольном, так и в поперечном направлении по отношению к падающей световой волне, что проявляется в виде двух или нескольких полос поглощения НЧ [3].

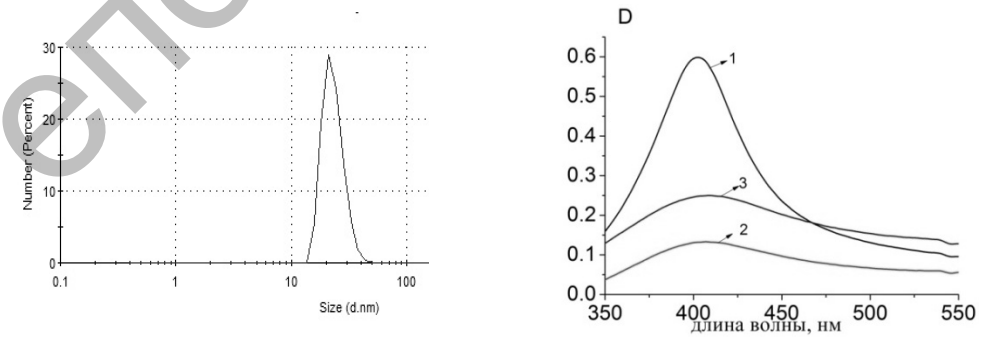
Данные эффекты могут быть использованы в оптических нанотехнологиях при создании сред с заданными свойствами [4, 5], а также легли в основу создания высокочувствительных люминесцентных сенсоров [6], оптоэлектронных устройств [7], нанолазеров [8] и др.

В настоящей работе представлены результаты исследования фотоники Родамина 6Ж в присутствии НЧ серебра различного диаметра.

НЧ Ag в этиловом спирте получены абляцией мишени серебра второй гармоникой твердотельного Nd:YAG лазера по методике [ТЭХ]. Согласно данным, полученным на растровом электронном микроскопе Mira 3MLU (Tescan) они имеют сферическую форму Концентрация НЧ серебра в рабочем растворе составила $C_{Ag} = 5 \cdot 10^{-10}$ моль/л.

Средний диаметр наночастиц был определен методом динамического рассеяния света с помощью анализатора Nanosizer 90S (Malvern) и равен 17,3, 43,2 и 63,2 нм (рисунок 1). Спектры поглощения синтезированных НЧ Ag показаны на рисунке 1.

Из рисунка видно, что максимум спектра поглощения НЧ Ag приходится на 402, 408 и 410 нм, соответственно для диаметров 17,3, 43,2 и 63,2 нм. Максимальная оптическая плотность была получена для растворов серебра с меньшим диаметром наночастиц.



а б

Рисунок 1. (а) Распределение размеров НЧ серебра в этаноле, полученные при $P_{имп}$=9,2Дж; (б) спектры поглощения синтезированных НЧ Ag различного размера, нм: 1 – 17,3; 2 – 42,4; 3 – 63,2

Репозиторий КарГУ

Регистрация спектров поглощения и флуоресценции исследуемых образцов осуществлялась на спектрометре Solar CM2203. Спектры поглощения НЧ Ag были измерены в кювете толщиной 10 мм относительно кюветы с этанолом. При измерении зависимости оптической плотности красителя от концентрации НЧ в кювету сравнения наливались этанольные растворы НЧ серебра соответствующей концентрации.

Спектр поглощения НЧ серебра в этаноле представляет собой широкую полосу с максимумом на 402 нм и хорошо перекрывается со спектрами поглощения и флуоресценции Р6Ж (рис.2, кривые 1-5, $1^{/}$-$5^{/}$), что свидетельствует о выполнении условий плазмонного резонанса.

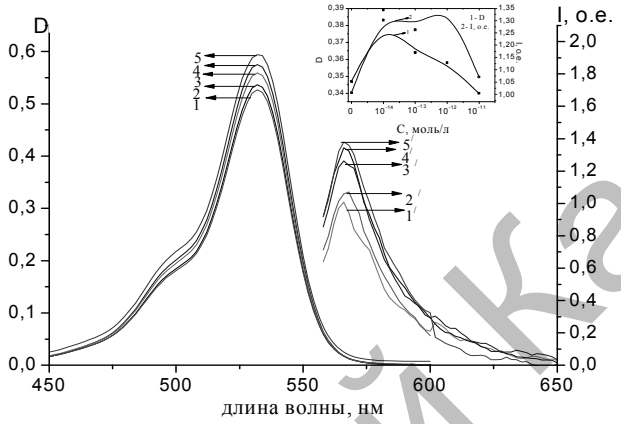


Рисунок 2. Спектры поглощения (1-5) и флуоресценции ($1^{/}$-$5^{/}$) Р6Ж в растворах этанола (с=10^{-5}моль/л) в присутствии НЧ Ag (d=17,3 нм). На вкладке концентрационная зависимость D и $I_{фл}$ красителя от концентрации НЧ Ag

Таблица 1. Спектральные параметры Р6Ж раствора с добавлением НЧ серебра

Концентрация Ag	$^{a}\lambda_{max}$, нм	$\Delta\lambda^{a}_{1/2}$, нм	D	D/D_0	$^{f}\lambda_{max}$, нм	$\Delta\lambda^{f}_{1/2}$, нм	I, o.e.	I/I_0
d=17,3 нм								
0	534	34	0,34	1	566	40	1,007	1
$5\cdot10^{-14}$ моль/л	534	35	0,383	1,104	566	41	1,343	1,33
$5\cdot10^{-13}$ моль/л	534	34	0,364	1,049	566	40	1,263	1,25
$5\cdot10^{-12}$ моль/л	534	34	0,358	1,032	566	42	1,38	0,73
$5\cdot10^{-11}$ моль/л	534	33	0,340	0,98	566	42	1,071	0,94
d=42,4 нм								
0	534	31	0,526	1	566	33	0,848	1
$5\cdot10^{-14}$ моль/л	534	32	0,543	1,032	566	36	0,992	1,17
$5\cdot10^{-13}$ моль/л	534	31	0,566	1,076	566	32	0,923	1,09
$5\cdot10^{-12}$ моль/л	534	31	0,536	1,019	566	33	0,904	1,07
$5\cdot10^{-11}$ моль/л	534	30	0,561	1,067	566	35	0,916	1,08
d=63,2 нм								
0	534	32	0,613	1	566	30	0,995	1
$5\cdot10^{-14}$ моль/л	534	32	0,613	0,979	566	28	1,119	1,12
$5\cdot10^{-13}$ моль/л	534	32	0,694	1,127	566	30	1,153	1,16
$5\cdot10^{-12}$ моль/л	534	32	0,535	0,869	566	28	1,01	1,02
$5\cdot10^{-11}$ моль/л	534	31	0,593	0,963	566	30	1,051	1,06

В этанолном растворе полоса поглощения при концентрации Р6Ж $5\cdot10^{-5}$ моль/л имеет максимум на длине волны $\lambda_{макс}$ = 534 нм и полуширину спектра $\Delta\lambda^{погл}_{1/2}$= 34 нм. При

Репозиторий КарГУ

фотовозбуждении этанольного раствора красителя наблюдается спонтанная флуоресценция с максимумом спектра на длине волны $\lambda_{макс}$=566 нм и полушириной полосы $\Delta\lambda_{1/2}^{погл}$=41 нм.

Измерения показали, что в присутствии НЧ серебра полосы поглощения и флуоресценции красителя не смещаются и не испытывают деформации.

При добавлении НЧ серебра в раствор красителя было зарегистрировано увеличение оптической плотности красителя на 10 % при $C_{Ag} = 5 \cdot 10^{-14}$ моль/л. Также при данной концентрации плазмонных НЧ набюлюдается рост интенсивности флуоресценции красителя в максимуме спектра на 34% (Таблица 1). Дальнейший рост концентрации НЧ Ag приводит к возвращению первоначального значения оптической плотности и тушению флуоресценции красителя. Время жизни красителя при этом практически не изменяется.

При увеличении размера НЧ Ag были получены аналогичные зависимости оптической плотности красителя от концентрации плазмонных НЧ с той лишь разницей, что при размере НЧ, равном 42,4 и 63,2 нм, максимальное увеличение D около 10% было зарегистрировано при $C_{Ag} = 5 \cdot 10^{-13}$ моль/л. Максимальный прирост интенсивности флуореценции красителя для данных плазмонных НЧ уменьшается. Так, $I_{фл}$ красителя выросла на 17 и 16 % для НЧ с диамтером 42,4 и 63,2 нм, соответственно. Как и в предыдущем случае, при концентрации $C_{Ag} = 5 \cdot 10^{-11}$ моль/л флуоресценция красителя почти возвращается к первоначальному значению. Время жизни флуоресценции Родамина 6Ж в присутствии НЧ с диаметром 63.2 нм также практически не изменилось (Рис.3).

Увеличение оптической плотности красителей может быть связано с увеличением сечения поглощения под действием напряженности локального поля вблизи поверхности НЧ металла. С увеличением числа НЧ Ag в растворе эффект усиления поглощения растет и выходит на насыщение. С ростом концентрации плазмонных НЧ может произойти также ослабление напряженности поля, что приводит к падению коэффициента поглощения красителя [9].

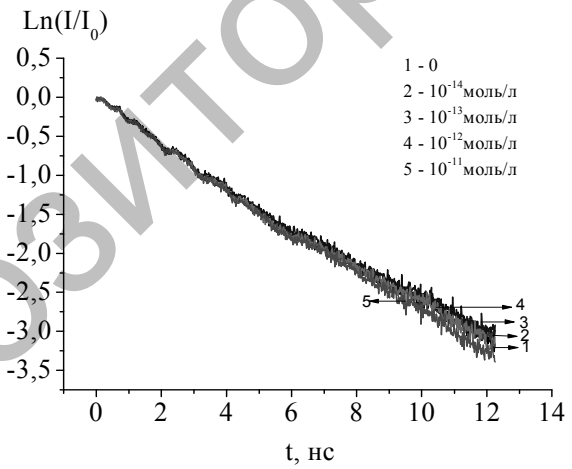


Рисунок 3. Кинетики затухания флуоресценции Р6Ж в растворах этанола (с=$5 \cdot 10^{-5}$моль/л) в присутствии НЧ Ag, d(НЧ)=63,2 нм

Вероятно, что наблюдаемое увеличение интенсивности флуоресценции красителей связано с ростом скорости излучательного перехода молекул красителя из S_1 в S_0 состояние. Отсюда следовало ожидать, что увеличение константы скорости флуоресценции приведет к уменьшению времени жизни возбужденного состояния S_1. Однако, как показали измерения, при разных концентрациях НЧ Ag, $\tau_{фл}$ красителей не изменяется. Такое возможно, если в присутствии НЧ металла, наряду с ростом эффективности излучательного канала распада, происходит уменьшение безызлучательной дезактивации S_1 состояния [10].

Репозиторий КарГУ

Тушение флуоресценции при концентрации около $C_{Ag} = 5*10^{-11}$ моль/л, по-видимому, может быть связано с развитием процесса переноса энергии от возбужденных молекул красителя на НЧ металла [11].

Литературы:

1. T. Klar, M. Perner, S. Grosse, G. von Plessen, W. Spirkl, J. Feldmann / Surface-plasmon resonances in single metallic nanoparticles / Phys. Rev. Lett. 1998, 80, 4249-4252. DOI: 10.1103/PhysRevLett.80.4249

2. M A Garcia. Surface plasmons in metallic nanoparticles: fundamentals and applications. Journal of Physics D: Applied Physics, IOP Publishing, 2011, 44 (28), pp.283001. ff10.1088/0022-3727/44/28/283001ff. ffhal-00633991f

3. https://nanocomposix.com/pages/plasmonics#target

4. P. K. Jain, X.Huang, I. H. El-Sayed, M. A. El-Sayed / Review of some interesting surface plasmon resonance-enhanced properties of noble metal nanoparticles and their applications to biosystems / Plasmonics 2007, 2, 107-118. DOI: 10.1007/s11468-007-9031-1

5. T. Chen, M. Pourmand, A. Feizpour, B. Cushman, B. M. Reinhard / Tailoring plasmon coupling in self-assembled one-dimensional Au nanoparticle chains through simultaneous control of size and gap separation / J. Phys. Chem. Lett. 2013, 4, 2147-2152. DOI:10.1021/jz401066g

6. P. Prasad. Nanophotonics. Wiley; Hoboken, NJ, 2004. 415 p.

7. Wei, H. et al. Cascaded logic gates in nanophotonic plasmon networks. Nat. Commun. 2:387 doi: 10.1038/ncomms1388 (2011).

8. R.F. Oulton et al. Plasmon lasers at deep subwavelength scale // Nature.–2009. –Vol. 461. – P. 629–632.

9. S. Agnihotri, S. Mukherji, S. Mukherji / Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5–100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy / RSC Adv. 2014, 4, 3974-3983. DOI: 10.1039/C3RA44507K

10. W. Haiss, N. T. K. Thanh, J. Aveyard, D. G. Fernig / Determination of size and concentration of gold nanoparticles from UV−Vis spectra / Anal. Chem. 2007, 79, 4215-4221. DOI: 10.1021/ac070208

А.В. Завгородний, К.С. Рожкова
Карагандинский государственный университет им. академика Е.А. Букетова, ул. Университетская 28, Караганда, Казахстан, 100028. ksusharogovaya@mail.ru

Исследование фотоэлектрических характеристик активного слоя P3HT/PCBM при добавлении наноструктур фталоцианина меди

Полимерные солнечные элементы (СЭ) привлекают все большее внимание в качестве компонентов современной гибкой органической электроники в связи с их технологичностью и низкой себестоимостью массового производства [1]. Вследствие своей гибкости, органические СЭ обладают неоспоримо большим количеством преимуществ по сравнению с СЭ из неорганических соединений. Высокие механические свойства полимеров, их способность к переработке, а также высокий коэффициент поглощения в оптическом диапазоне допускает использование их в виде ультратонких (несколько сотен нанометров) пленок, нанесенных из растворов при обычных условиях на гибкие подложки неограниченной площади, что позволяет изготовлять полимерные СЭ используя дешевые методы массового производства, такие как струйная печать и штамповка [2].

В качестве фотоактивного компонента в полимерных СЭ наиболее успешно используются синтезированные в последние годы производные фениленвинилена, тиофена и др. Для повышения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую применяют композитные материалы: смесь материалов с электронной и дырочной проводимостью. Примером такого композитного материала является смесь полупроводникового сопряженного полимера P3HT и производных фуллеренов [60]PCBM,

Репозиторий КарГУ

[70]PCBM в виде объемного гетероперехода, широко применяемого в качестве активных слоев полимерных СЭ. Однако, солнечные элементы на основе смеси тиофен:фуллерен обладают некоторыми недостатками, такими как узкий оптический диапазон поглощения, низкая подвижность носителей заряда, высокая степень деградации на воздухе [3-4].

Кроме того, в настоящее время наблюдается повышенный интерес к органическим полупроводникам в связи со сравнительной простотой технологий производства и низкой их стоимостью. Весьма важно, что использование органических молекул разной конфигурации открывает широкие возможности для модифицирования как электрофизических, так и оптических свойств материала. Среди всего многообразия органических полупроводников большую привлекательность приобрели металлофталоцианины, которые представляют собой обширный класс макрогетероциклических соединений. Это связано с тем, что эти соединения химически и термически стабильны, большинство из них легко образуют упорядоченные тонкие пленки и обладают фотопроводимостью, а также высокой каталитической активностью. Высокая подвижность носителей заряда и эффективность преобразования световой энергии позволяют рассматривать металлофталоцианины в качестве перспективных материалов для фотоэлектрических преобразователей [5-6].

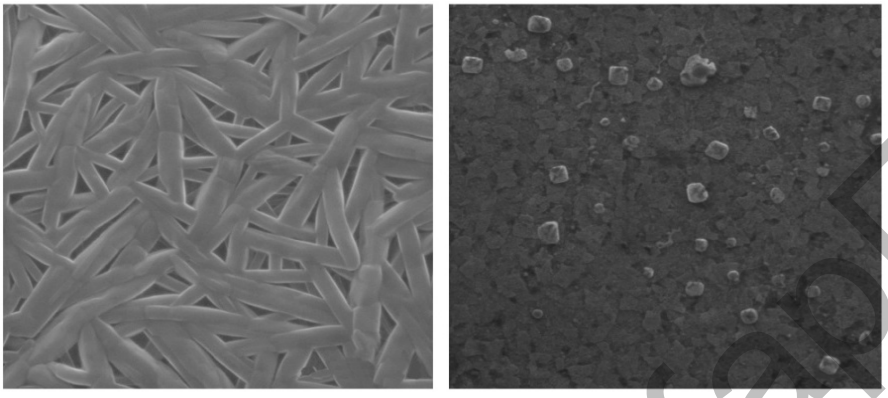
Одним из подходов к увеличению эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую является разработка новых полимерных нанокомпозитов. Путем создания новых полимерных и композитных материалов, включающих наноразмерные структуры и частицы, может быть повышена эффективность преобразования энергии. В таких пленках интеграция органических материалов позволяет создавать гибридные слои, в которых проводимость полимерных материалов совмещается с превосходными оптическими и электрическими свойствами органических наноструктур. Однако, механизмы генерации носителей заряда в таких композитных структурах, влияющих на эффективность работы СЭ, до сих пор являются предметом дискуссии. В настоящей работе представлены результаты исследования генерации и переноса носителей заряда в пленке на основе P3HT/PCBM с использованием в качестве сенсибилизатора наноструктур CuPc.

Подготовка подложек для фоточувствительных ячеек на основе ITO осуществлялась согласно методике [7]. Выращивание нанолент осуществлялось методом физического градиентно-температурного осаждения из паровой фазы (TG-PVD) [8]. Наночастицы CuPc были получены методом лазерной абляции в спирте [9]. Для создания полимерного фотоактивного слоя в 1 мл хлорбензола растворялось 20 мг смеси P3HT/PCBM (Solaris, RR-95%) в весовом соотношении 1:1,08. Раствор выдерживался при температуре 45°C при интенсивном перемешивании на магнитной мешалке с подогревом не менее 24 часов. После этого раствор фильтровался 0,45 микрометровым фильтром. Затем, в раствор полимера P3HT/PCBM добавлялись наночастицы и наноленты CuPc в концентрации 0,5% от массы полимера. Для получения пленок методом «spin coating» при скорости вращения центрифуги 2000 об/мин на поверхность ITO наносились растворы, содержащие полимер P3HT/PCBM, смесь P3HT/PCBM/NPs и смесь P3HT/PCBM/NWs и выдерживались при этой скорости не менее 20 с до полного испарения растворителя. На последнем этапе полученные образцы отжигались в атмосфере хлорбензола при температуре 120°C в течение 30 мин для повышения степени кристаллизации фотоактивного слоя и качества пленки в целом. На поверхность полученных образцов методом термического напыления в вакууме 10^{-5} торр со скоростью 1 нм/с на установке Carl Zeiss Jena HBA 120/2 наносился алюминиевый электрод толщиной равной ~ 150 нм.

Регистрация спектров поглощения исследуемых образцов осуществлялась на спектрофотометре CM2203 (Solar). Измерения ВАХ органической фоточувствительной ячейки проводилось при помощи потенциостата-гальваностата P20X в режиме линейной развертки. Поверхность ячейки освещалась с помощью ксеноновой лампы мощностью 100 мВт/см^2.

Репозиторий КарГУ

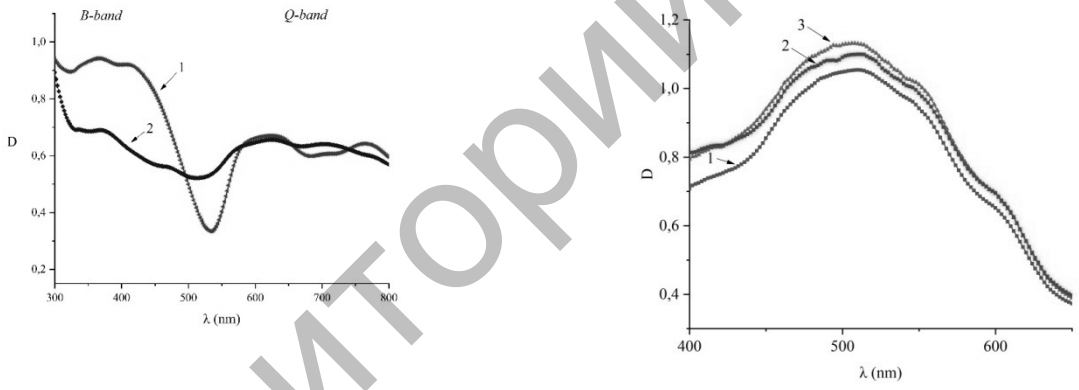
Измерение морфологии поверхности полученных наноструктур (рисунок 1) проводилось на электронном микроскопе MIRA 3 LMU. Средняя высота выращенных нанолент, состоящих из стопок молекул фталоцианина меди составила ~ 137 нм. Средний диаметр одной наноленты составил ~ 4,5 нм. Средний размер наночастиц, полученных методом лазерной абляции, варьируется в диапазоне ~ 70-110 нм.



а) б)

а) наноленты CuPc; б) наночастицы CuPc

Рисунок 1 – СЭМ изображения полученных образцов



(а) (б)

1 – наноленты CuPc; 2 – наночастицы CuPc 1 – P3HT/PCBM; 2 – P3HT/PCBM/NPs; 3 – P3HT/PCBM/NWs

Рисунок 2 – Спектр поглощения Cu-фталоцианина (а) и P3HT/PCBM с добавлением наноструктур CuPc (б)

На рисунке 2 приведены спектры поглощения пленок наноструктур фталоцианина меди. В спектрах поглощения имеются две очень интенсивные полосы в области 300–400 нм (полоса Соре или B-диапазон), которая соответствует смешанным $\pi - \pi^*$ и $n - \pi$ переходам $a_{2u} \rightarrow {}^2e_g$ и $b_{2u} \rightarrow {}^2e_g$, и полоса поглощения в области 650–700 нм (Q-диапазон), которая соответствует $\pi - \pi^*$ переходу $a_{1u} \rightarrow {}^2e_g$ [10]. Характерное расщепление поглощения наноструктур в Q-диапазоне на два пика связано с Давыдовским расщеплением [11]. В спектре наночастиц CuPc (рисунке 2, кривая 2) наблюдается уширение полосы поглощения в области Соре. Полоса поглощения в Q-диапазоне также уширена, кроме этого в спектре поглощения нанолент наблюдается довольно сильное уширение полос поглощения в B и Q диапазонах и батохромный сдвиг максимумов поглощения. Наблюдаемые уширения полос и сдвиг максимума в Q и B-диапазонах в спектрах поглощения наноструктур CuPc связано с тем, что молекулы фталоцинина меди в зависимости от угла между плоскостями молекул в

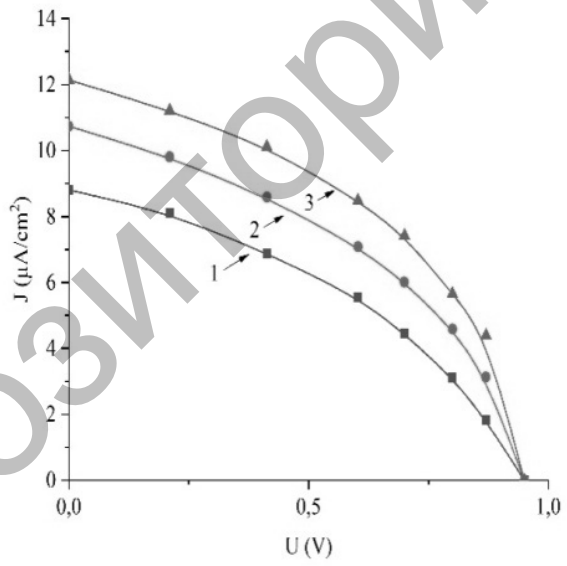
Репозиторий КарГУ

исследуемой структуре могут образовывать одну из трех возможных кристаллических фаз: η-CuPc, α-CuPc, β-CuPc [12-13]. Таким образом, в случае наночастиц молекулы находятся в β-фазе, в нанолентах молекулы образуют η-фазу.

На рисунке 2 (б) приведены спектры поглощения пленки P3HT/PCBM без и с добавками наноструктур CuPc. Как видно из рисунка 2 (б), для спектра поглощения полимера P3HT/PCBM (кривая 1) характерно наличие пиков в спектральной области ~ 510 нм и плеча в области ~ 600 нм, которые обусловлены $\pi - \pi^*$ переходами в цепи сопряжения полимера P3HT. Появление плеча в области ~ 600 нм в спектре поглощения авторы работ связывают с наличием кристаллических областей в структуре пленки, которые образовались после термического отжига полимера [14].

Следует отметить, что в спектре поглощения P3HT без проведения предварительного отжига данное плечо имеет слабую интенсивность. Таким образом, интенсивность данного плеча дает качественный показатель о степени кристаллизации полимера. При добавлении наночастиц CuPc (рисунок 2 (б), кривая 2) спектр поглощения пленки уширяется на 4 нм. В то же время спектр поглощения полимерной пленки с нанолентами CuPc уширяется на 10 нм по сравнению с пленкой полимера P3HT/PCBM.

На рисунке 3 представлена ВАХ ячеек на основе полупроводникового полимера P3HT/PCBM и нанокомпозитов P3HT/PCBM/NPs и P3HT/PCBM/NWs. Значения холостого хода U_{oc}, тока короткого замыкания I_{sc}, фактора заполнения *FF* определяли согласно методике [15]. В таблице 1 приведены параметры фотоэлектрические характеристики полученных фотовольтаических ячеек.



1 – чистый полимер P3HT/PCBM; 2 – P3HT/PCBM/NPs; 3– P3HT/PCBM/NWs
Рисунок 3 – Сравнение вольтамперных характеристик

При внедрении наноструктур CuPc в полимер P3HT/PCBM вследствие спектральной сенсибилизации полимера молекулами CuPc повышается доля поглощения падающего света (рисунок 2(б)) в результате чего образуется большее количество носителей заряда в зоне проводимости полимера. Таким образом, повышается ток короткого замыкания в композитной ячейке.

Репозиторий КарГУ

Таблица 1 – Фотоэлектрические характеристики фотовольтаических ячеек

Образец	U_{oc} (V)	J_{sc} ($\mu A/cm^2$)	U_{max} (V)	J_{max} ($\mu A/cm^2$)	FF
P3HT/PCBM	0,97	8,9	0,59	5,1	0,35
P3HT/PCBM/NPs	0,94	10,7	0,67	7,3	0,48
P3HT/PCBM/NWs	0,94	12,1	0,63	8	0,44

В свою очередь, в полимерной пленке P3HT/PCBM, в силу узкой полосы и низкого значения оптической плотности в спектре поглощения по сравнению с нанокомпозитами эффективность генерации носителей заряда мала, на что указывает низкое значение тока короткого замыкания ВАХ P3HT/PCBM (рисунок 3, кривая 1). Таким образом, проведенные исследования показали, что добавление в пленку P3HT/PCBM наноструктур CuPc приводит к уширению полосы и сдвигу максимумов в спектрах поглощения, а также росту оптической плотности фотоактивного слоя. Значение тока короткого замыкания в композитных ячейках P3HT/PCBM/NPs и P3HT/PCBM/NWs выросло в 1,2 раза и в 1,5 раза соответственно, что обусловлено увеличением оптической плотности фотоактивного слоя и проводимости пленок.

Литературы:

1. T.A. Skotheim, J.R. Reynolds. Handbook of Conducting Polymers. Third Ed. CRC Press, N.Y., V. 1−2 (2007). P. 1949

2. Sean E. Shaheen, David S. Ginley and Ghassan E. Jabbour. Organic-Based Photovoltaics: Toward Low-Cost Power Generation. MRS Bull. Vol. 30, Issue 1, (2005), pp. 10-19.

3. I. Etxebarria, J. Ajuria, R. Pacios. Organic Electr. 19, 34 (2015).

4. B.R. Ilyassov, A.M. Alekseev, N.Kh Ibrayev, T.M. Serikov, A.T. Yedrissov. The study of degradation of organic solar cells. Bulletin of the Karaganda university. Physics Series 2016. – No. 3 (83). – P.27-33.

5. Vidya C., A. Hoskeri Priya, Joseph C.M., Structural and Optical Properties of Vacuum Coated and Annealed Copper Phthalocyanine (CUPC) Thin Films, 4th International Conference on Materials Processing and Characterzation (ICMPC) Location: Gokaraju Rangaraju Inst Engin & Technol, Hyderabad, India, 2, 4-5, Mar 14, 2015, pp. 1770-1775.

6. Keeratithiwakorn P., Songkeaw P., Onlaor K. & Tunhoo B., Structural properties of copper phthalocyanine films grown by electrophoretic deposition process. Materials Today: Proceedings, 4, 2017, pp. 6194 – 6199.

7. K. Kim, K. Ihm, B. Kim. Surface Property of Indium Tin Oxide (ITO) After Various Methods of Cleaning. ACTA PHYSICA POLONICA A, Proceedings of the 4th International Congress APMAS2014, April 24-27, 2014, Fethiye, Turkey, Vol. 127 (2015) No. 4

8. Fangmei Liu, Jia Sun, Si Xiao et al. Controllable fabrication of copper phthalocyanine nanostructure crystals. NANOTECHNOLOGY, 26, 22, 225601 pp. 1-8.

9. T.Asahi, Y.Tamaki, T.Sugiyama, H.Masuhara. Preparation of phthalocyanine nanoparticles by laser ablation of its microcrystal dispersed in poor solvents. Handai Nanophotonics, Vol. 1, 2004, pp. 225-236.

10. M.-Sh. Liao, S. Scheiner. Electronic structure and bonding in metal phthalocyanines, Metal=Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mg. J. Chem. Phys. 114, 9780, 2001, pp. 1-13.

11. El-Nahass M. M., Bahabri F.S. & Al-Harbi R. (2001). Optical Properties of Copper Phthalocyanine(CuPc)Thin Films. Egypt. J. Sol., Vol. 24, 1, pp. 11-19.

12. Zou T., Wang X., Ju H., Zhao L., Guo T., Wu W., Wang H., Controllable molecular packing motif and overlap type in organic nanomaterials for advanced optical properties. Crystals, 8 (1), 22, 2018, pp. 1-12.

13. Keeratithiwakorn P., Songkeaw P., Onlaor K. & Tunhoo B. (2017). Structural properties of copper phthalocyanine films grown by electrophoretic deposition process. Materials Today: Proceedings. Vol. 4, pp.6194 – 6199.

14. Abdullah A. Hussein, Waleed A. Hussain, K. Hassan. Enhancement efficiency of P3HT:PCBM solar cell by different treatment annealing. Journal of Zankoi Sulaimani, Part A, 2015, 17-1, pp.167-176.

15. Khanam Jobeda J., Foo Simon Y. Modeling of High-Efficiency Multi-Junction Polymer and Hybrid Solar Cells to Absorb Infrared Light. POLYMERS, 2019, Vol. 11, Issue 2, 383 pp. 2323-2325.

Репозиторий КарГУ

Н.Х. Ибраев, А. Е. Садықова, Л.А. Болатова
Институт молекулярной нанофотоники, Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда, Республика Казахстан. E-mail address: sadikova-aigul@mail.ru

Исследование фотокаталитической активности мультислойных пленок на основе оксида графена и TiO_2

Процессы фотодеградации органических загрязнителей привлекают все большее внимание в последние десятилетия.

Наночастицы полупроводника при их использовании в фотокаталитических и фотодетектирующих ячейках легко образуют агломераты, в которых происходит снижение генерации и транспорта носителей заряда к электродам съема. При использовании с графеном эта проблема может быть решена. Результатом этого является улучшенный фотокаталитический и фотодетектирующий эффект композитов с графеном [1], который может быть присвоен трем факторам, включающим улучшенное разделение электрон-дырочных пар для высокой квантовой эффективности, улучшенное поглощение видимого света и значительное улучшение реакционной адсорбирующей способности. Образование Ti-O-C связей для расширения границы поглощения диоксида титана также рассматривается как одно из главных свойств. К сожалению, агломерация наночастиц TiO_2 на графене запрещает прямой химический контакт между этими двумя компонентами. Указанная проблема может быть решена двумя путями – путем расположения наночастиц графена и полупроводника в виде планарной структуры и при использовании упорядоченной структуры полупроводника.

В настоящей работе было проведено исследование слоистых композитных пленок на основе оксида графена (GO) и TiO_2.

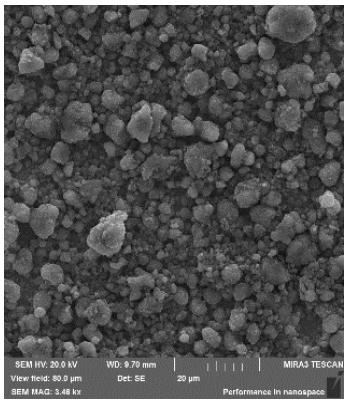
С целью исследования влияния архитектуры пленки на ее физические свойства были приготовлены образцы с различным расположением пленок GO относительно полупроводникового слоя – над и под титаном. Кроме того, толщина слоев GO также была различной – 2 и 30 слоев. Одну серию образцов отжигали в условиях атмосферы, а вторую – в инертном газе. Для проведения фотокаталитических измерений пленки наносили на поверхность стеклянных подложек, покрытых проводящим слоем FTO (<7 Ωsq). Для оптических измерений – на поверхность кварцевых подложек.

Пленки оксида графена наносили методом аэрографического распыления водно-изопропаноловой дисперсии SLGO (4 мг оксида графена на 1,8 мл C_3H_8O и 0,4 мл H_2O). Полученную смесь обрабатывали ультразвуком в течении 2 часов. Для удаления крупных частиц дисперсию центрифугировали при 3000 об/мин. Качество полученной дисперсии определяли по распределению размеров графеновых частиц в растворе на анализаторе Zetasizer nano (Malvern). До обработки ультразвуком в растворе размер частиц варьируется от 400 до 600 нм. После диспергирования оксида графена преобладают частицы с диаметром от 200 до 300 нм. Для нанесения пленок использовали графический аэрограф с диаметром сопла 0,9 мм. Расстояние от подложки до распылителя подбиралось таким образом, чтобы получаемое покрытие было наиболее равномерным. Полученные пленки высушивали при 80°C в сушильном шкафу не менее 3 часов для полного удаления растворителя.

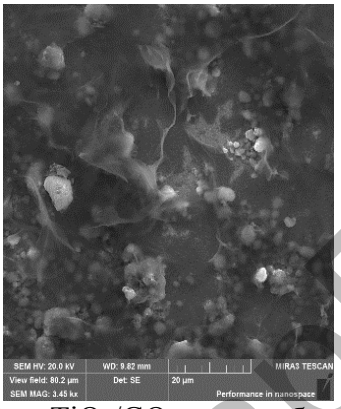
Для нанесения полупроводниковых пленок были использованы пасты на основе порошка TiO_2 и этанола. Пасту наносили методом spin-coating при скорости вращения подложки 3000 об/мин. Полученные пленки отжигали в атмосфере при: 325 и 375 °C по 5 минут, 450 и 500 °C – по 15 минут, 15 минут.

Репозиторий КарГУ

При изучении структурных характеристик синтезированных образцов с помощью СЭМ (рисунок 1) было обнаружено, в мультислойных образцах, как и в образцах чистого TiO_2, частицы диоксида титана агрегированы.



2 сл TiO_2/GO отжиг в атмосфере

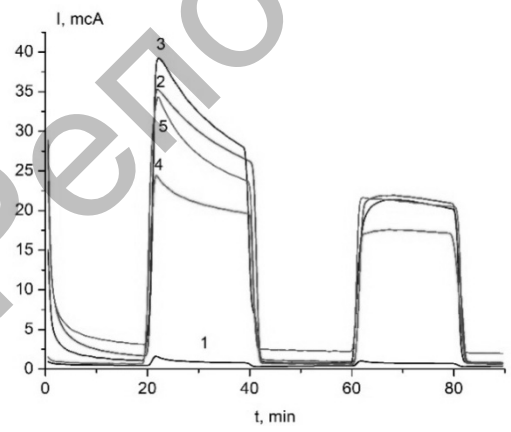


30 сл TiO_2/GO отжиг в боксе

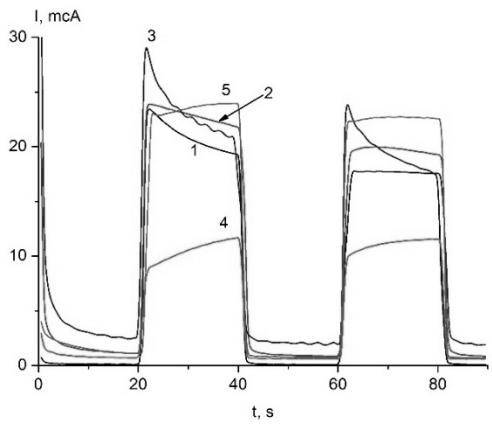
Рисунок 1 - СЭМ изображения мультислойных нанокомпозитов

Из СЭМ-изображений пленок, в которых толщина пленок оксида графена была равна 2 слоям видно, что GO наносится в виде островковой пленки и его количество мало. При толщине пленок GO, равных 30 слоям, оксид графена почти полностью покрывает подложку. При этом на поверхности TiO_2 ясно различимы складки и морщины, которые образуются во время напыления оксида графена. Отжиг в атмосфере уменьшает количество оксида графена в мультислойных ансамблях. Из изображений видно, что в пленках, которые кальцинировали в инертном газе оксид графена больше. Наилучшие фотокаталитические характеристики были зарегистрированы для пленок GO/TiO_2, с большим количеством слоев (рисунок 1). Более тонкие пленки генерируют ток ненамного меньше. При этом, для образцов, где оксид графена был нанесен поверх полупроводникового слоя, были зарегистрированы показатели на 10% меньше. Аналогичные результаты были получены и для образцов, кальцинированных на воздухе.

Можно отметить, что наименьшая фотокаталитическая активность была зарегистрирована для тонких пленок оксида графена. Тонкие пленки неоднородны и обладают гораздо большими значениями сопротивления транспорта электронов, чем 30-слойные пленки GO.



а



б

Рисунок 2– Фотоиндуцированный ток пленок: 1 – TiO_2; 2 – GO/TiO_2 (2 слоя); 3 – GO/TiO_2 (30 слоев); 4 – TiO_2/GO (2 слоя); 5 – TiO_2/GO (30 слоев). (а) – отжиг в Ar; (б) – отжиг в атмосфере

Репозиторий КарГУ

Высокие значения фототока зарегистрированы при кальцинировании образцов на воздухе, это связано более развитой удельной поверхностью, которая образуется при спекании TiO_2 на воздухе. Однако можно однозначно утверждать, что присутствие оксида графена в пленках TiO_2 приводит к повышению фотокаталитической активности. При этом, фотокаталитическая активность эффективней, когда оксид графена расположен под слоем TiO_2.

Литературы:

1. Zhang H., Lv X.J., Li Y.M., Wang Y., Li J.H. P25-graphene composite as a high performance photocatalyst // ACS Nano. – 2010. – № 4. – P. 380-6.

2. Bach U., Lupo D., Comte P., Moser J.E. et al. Solid–state dye–sensitized mesoporous TiO2 solar cells with high photon–to–electron conversion efficiencies //Nature. – 1998. – Vol. 395. – P. 583–585.

3. Y. Zhang, Z-R. Tang, X. Fu and Y. Xu TiO2 Graphene Nanocomposites for Gas-Phase Photocatalytic Degradation of Volatile Aromatic Pollutant: Is TiO2 Graphene Truly Different from Other TiO2 Carbon Composite Materials? ACS Nano2010, vol. 4, № 12, 7303–7314.

4. X. Pan, Y. Zhao, S. Wang, Zh. Fan. TiO2/graphene nanocomposite for photocatalytic application. Materials and processes for energy: communicating current research and technological developments. 2013.

В.И. Гончаренко [1], С.Л. Васильев [1], С.А. Дмитриев [1], С.А. Юргенсон [1], В.М. Юров [2]

[1] Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия, fvo@mai.ru. [2] Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан, exciton@list.ru

Экспериментальное исследование методом вычислительной рентгеновской томографии изменения структуры полимерного композиционного материала

В настоящее время технологии производства элементов и изделий из композиционных материалов (КМ) развиваются опережающими темпами практически во всех промышленно развитых странах. Особенность КМ состоит в том, что они не являются монолитным материалом, как, например, металлы. КМ – это конструкция, создаваемая в процессе изготовления изделия [1-3]. Стоит проблема объективной оценки качества КМ, возможности применения различных физических методов для контроля их качества. Расчетно-аналитические методы исследования не всегда позволяют получить полную картину всех возникающих при эксплуатации эффектов в полимерных композиционных материалах [4, 5].

Оценку соответствия материалов, заготовок и конечной продукции можно проводить с применением различного лабораторного и промышленного оборудования. Одним из методов дефектоскопии и анализа геометрических размеров изделия является метод вычислительной рентгеновской томографии [5].

Промышленная рентгеновская вычислительная томография (ВРТ) – высокоэффективный метод неразрушающего радиационного контроля, сочетающий возможности рентгеновского излучения и цифровой техники, позволяющий с высокой точностью получать плоские сечения и объемные изображения контролируемых изделий. Наличие такого оборудования на кафедре «Технологическое проектирование и управление качеством» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) позволяет проводить некоторые работы по оценке соответствия военной продукции [6, 7].

Предлагаемая работа находится на стыке нескольких направлений – развития методики применения высокоэнергетической томографии в механике структурно-неоднородных материалов и технологического проектирования [8-14]. В рамках данных направлений предлагается разработать перспективные методы исследования новых материалов, скорректировать методики проектирования изделий из полимерных композиционных

Репозиторий КарГУ

материалов и разработать методы расчетно-аналитической оценки поведения изделия при эксплуатации с учетом технологических дефектов.

В работе [7] описан метод применения ВРТ при решении задач исследования состояния структуры материала ПКМ под нагрузкой. Основные данные, которые были получены в данной работе связаны с оценкой развития трещины в материале и измерения на основе компьютерного моделирования ее вклада в снижение прочности образца. В тоже время, предлагаемый в настоящей работе метод исследования позволяет не только оценить развитие трещины при силовом воздействии, но и проанализировать изменения материала в зависимости от наличия и уровня нагружения. Так же вводятся параметры, позволяющие сравнивать склонность материала к накоплению повреждений при различных технологических процессах.

Для оценки изменений при силовом воздействии непосредственно под нагрузкой был спроектирован и изготовлен стенд, позволяющий прикладывать к образцам силовое одноосное воздействие непосредственно на рабочем столе рентгеновского томографа. На рис. 1 представлена схема проведения исследования с использованием данного стенда. В качестве исходных фиксированных параметров выступают характеристики образца и его механические свойства, которые применяются для выбора шагов нагружения (составления плана эксперимента).

Проведение испытаний подразумевает определение базового состояние материала – томографических параметров, которые считаются исходными для данного образца (выбранной технологии, укладки и типов связующего и наполнителя). Далее производится пошаговое нагружение по выбранным уровням нагрузки. На каждом шаге производится фиксация состояния материала и определяются томографические параметры, которые сравниваются с базовым состоянием, что позволяет оценивать изменения, происходящие в материале – рост аномалий плотности, связанных как с разрыхлением материала, так и с его локальным уплотнением. Для отслеживания уплотнения отдельных участков контролируется максимальное значение линейного коэффициента ослабления (ЛКО).

На каждом шаге увеличения нагрузки выполняются следующие действия:

- каждый исследуемый образец устанавливается в стенд для силового воздействия на образец и проводится исходный замер деформации и предварительное сканирование по всем выбранным сечениям;
- к образцу прикладывается нагрузка, величина соответствует первому шагу нагружения, замеряются деформации в образце и проводится сканирование;
- образец выдерживается под нагрузкой (временная экспозиция) в течении времени, необходимого для сканирования всех выбранных сечений, производится замер изменения уровня усилия и деформаций и проводится сканирование;
- образец разгружается (полное снятие усилия растяжения) и сразу же проводится замер деформаций и сканирование;
- после определенного времени после снятия нагрузки проводится повторный замер деформаций и сканирование;
- разгрузка и дальнейшее нагружение образца производится в соответствии с планом проведения эксперимента;
- далее образец нагружается до уровня второго шага и процедура исследований повторяется.

Количество шагов увеличения нагрузки повторяется до разрушения образца (или достижения предельного для приспособления усилия) или до появления в образце деформаций, свидетельствующих о полной потере несущей способности (ожидаемо для образцов с косоугольной схемой армирования) [10].

Репозиторий КарГУ

В качестве томографических параметров приняты следующие критерии корреляции между состоянием структуры материала образцов и реконструируемыми результатами сканирования:

1. Среднее значение линейного коэффициента ослабления - количественно характеризует структурную плотность в i-том отсканированном сечении после j-того нагружения (j=0 – до нагружения) и прямо пропорционально уменьшается с ростом количества вторичных повреждений на единицу площади сечения;

2. Максимальное и минимальное значения ЛКО, характеризующие процессы роста отдельных дефектов и локальное уплотнение в структуре материала.

3. Среднеквадратичное отклонение (СКО) линейного коэффициента ослабления в отсканированном сечении характеризует амплитуду абсолютного отклонения ЛКО от наиболее вероятной величины, увеличение значения СКО подтверждает увеличение количества вторичных повреждений на единицу площади

В качестве тестовых образцов применялись образцы серии УП-3 (с типовой укладкой 0/±45/90) из углеродной ленты УОЛ-300-1 (ТУ 1916-167-05763346-96 производство ООО «Аргон») и связующего ЭПС-И-108 (ТУ 2225-047-17411121-2012 производство ООО «Суперпласт»), полученные методом пропитки и формования под двойным вакуумным пакетом. Исследование проводилось в 40 сечениях рабочей зоны с шагом 5 мм для отладки параметров сканирования и анализа повторяемости значений. При необходимости в исследуемой зоне образца может быть заложен концентратор или дефект любого вида.



Рисунок 1. Схема проведения исследования

Исследование образца проводилось на четырех уровнях растягивающей нагрузки – 5%, 20%, 30%, 40% от разрушающей нагрузки, а также при дальнейшей его полной разгрузке. В результате были получены графики отклонения контролируемых параметров от исходного состояния образца, представленные на рис. 2. Анализ изменений площади сечения образца

Репозиторий КарГУ

не проводился из-за его незначительных колебаний – изменение площади сечения составляло не более 0,5%, что может быть вызвано неоднородностью поверхности образца.

На основе полученных результатов сделаны следующие выводы:

- при приложении до 30% от разрушающей нагрузки структура образца изменяется с небольшим шагом и не претерпевает значительных изменений – происходит упорядочивание структуры материала, о чем свидетельствует уменьшение отклонения максимальных значений ЛКО и незначительные колебания отклонения минимального значения, которое демонстрирует переменный рост первичного дефекта.
- при достижении 40% от разрушающей нагрузки наблюдается значительное изменение состояния структуры материала. Рост отклонения СКО от исходной величины при достижении 40% разрушающей нагрузки в 2 раза превышает аналогичный показатель при 30% разрушающей нагрузки. Это вызвано значительным ростом первичного дефекта (минимальное значение ЛКО увеличивается в 3 раза по сравнению с 30% от разрушающей нагрузки), что приводит к уплотнению окружающего материала. Такой вывод подтверждается поведением среднего значения ЛКО, которое на 40% от разрушающей нагрузки практически соответствует исходному состоянию образца, при одновременном росте СКО, т.е. разброса значений плотности;
- после разгрузки образца наблюдаются остаточные изменения, которые характеризуются локальным уплотнением структуры образца, значительным по сравнению с нагруженным состоянием, закрытием первичного дефекта (отклонение минимального значение уменьшилось по сравнению с нагруженным состоянием в 6 раз). Общее поведение структуры материала после разгрузки характеризуется увеличением разбросов плотности в образце (отклонение СКО от исходного состояния составляет 10%) и незначительным уплотнением структуры материала (среднее значение ЛКО выросло на 1%), что может означать снижение количества первичных дефектов в образце.

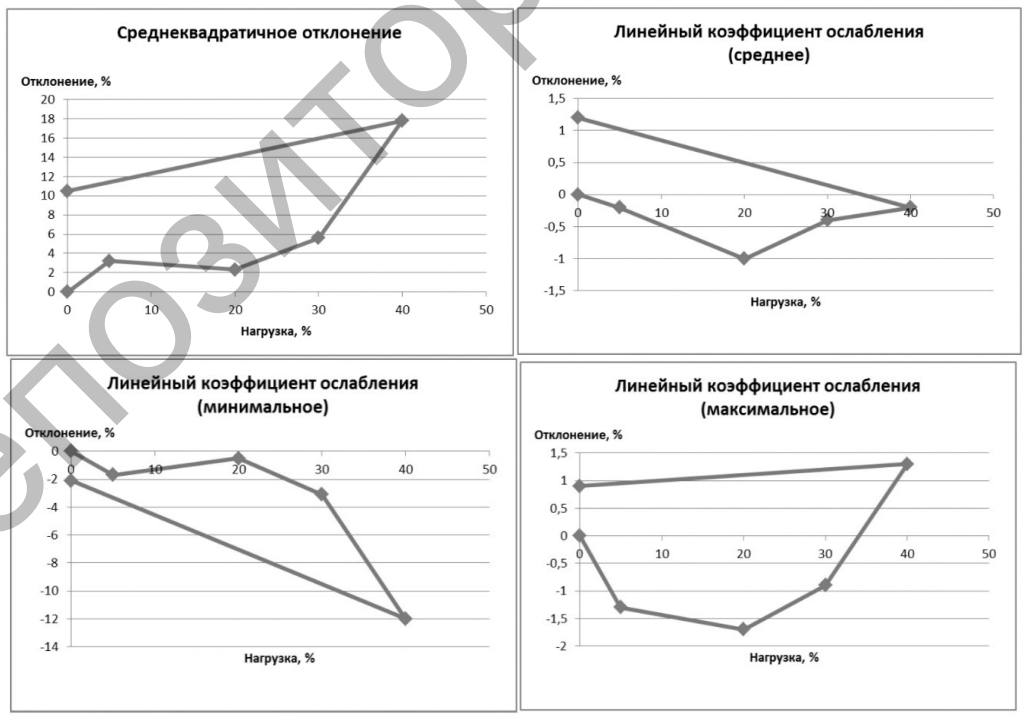


Рисунок 2. Отклонение контролируемых параметров от исходного состояния в зависимости от приложенной нагрузки

Репозиторий КарГУ

По итогам тестового исследования на данном образце можно сделать следующие выводы:

- для данной укладки и материала характерно значительное увеличение магистрального дефекта после достижения определённой нагрузки (в данном случае она составила 30% от разрушающей);
- при приложении нагрузки происходит рост локального первичного дефекта при этом более мелкие дефекты закрываются, и структура материала становится менее рыхлой:
- после разгрузки образца наблюдается общее уплотнение структуры материала, но при этом происходит раскрытие магистрального дефекта [12], который в случае дефектоскопии после снятия нагрузки имеет значительно меньшие геометрические размеры по сравнению с нагруженным состоянием.

Литературы:

1. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы, 2-е издание. М.: Изд-во Научные основы и технологии, 2008. 822 с.

2. Гончаренко В.И., Олешко В.С. Расчёт твёрдости инструмента в авиастроении // СТИН. 2017. № 1. С. 19-21.

3. Гончаренко В.И., Олешко В.С. Определение величины поверхностной энергии инструмента в авиастроении // СТИН. 2017. № 2. С. 24-27.

4. Лурье С.А., Дудченко А.А. Введение в механику нанокомпозитов. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010, 160 с.

5. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Сосин, А.В. Ковалев, Э.И. Вайнберг и др. 2-е изд. М. Машиностроение, 2003. 656 с.

6. Методы неразрушающего контроля, применяемые для конструкций из перспективных композиционных материалов / Б.В.Бойцов, С.Л.Васильев, А.Г.Громашев, С.А.Юргенсон // Труды МАИ: электронный журнал. 27.12.2011. Вып. №49. URL: http://www.mai.ru/science/trudy/.

7. Васильев С.Л., Артемьев А.В., Юргенсон С.А. Анализ методом вычислительной рентгеновской томографии воздействия статической нагрузки на структуру полимерного композиционного материала. // Материалы X Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ 2014), 25-31 мая 2014 г., Алушта. М.: Изд-во МАИ, 2014. С. 543-545.

8. Nikishkov, Y., Airoldi, L., Makeev, A. Measurement of Voids in Composites by X-Ray Computed Tomog., Composites Science and Technology, 89 (2013), pp. 89-97.

9. ФудзиТ., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов. М.: Мир, 1982.232 с.

10. Композиционные материалы под ред. Браутмана Л. и Крока Р. Разрушение и усталость. М.: Мир, 1978. Т.5. 483 с.

11. Расчетно-экспериментальная оценка прочности сегмента композитного шпангоута с применением метода in-situ рентгеновского контроля / Н.Н.Потрахов, А.Н.Аношкин, В.Ю.Зуйко, и др. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2017. № 1. С. 118–133. DOI: 10.15593/perm.mech/2017.1.08.

12. In-situ damage monitoring of textile composites using x-ray computed tomography / W.J. Na, H.C. Ahn, K.M. Park, H.M. Kang, W.R. Yu // ECCM15: 15th European conference on composite materials. – Italy, Venice, 2012.

13. Withers P.J., Preuss M. Fatigue and Damage in Structural Materials Studied by X-Ray Tomography // Annual Reviews. – 2012. – Vol. 42. – P. 81–103. DOI: 10.1146/annurev-matsci-070511-15511.

14. In-situ Analysis of Laminated Composite Materials by X-ray Micro-Computed Tomography and Digital Volume Correlation / R. Brault, A. Germaneau, C. Dupré, P. Doumalin, S. Mistou, M. Fazzini // Experimental Mechanics. – 2013. – Vol. 53. – No. 7. P. 1143–1151. DOI: 10.1007/s11340-013-9730-9.

Репозиторий КарГУ

В.И. Гончаренко [1], С.Л. Васильев [1], С.А. Дмитриев [1], С.А. Юргенсон [1], В.М. Юров [2]
[1] *Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия, fvo@mai.ru*, [2] *Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан, exciton@list.ru*

Анализ распространения ударных повреждений в композиционных материалах методом вычислительной рентгеновской томографии

Вычислительная рентгеновская томография (ВРТ) в настоящее время является наиболее перспективным методом неразрушающего контроля, связанного с интроскопией наиболее ответственных элементов конструкций аэрокосмического назначения. Получаемая этим методом, с учётом пространственного положения контролируемых сечений, обширная томографическая информация, кроме яркостных изображений содержит десятки и сотни тысяч количественных оценок свойств материала с точной пространственной привязкой каждого элемента томограммы.

Авиационная техника требует широкого применения методов неразрушающего контроля на всех этапах жизненного цикла. Это связано с высокими действующими напряжениями в элементах конструкции, достижение которых позволяет обеспечить минимальный вес конструкции. Наиболее высокие требования по уровню неразрушающего контроля готовых изделий предъявляются к конструкциям, созданным по специальным технологическим процессам, которые влияют на структуру материала. К таким технологиям относится, литье, сварка, производство изделий из композиционных материалов (ПКМ) и т.д. [1-4].

Одним из наиболее точных методов определения состояния структуры материала является метод вычислительной рентгеновской томографии (ВРТ), позволяющий с высокой точность (до 50 мкм) выявить внутренние несплошности внутри конструкции.

Основные параметры, применяемые при контроле методом ВРТ, базируются на анализе коэффициента линейного ослабления, значения которого зависит от плотности материала. На базе этого коэффициента разработан ряд параметров, позволяющих оценивать состояние структуры материала [5].

Традиционным приложением рентгеновской томографии – поиск внутренних дефектов, возникающих на различных этапах жизненного цикла изделий. При производстве наиболее интересен данный метод для композиционных материалов, литья, сварки, аддитивных технологий. На этапе эксплуатации – для конструкций из ПКМ, т.к. для них характерно появление и развитие внутренних повреждений.

В рамках работ, проведенных на кафедре «Технологическое проектирование и управление качеством» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) выделены следующе основные области применения метода ВРТ при разработке авиационной техники.

- Этап проектирования:
  - разработка новых моделей поведения ПКМ при статическом и усталостном нагружении;
  - оценка влияния технологических факторов на структуру ПКМ в регулярных и проблемных зонах проектируемых конструкций;
  - исследование процесса накопления и развития повреждений при послойном анализе.
- Разработка технологических процессов:
  - отработка параметров специальных технологических процессов;
  - определение норм дефектов, допустимых к эксплуатации и ремонту;
  - верификация и уточнение (разработка методик) возможностей других методов неразрушающего контроля для рассматриваемой конструкции.

Репозиторий КарГУ

- Этап производства элементов конструкций:

○ выборочная или сплошная оценка качества получаемых изделий из ПКМ и их элементов;

○ верификация методов неразрушающего контроля изделий из ПКМ в промышленном производстве.

- Этап эксплуатации:

○ оценка изменения структуры ПКМ в высоконагруженных узлах и элементах конструкции в процессе эксплуатации;

○ верификация методов неразрушающего контроля изделий из ПКМ в эксплуатации.

Особое внимание в рамках разрабатываемых методик исследования сфокусировано на конструкциях из ПКМ для которых разработан ряд методов контроля развития повреждений [6, 7]. Связано это с применением данных материалов в высоконагруженных элементов конструкции и необходимостью отработки технологических процессов их изготовления.

Одним из самых опасных типов эксплуатационных повреждений для изделий из ПКМ является ударное повреждение, которое вызывает обширное внутреннее расслоение материала. Для авиационных конструкций устанавливаются требования по площади внутренних расслоений материала в зависимости от периода его обнаружения визуальными и инструментальными методами. Для каждой конструкции такие требования могут устанавливаться индивидуально в зависимости от применяемых методов контроля и периодов обязательных осмотров [8-11].

Для оценки площади внутренних расслоений в конструкции наиболее распространен ультразвуковой или тепловой (вакуумный) методы контроля. Для уточнения данных, получаемых этими методами целесообразно на этапе отработки методик контроля провести их верификацию.

В рамках анализа возможности контроля внутренних расслоений методом ВРТ с использованием линейного детектора был проведен эксперимент по исследованию образцов с ударными повреждениями энергиями 30 и 50 Н*м из углепластика (рис. 1).

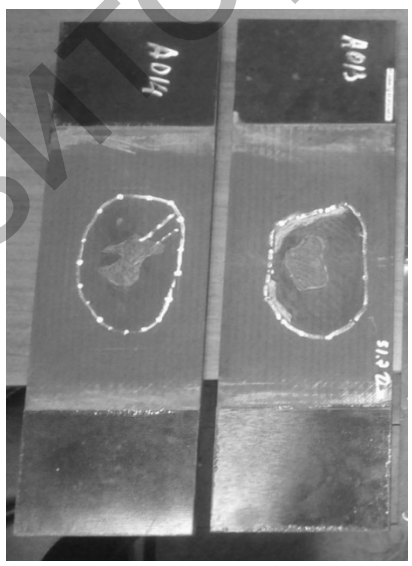


Рисунок 1. Общий вид контролируемых образцов

Разработанная методика контроля включает в себя следующие этапы:

- послойное сканирование образцов с дефектами;

Репозиторий КарГУ

- разбиение плоских сечений на зоны, в рамках которых проводится осредненный по площади анализ линейного коэффициента ослабления (ЛКО) и его среднеквадратичного отклонения;
- построение плоских карт распределения данных коэффициентов и анализ площади внутренних дефектов.

Необходимость такого подхода вызвана ограничениями метода компьютерной томографии, а именно наклоном графика распределения ЛКО в местах раздела двух сред, что затрудняет анализ расслоений в конструкциях из ПКМ. Пример томограммы образцов с ударным повреждением представлен на рис. 2.

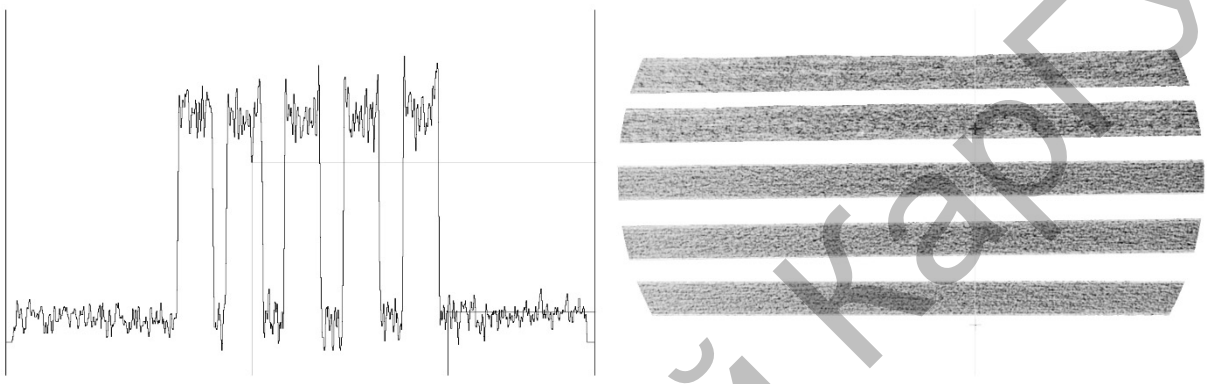


Рисунок 2. Томограмма и график распределения ЛКО для образцов с ударным повреждением.

Плоские карты распределения представлены на рис. 3 и 4 для мест с ударными повреждениями. Размеры контролируемых зон составляют 100 на 100 мм.

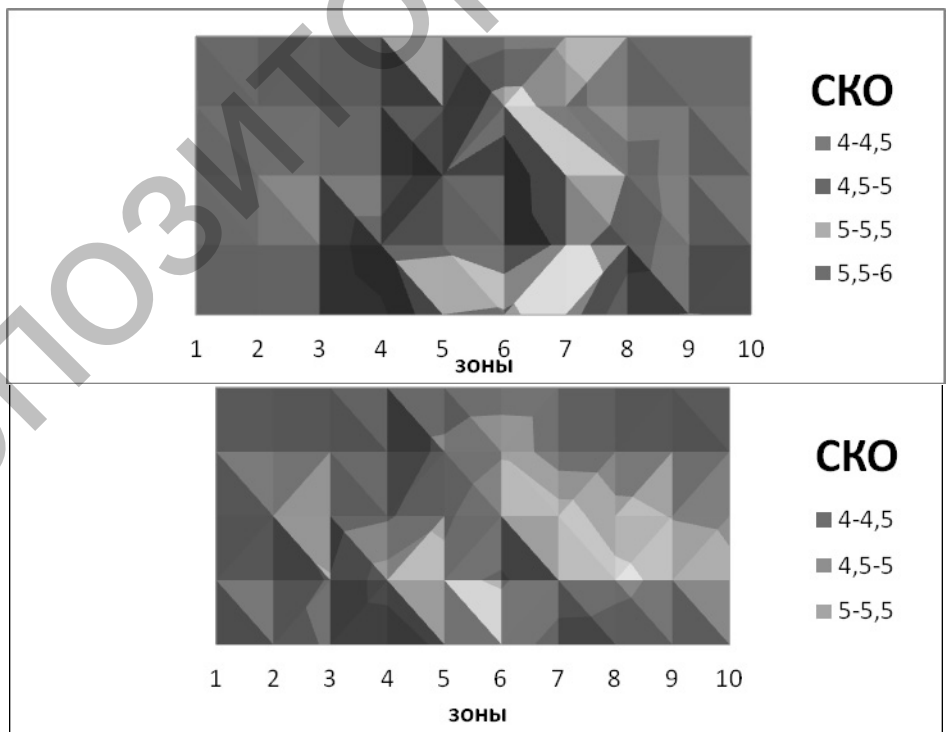


Рисунок 3. Карта распределения СКО в зоне ударного повреждения

Репозиторий КарГУ

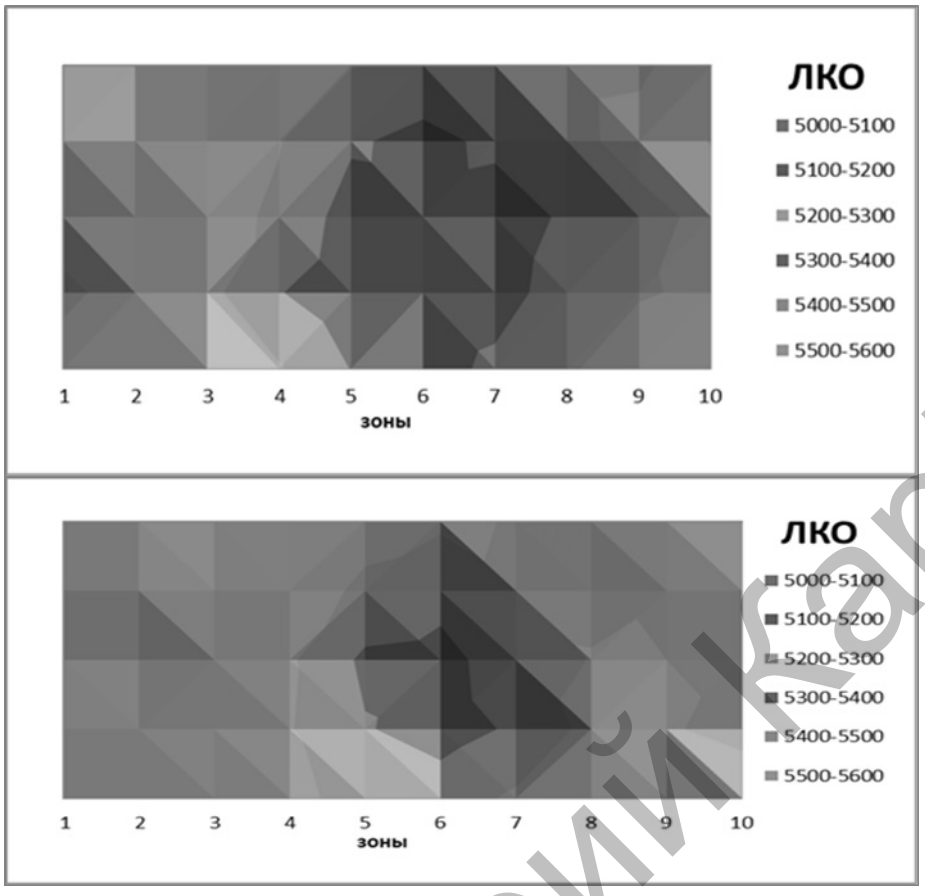


Рисунок 4. Карта распределения ЛКО в зоне ударного повреждения

По представленным картам видно явное различие между зонами распространения ударных повреждений для разных уровней удара. При этом можно обратить внимание на то, что по данным ЛКО возможна оценка площади и распространения расслоения, в то время как по карте СКО возможна оценка раскрытия расслоения в образце.

Предложенная методика позволяет упростить процедуру анализа расслоений при применении томографов с линейным детектором и верифицировать данные мобильных методов контроля. Кроме этого методика может применяться при разработке методов ремонта конструкций из ПКМ.

Литературы:

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Сосин, А.В. Ковалев, Э.И. Вайнберг и др. 2-е изд. М. Машиностроение, 2003. 656 с.

2. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И. Компьютерные томографы для неразрушающего контроля и количественной диагностики изделий аэрокосмической промышленности // Двигатель. 2008. № 2. С. 19–23.

3. Гончаренко В.И., Олешко В.С. Расчёт твёрдости инструмента в авиастроении // СТИН. 2017. № 1. С. 19-21.

4. Гончаренко В.И., Олешко В.С. Определение величины поверхностной энергии инструмента в авиастроении // СТИН. 2017. № 2. С. 24-27.

5. Методы неразрушающего контроля, применяемые для конструкций из перспективных композиционных материалов / Б.В.Бойцов, С.Л.Васильев, А.Г.Громашев, С.А.Юргенсон // Труды МАИ: электронный журнал. 27.12.2011. Вып. №49. URL: http://www.mai.ru/science/trudy/.

6. Васильев С.Л., Артемьев А.В., Юргенсон С.А. Анализ методом вычислительной рентгеновской томографии воздействия статической нагрузки на структуру полимерного композиционного материала // Материалы X Международной конференции по неравновесным

Репозиторий КарГУ

процессам в соплах и струях (NPNJ 2014), 25-31 мая 2014 г., Алушта. М.: Изд-во МАИ, 2014. С. 543-545.

7. Контроль образцов методом вычислительной рентгеновской томографии под нагрузкой / С.Л.Васильев, А.В.Артемьев, В.Н.Бакулин, С.А.Юргенсон. // Дефектоскопия. 2016. №5. С. 63-73.

8. Advisory Circular № 20-107B Composite aircraft structure, USA, FAA, 2009.

9. Prediction of flange debonding in composite stiffened panels using an analytical crack tip elementbased methodology / Z. Mikulik, D.W. Kelly, B.G. Prusty, R.S. Thomson // Composite Structures. – 2008. – Vol. 85. – No. 3. – P. 233–244. DOI:10.1016/j.compstruct.2007.10.027.

10. Nishino T., Hirokane D., Nakamae K. X-ray diffraction studies of the environmental deterioration of a transversely loaded carbon-fibre-reinforced composite // Composites Science and Technology. – 2001. – Vol. 61. – No. 16. – P. 2455–2459. DOI:10.1016/S0266-3538(01)00174-9.

11. Microfocus radiography studies during model interlaminar fracture tests on composites / T. De Kalbermatten, R. Jäggi, P. FLüeler, H.H. Kausch, P. Davies // Journal of Materials Science Letters. – 1992. – Vol. 11. – No. 9. – P. 543–546.

Tabiyeva Y.Y.[1], Rakhadilov B.K.[2], Uazyrkhanova G.K.[1], Zhurerova L.G.[1], Sagdoldina Zh.B.[2], Kurbanbekov Sh.K.[3] Serikbayev D.[1]

[1]East-Kazakhstan State Technical University, [2]S. Amanzholov East-Kazakhstan State University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, [3]K.A.Yassawi International Kazakh-Turkish University, Kazakhstan

[1]erkezhan.tabieva@mail.ru, [2]rakhadilovb@mail.ru, [3]guazyrhanova@mail.ru, [4]leila_uka@mail.ru, [5]sagdoldina@mail.ru, [5]Sherzod05_88@mail.ru

Research of change in tribological properties of steel grade 2 after electrolytic-plasma exposure

Electrolyte-plasma hardening (EPSH) of the surface of parts is a simple and effective process of surface hardening of working surfaces of parts and tools. Plasma tempering develops rapidly in industry and its purpose is manufacturing of parts and tools with hardened surface layers of thickness from 0.1 to 2 mm, with constant total chemical composition of the material and preservation in internal layers of initial properties of starting metals [1-4].The essence of this method is high-grade heating by concentrated energy flows of the surface layer of metal and its rapid cooling as a result of the transfer of heat to the deep layers of the material of the part, which, due to the phase transformation, the structure of the surface layer changes. In the works of many scientists, the problem of wear of the ridges of bandages of wheel pairs of locomotives was highlighted, as the most significant reason for the impossibility of increasing the interrepair runs of locomotives, which in turn significantly increases the costs of maintenance and simple locomotives in repair depots [5-6]. It is known that over the past 20 years there has been a gradual increase in the wear rate of the wheelset of locomotives on Kazakhstan Railways. This is due to the increase in distillation speeds of trains and axial loads, as well as the transition to reinforced concrete sleepers. At the same time, steel for the manufacture of bandages has not changed.

Therefore, the study and generalization of data on the influence of the properties of electrolyte solutions and EPSH regime parameters on the structure and properties of bandage steel of mark 2 is topical. The purpose of this work is to determine the optimal EPSH parameters for mark 2 steel.

For the study was chosen bandage steel mark 2. This steel is carbon steel, it is used in the field of metallurgy and machine building, for the production of bandages of freight, passenger and shunting locomotives, motor cars and diesel trains, metro cars and bandages of wheel cars for pairs of tram cars. The chemical composition of steel: 0.55-0.65% C; 0.5-0.9 % Mn; 0.22-0.45 % Si; No more 0.1% V; No more 0.03% S; No more 0.035% P; the rest of Fe, also the permissible mass fraction (%): Ni≤ 0.25, Cr=0.20, Cu=0.30 to GOST 398-96[7].

Репозиторий КарГУ

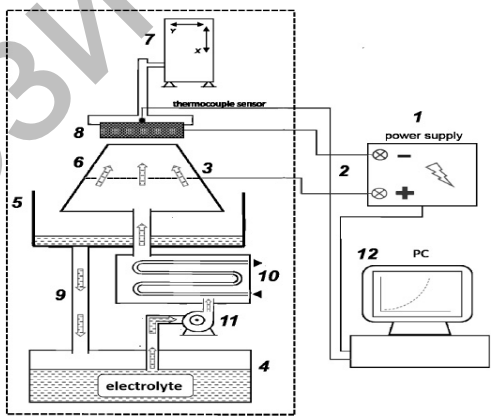
Blanks of steel samples of mark 2 for investigation were cut from the bandage in the form of a parallelepide measuring 15×15×10 mm^3. At low cutting speeds and low load, the sample is not subjected to deformation or thermal stress. The samples subjected to electrolytic heating were machined with mechanical grinding and polishing to mirror shine. The modification of the surface was studied at the optical microscope "ALTAMI-MET-1M" in the Center for advanced development "VERITAS" of the D.Serikbaev EKSTU.

The microhardness of the surface layers of samples before and after processing was measured by the method of compression of the diamond indenter on the PMT-3M instrument at a load of 1 N and a standing time at this load of 10 s.

Electrolytic-plasma processing was carried out in cathode mode at the installation of electrolytic-plasma processing in the National Scientific Laboratory of Collective Use at the East Kazakhstan State University named after S. Amanzholov [8-12]. The schematic representation of the EPSH installation is shown in Figure 1. The power supply was a powerful rectifier, giving a maximum output of 360V / 60A in the form of a direct current. The samples were processed by rapid heating for 2-4 seconds, followed by cooling in the flow electrolyte. The process was carried out under the following parameters: Electrolyte composition (% mass) is 10% carbamide $(NH_2)_2CO$ + 10% sodium carbonate Na_2CO_3 + 80% water; processing time-3s, 4s; T_{max} = 850-900 ºC; U= 320 V; I=40 A.

Structural changes were found in the microstructure of the surface layers of steel 2 samples exposed to EPSH in the electrolyte plasma. In Fig. 2(a-c) is shown the microstructure of the surface layer of steel before and after treatment in the electrolyte containing 10% urea solution $(NH_2)_2$ CO, and 10% sodium carbonate Na_2CO_3 with a treatment duration of 3, 4 seconds at a temperature 860ºC.

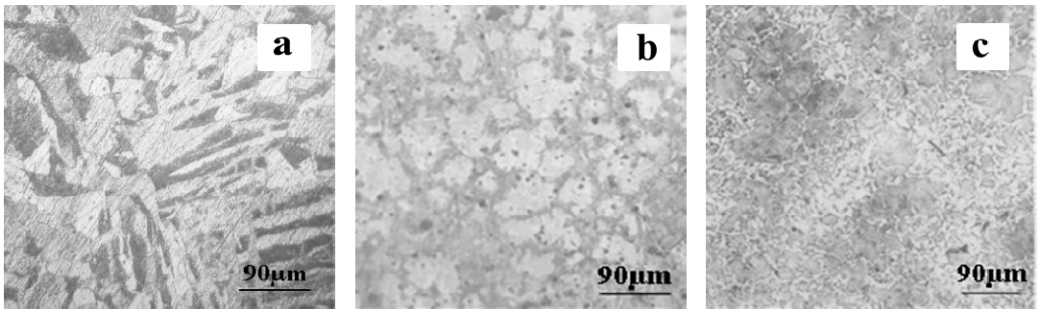
After electrolytic-plasma surface hardening with a duration of 3 seconds (Fig. 2 (b) ferritic structure growth is observed, while perlite grains are reduced. After EPSH with heating for 4 seconds, the formation of a cement mesh in the structure of steel mark 2, which is located around the ferrite, is observed. According to the X-ray diffraction analysis in Fig.3, iron oxide was detected along with cement. And it can also be noted that the grains of perlite phases gradually decrease in comparison with the microstructure of steel mark 2 before EPSH. Thus, the microstructure of the surface of the hardened steel mark 2 is a fine-grained ferrite structure.



1 – power supply; 2 - current lead; 3– anode (plate); 4– main tank for electrolyte; 5 - intermediate capacity; 6 - electrolytic cell; 7 - coordinate device; 8 - workpiece; 9 - branch pipes; 10 - heat exchanger; 11 - pump; 12 - control computer

Figure1. Functional diagram of the installation for electrolyte-plasma processing of materials

Репозиторий КарГУ

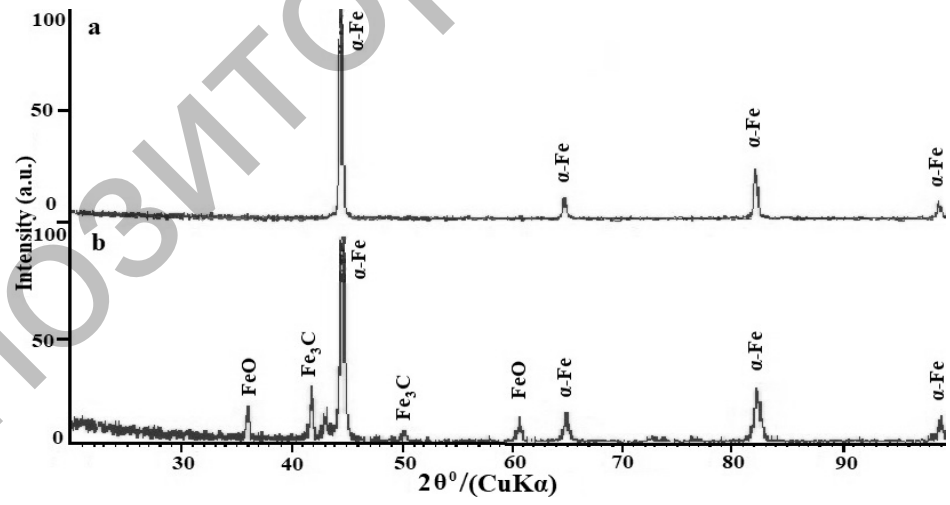


a) before EPSH; after EPSH: b) 3s, c) 4 s

Figure 2. Microstructure of the bandage steel mark 2 before and after the EPSH

Considering the actual of the problem of increasing the performance characteristics of the retaining steel of mark 2, one of the most important properties of the surface layer, which greatly affects wear resistance, is hardness, in this work, changes in the microhardness of the surface layer of steel mark 2 after EPSH are studied. Figure 4 shows a diagram of the dependence of the microhardness value of steel mark 2 on the duration of exposure to electrolytic plasma. The microhardness of steel 2 in the initial state is 1448 MPa, and after quenching with a duration of 2.3 and 4 seconds: 2489 MPa, 2911 MPa and 3605 MPa respectively, which increased by 2.4 times in comparison with microhardening to EPSH According to the microhardness data obtained for the retaining steel mark 2, it is considered the optimal mode for EPSH: treatment at a temperature of 860ºC with the electrolyte composition of an aqueous solution of 10% urea $(NH_2)_2CO$ and 10% sodium carbonate Na_2CO_3 with a processing time of 3-4 s.

The tribological properties of the samples before and after the EPSH were also examined. Experimental curves of the friction coefficient versus the path length are shown in Figure 5. The test was carried out according to the ball-disk scheme, the path length was 31 m, speed 2 cm/s, load 5 N.



a) Initial condition, b) after EPSH

Figure 3. X-ray phase analysis of steel mark 2

Репозиторий КарГУ

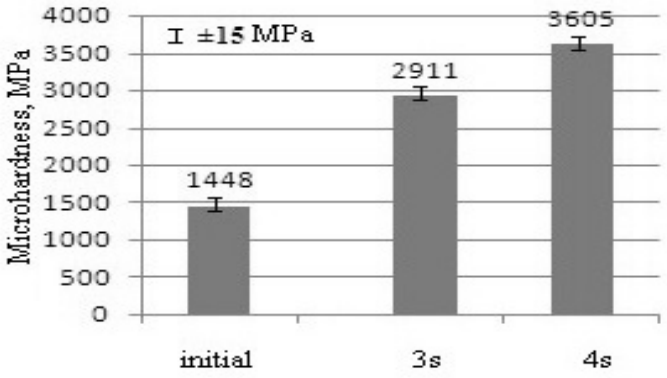
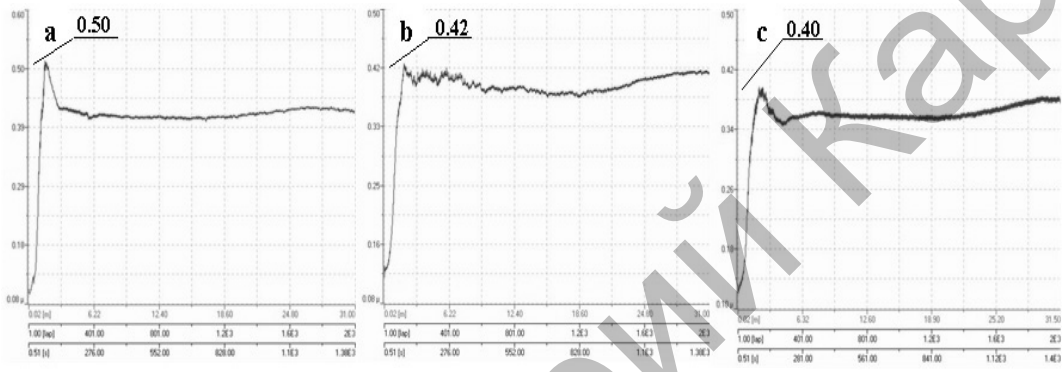


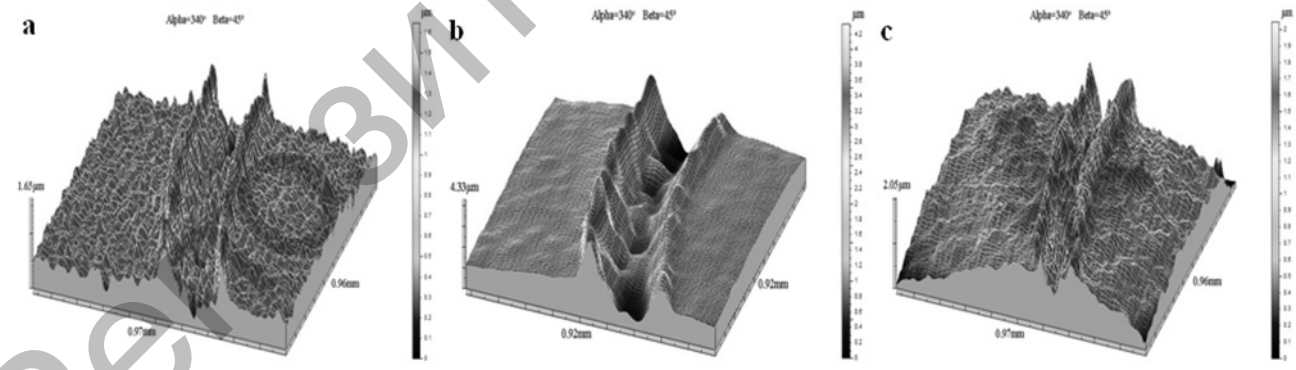
Figure 4. Microhardness of bandage steel of mark 2 before and after EPSH



a) before EPSH; after EPSH: b) 3 s, c) 4 s.

Figure 5. A friction coefficient of bandage steel mark 2 before and after EPSH

The test results showed that the average friction coefficients under normal force 5N and the speed of mutual movement 2 are between 0.35 and 0.44.



a) before EPSH; after EPSH: b) 3 s, c) 4 s.

Figure 6. Profiles of tracks of bandage steel of mark 2 before and after EPSH

Using a profilometer, the sample contact area images for the different duration of the EPSH time were taken (fig.6). Assessing the wear resistance of the samples based on the geometric parameters of the wear paths, it can be said that the depth of the sample path after the EPSH is less than the raw sample.

Репозиторий КарГУ

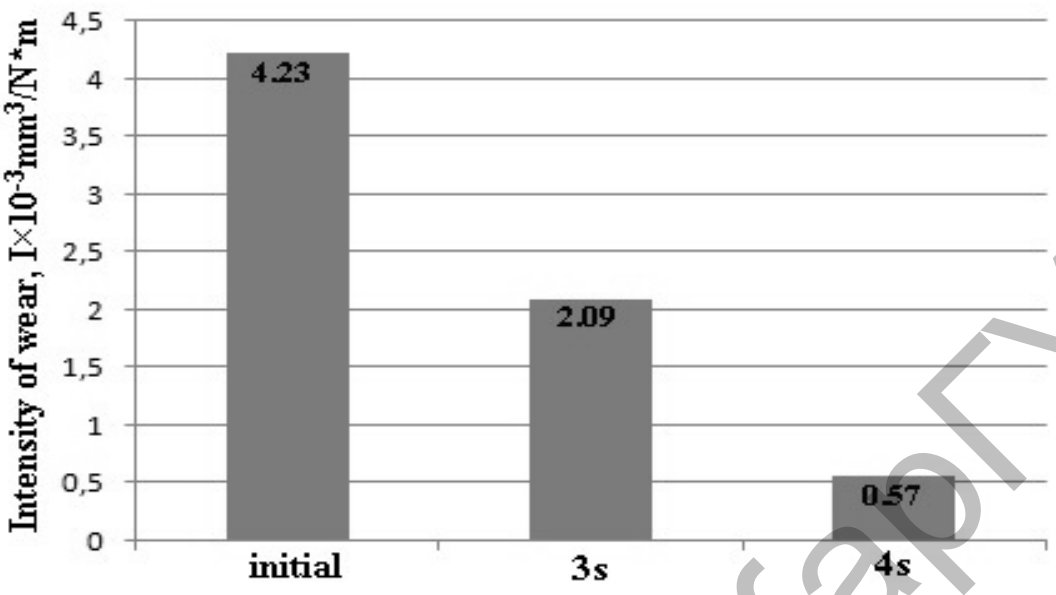


Figure 7.Intensity of wear of bandage steel of mark 2 before and after EPSH

After processing samples at different EPSH modes, an increase in wear resistance was detected. The wear test results are shown in Figure 7. The best result is obtained after four seconds of quenching in a water solution of electrolyte. Figure 8 shows the results of the calculation of the wear volume of mark 2 before and after EPSH. Improvement of tribological properties relative to the initial state of steel mark 2 is observed in all stages of EPSH.

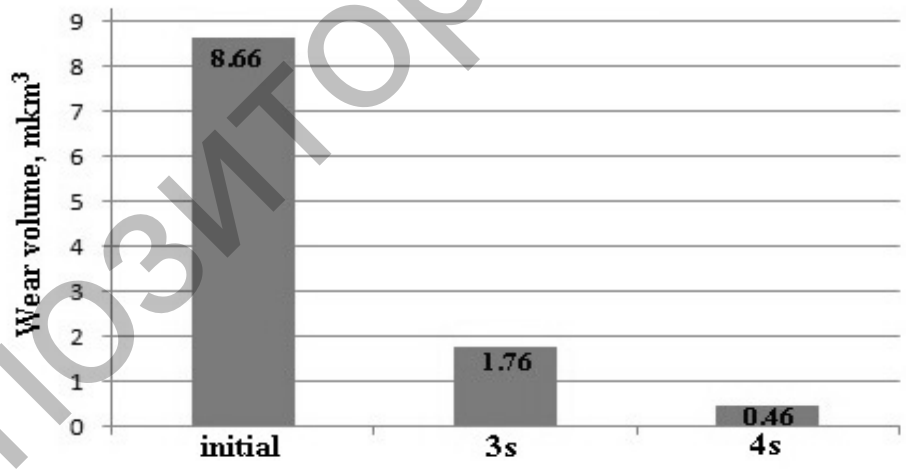


Figure 8.Volume of wear of bandage steel of mark 2 before and after EPSH

In this work have been studied the peculiarities of EPSH of bandage steel of mark 2 in aqueous solutions of eletrolite. The technological process of hardening in electrolytic plasma was developed, the composition of the working electrolyte was proposed. The structure and microhardness of the surface layers formed by EPSH are also studied. The results of the study can be presented with the following conclusions.

- It is found that the main factors affecting the quality of the surface layer of bandage steel at EPSH are the exposure time at a certain temperature of heating.

Репозиторий КарГУ

- It was established that after EPSH at heating time 3 and 4 seconds microhardness was 2911 MPa and 3605 MPa, respectively, which increased more than 2 times compared to EPSH.
- The optimal composition of water electrolyte for EPSH of bandage steel of mark 2 was determined by way of research.

The work was carried out within the framework of grant financing of scientific research for 2018-2020 years of the Committee of Science of the Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan.

References

1. A.S. Razumov, I.L. Pasholok, V.N. Zyurenko, Wheels of increased operational durability for freight cars of a new generation / Sat. scientific Tr .: The development of railway transport in the context of reform. M .: Intext, 2003. p. 199-206.

2. E.S. Yagodinsky The nature of damage to parts of the coupler and methods for their restoration // Collection of scientific works UkrDAZT - 2014. p. 171-174.

3. G.I. Brunchukov Methods to improve the operational durability of locomotive tires / Sb. scientific Tr.: The development of railway transport in the conditions of reform. M .: Intext, 2006. p. 214-220.

4. S. Mitao, H. Yokoyama, S. Yamamoto, Y. Kataoka, T. Sugiyama, High strength bainitic steel rails for heavy haul railways with superior damage resistance. STS-Conference: Wheel/Rail Interface. Moscow, 1999.

5. P. Clayton, X. Su, Surface initiated fatigue of perlitic and bainitic steels under water lubricated rolling/sliding contact // Wear. V. 200. 1996. p.p. 63 73.

6. E.I. Meletis, X. Nie, F.L.Wang, J.C. Jiang. Electrolytic plasma processing for cleaning and metal-coating of teel surface. Surfce and Coatings Nechnology 150(2002), 246-256.

7. GOST 398-96 Carbon steel Bandages for rolling stock of wide gauge Railways and Metro.

8. M.K. Skakov, B.K. Rahadilov, D.B. Zarva, A.V. Gulkin, Installation of electrolytic-plasma processing // Innovative patent for the invention of the Republic of Kazakhstan: IPC C255F 7/00 - № 29978 / Application. 03/02/2014; Publ. 15.06.2015, Bul. № 6.

9. B. Rakhadilov, L. Zhurerova, A. Pavlov, Method of Electrolyte-Plasma Surface Hardening of 65G and 20GL Low-Alloy Steels Samples // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.– 2016.–V. 142. pp. 1-7.

10. M. Skakov, B. Rakhadilov, E. Batyrbekov, M. Scheffler, A. Manapbaeva, G. Ayapbergenova, G. Karipbayeva: Influence of regimes electrolytic-plasma nitriding on the structural-phase state and the wear of steel P6M5. Bulletin of KazNTU (2014), No. 3 (103), pp. 65-71.

11. M. Skakov, B. Rahadilov, G. Karipbayeva, A. Manapbaeva: Structure-phase state of high-speed steel P6M5 after heat treatment. Bulletin of KazNU (2014), No.1 (48), pp. 53-59.

12. N. A. Popova, L. G. Zhurerova, E. L. Nikonenko, M. K. Skakov: Effect of Plasma Electrolytic Nitrocarburizing on Phase Composition of 0.3C-1Mn-1Si-Fe Steel. ISSN 2075-1133, Inorganic Materials: Applied Research, (2017), Vol. 8, No. 1, pp. 130 –135. DOI: 10.1134/S2075113317010300

Д.А. Темирбаева
Институт молекулярной нанофотоники, КарГУ им. Е.А. Букетова, 100028, Казахстан,
E-mail: dilara.temirbayeva@gmail.com

Влияние наночастиц серебра на спектрально-люминесцентные и фотовольтаические свойства мероцианиного красителя

Влияние плазмонных наночастиц на фотоиндуцированные процессы в наноструктурированных материалах является одной из актуальных задач современной оптической спектроскопии и люминесценции. Благодаря уникальным свойствам наночастиц благородных металлов, их исследование заняло особое место в области нанотехнологий [1]. Металлические наночастицы обладают уникальными оптическими характеристиками и поверхностным плазмонным резонансом [2]. Возбуждение поверхностных плазмонов в

Репозиторий КарГУ

металлических наночастицах индуцирует оптические свойства, едва достижимые в других оптических материалах, что дает широкий спектр применений в различных областях науки и техники, а именно: катализ, фотография, биомедицина [2-3], энергетика, защита окружающей среды [4], информационные технологии [5], в качестве противораковых и антимикробных агентов [1].

Благодаря своим уникальным свойствам наночастицы благородных металлов заняли особое место в области нанотехнологий. Например, при усилении флуоресценции и в поверхностной рамановской спектроскопии, а также в средах, чувствительных к показателю преломления окружающей среды, нашли дополнительное применение в усовершенствовании чувствительного к полям оптического процесса.

В данной работе было исследовано влияние наночастиц (НЧ) серебра на фотоиндуцированные электронные процессы в молекулах полиметинового красителя на поверхности полупроводника.

Для исследования были приготовлены пленки из НЧ TiO_2 и плазмонных НЧ «ядро–оболочка». Для этого к пасте диоксида титана были добавлены синтезированные наноструктуры типа «ядро-оболочка» (Ag-TiO_2). В полученных смесях концентрация НЧ Ag была равна 0; 0,5; 1 и 2 масс%. Далее на подготовленные образцы сорбировали полиметиновый краситель (ПК) в этанольном растворе с концентрацией 10^{-4} моль/л. Структурная формула исследуемого полиметинового красителя представлена на рисунке 1.

Спектры поглощения были измерены на спектрофотометре Cary 300, спектры флуоресценции на спектрофлуориметре Cary Eclipse (Agilent Technologies). Времена жизни возбужденного состояния молекул измерялись с помощью импульсного спектрофотометра с регистрацией в режиме время–коррелированного счета фотонов (Becker&Hikl, Germany). Возбуждения осуществлялись пикосекундным лазером с длиной волны генерации λ=532 нм. Средний диаметр наночастиц «ядро-оболочки» Ag-TiO_2 определен методом динамического рассеяния света с помощью анализатора Nanosizer 90S (Malvern) и равен 24 нм. Абсолютные квантовые выходы флуоресценции ($\varphi_п$) красителей измерены с помощью интегрирующей сферы (Avantes, Нидерланды). Вольт–амперные характеристики (ВАХ) солнечных ячеек измеряли при освещении ячеек светом ксеноновой лампы с мощностью излучения 100 мВт/см^2 на измерительном комплексе Cell Tester Model (Photo Emission Tech., США). Измерения проводились в фотовольтаическом режиме при комнатной температуре. По полученным значениям напряжения холостого хода, тока короткого замыкания и фактора заполнения определяли значение КПД ячеек.

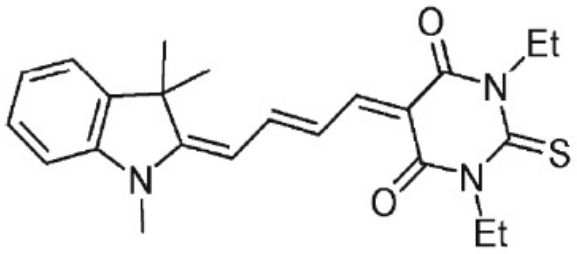
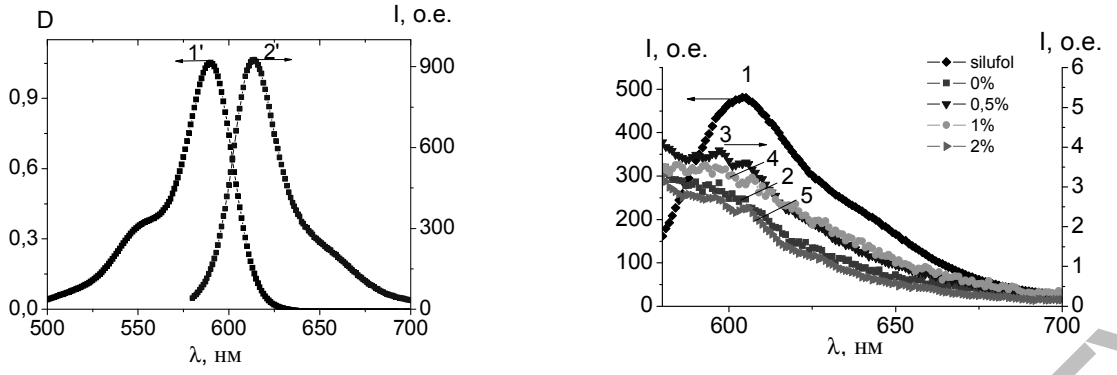


Рисунок 1. Структурная формула ПК

Как показали измерения, максимум спектра поглощения ПК приходится на 590 нм в этаноле, а максимум полосы флуоресценции на 614 нм (рисунок 2а) и 610 нм на поверхности диэлектрика (silufol). Максимум спектра поглощения и флуоресценции ПК в пленках TiO_2 приходится на 580 нм и 603 нм, соответственно (таблица 1, рисунок 2б). Добавление НЧ Ag-TiO_2 не влияет на форму и положение полос поглощения и флуоресценции красителя.

Репозиторий КарГУ



а б

Рисунок 2. (а) Спектры поглощения (1') и флуоресценции (2’) ПК в этаноле, (б) спектры флуоресценции ПК при $\lambda_{возб}$=530 нм, сорбированного на поверхность SiO_2 (1) и TiO_2 с разной концентрацией ядро-оболочки Ag–TiO_2: 2 – 0%; 3 – 0,5%; 4 – 1%; 5 – 2%

Таблица 1. Характеристика спектров поглощения, флуоресценции, времена жизни (τ), и квантовые выходы флуоресценции (φ_{fl}) красителя, адсорбированного на поверхность TiO_2 с разной концентрацией НЧ Ag–TiO_2

Концентрация Ag, масс%	$^{abs}\lambda_{max}$, нм	D	$^{fl}\lambda_{max}$, нм	I, o.e.	I/D	τ, нс	φ_{fl}, %
0%	570	0,09	603	2,9	32,2	0,47	1,9
0,5%	570	0,12	603	3,9	32,5	0,498	2,2
1%	570	0,13	603	3,5	27	0,48	3,3
2%	570	0,09	603	2,8	31	0,51	2,6

Как видно из рисунка 3, для полиметинового красителя при увеличении концентрации НЧ Ag время жизни практически не меняется. На поверхности диэлектрика время жизни синглет–возбужденного состояния ПК составляет около 1,0 нс, на поверхности TiO_2 τ уменьшается в 2 раза и среднее время жизни составляет около 0,5 нс.

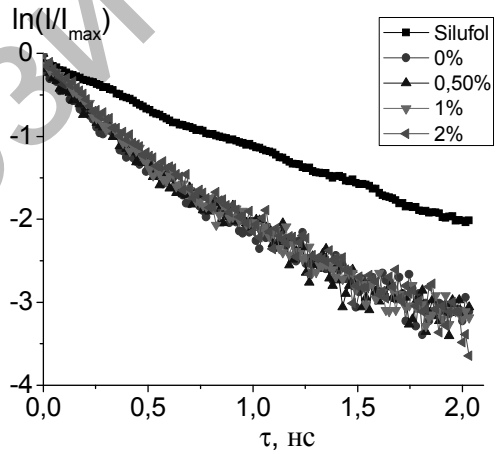


Рисунок 3. Кинетика затухания флуоресценции ПК на поверхности пористых полупроводниковых пленок Ag–TiO_2 с разными соотношениями НЧ «ядро-оболочка»

Добавление НЧ Ag–TiO_2 привело к увеличению квантового выхода флуоресценции по сравнению с чистым TiO_2 (таблица 1). Максимальное значение квантового выхода на поверхности TiO_2 соответствует образцу с концентрацией НЧ Ag/TiO_2 1% и составило около 3%. На поверхности диэлектрика квантовый выход равен почти 7%.

Репозиторий КарГУ

Результаты измерений ВАХ солнечных ячеек с разным содержанием Ag/TiO_2 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Фотовольтаические свойства ячеек, с различным содержанием структур Ag/TiO_2, сенсибилизированных ПК

Массовое содержание НЧ Ag/TiO_2	$J_{кз}$ мкА/см^2	$U_{хч}$ В	FF	η %	R_P кОм/см^2	R_S кОм/см^2
TiO_2	18	0,355	0,3	0,013	3,2	4,1
TiO_2 + 0,5% Ag/TiO_2	24	0,417	0,3	0,019	4,9	6,7
TiO_2 + 1 % Ag/TiO_2	60	0,373	0,2	0,027	2,9	1,1
TiO_2 + 2 % Ag/TiO_2	27	0,305	0,2	0,012	3,9	2,0

Сравнение данных показывает, что добавление НЧ Ag/TiO_2 приводит к улучшению некоторых основных фотовольтаических характеристик ячеек. Оптимальная концентрация НЧ Ag/TiO_2 составила 1%. Наибольшие изменения наблюдаются на токе короткого замыкания и КПД ячеек.

Таким образом, исследование влияния НЧ Ag/TiO_2 на мероцианиновый краситель показало, что добавление Ag/TiO_2 приводит росту квантового выхода красителя, при этом интенсивность флуоресценции заметно не изменилась. Также наблюдается рост фотовольтаических показателей ячеек в присутствии НЧ Ag/TiO_2, например таких, как ток короткого замыкания и коэффициент полезного действия солнечных ячеек.

Литературы

1. H.K. Kumar, N. Venkatesh, H. Bhowmik, A. Kuila. Biomed J Sci & Tech.Res. V. 4 (2), P. 3765-3775 (2018)
2. M A Garcia. J.Phys. D: Appl..Phys., V. 44 (28), P.283001, (2011)
3. S. Eustis and M. A. El-Sayed Chem Rev. Soc. 35 209. (2006)
4. E.M. Larsson, C.Langhammer, I. Zoriж, b.Kasemo. Science. V. 326. P.1091 (2009)
5. W.L. Barnes, a.Dereux, T.W. Ebbesen. Nature. V. 424. P. 824 (2003)

N.Tompakova[1], A.Fedosimova[1,2], E.Dmitriyeva[1], I.Lebedev[1], B.Mukashev[1], A.Serikkanov[1] and A.Temiraliev[1,2]

[1]Institute of Physics and Technology, Satbaev University, Almaty, Kazakhstan, [2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, [*]Corresponding author: abzal.temir@yandex.kz

Modeling the formation of pattern fractal structures in thin films of a chemical reaction with diffusion

A significant concentration of a huge number of interacting objects leads to the emergence in the dynamic system of new collective properties when any local perturbation, with a sufficient density of particles, affects the entire condensed medium. The nature of collective excitations determines the various properties of the system and leads to the emergence of various nanostructured ensembles. In complex open systems with a huge number of interacting objects, collective phenomena such as self-organization of structures arise. Such a collective action in the formation of structures G. Haken called "synergetics" [1]. Nanoclusters and particles with a large surface area have excess potential energy and high chemical activity. Therefore, no activation energy is required for aggregation processes and reactions with other compounds for the appearance of substances with new properties.

Репозиторий КарГУ

As A.Poincare once pointed out: in some non-integrable mechanical systems, the evolution of which, although determined by the Hamiltonian approach, may lead to unpredictable chaotic behavior. In real systems, irreversible dissipative processes are present, such as diffusion or a chemical reaction, and entropy grows in them. In this case, it is effective to use the methods of the nonlinear theory of dynamical systems, when instead of differential equations the Poincaré maps with bifurcations and other phenomena of the nonlinear theory are used. Knowledge of elementary microscopic processes will allow to identify the collective organization of a macroscopic cluster. The correlated interaction of a large number of elements of an ensemble can lead to the well-known phenomenon of self-organization.

The thin layers of tin dioxide SnO_2 can change the electrical conductivity during gas adsorption and this became the basis for their use in semiconductor sorption sensors along with other applications. Currently, several methods for producing tin dioxide based on the sol-gel technology have been developed [2–4]. For gas-sensitive sensors, films with a controlled porous structure are of particular interest. Essential is the fact of experimental confirmation of the occurrence of fractal-cluster structures of colloidal particles of the dispersed phase.

Models for the formation of fractal structures differ in clusterization mechanisms: models of diffusion-limited aggregation [5], models of cluster-cluster aggregation [6]. The low probability of particles or clusters sticking together leads to deep penetration of the clusters into each other and the formation of small fractal clusters [7-12].

We simulate a sol-gel process with harsh chemical reactions against the background of slow diffusion by a nonlinear parabolic equation. In diffusion processes, the mass flow is due to the motion of particles participating in Brownian thermal chaotic motion with energy $\boldsymbol{kT}$ ($\boldsymbol{T}$-absolute temperature, Boltzmann $\boldsymbol{k}$-constant). Mathematical models of diffusion processes are based on the fundamental laws of conservation of matter in the integral or differential form of the Ostrogradsky-Gauss equations. For small differences in the concentration of the substance u (r, t), we apply the law for the diffusion flux: [$D \cdot grad\ u(r,t)$]. In case of significant changes in concentration over time, the law of diffusion applies: $\dot{u}_t = D \cdot \ddot{u}_{rr}$

The concentration of reagents, depending on the scheme and mechanism of the dynamic process, can simultaneously decrease in proportion to the concentration and increase in parallel competing, sequential or reversible chemical reactions. Given that the diffusion process for the concentration of the substance $\boldsymbol{u(r,t)}$ in the approximation of deterministic dynamic chaos is described by the diffusion equation with dynamically determined chaos. So, the differential equation of the diffusion process in a chemically active medium with a dynamically determined randomness associated with the quadratic nonlinearity $\boldsymbol{u^2}$ can be represented in the form [14]:

$$k_p \cdot \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[D(u)\frac{\partial u(x,t)}{\partial x}\right] + k(t) \cdot \varphi(u)$$

with diffusion coefficient $\boldsymbol{D(u)}$, porosity coefficient $\boldsymbol{k_p}$ [11] and evolution parameter $k(t)$ in a quadratically nonlinear function:

$$\varphi(u) = A(\alpha \cdot u - \beta \cdot u^2)$$

with a normalization coefficient A, which will determine the degree of rigidity of the process. The nonlinear function $\boldsymbol{\varphi(u)}$ is the density of the internal source of the formation of structures in the evolutionary competition of the processes of generation and recombination of the elements of a substance (atoms, ions, molecules, clusters) of a dynamic system with production coefficients $\boldsymbol{\alpha}$ and absorption $\boldsymbol{\beta}$. For certain values of the evolution parameter $k(t)$, the so-called dynamically determined chaos arises.

Репозиторий КарГУ

The expected characteristics of a thin film of tin dioxide are determined mainly by the fractal dimension of the clusters, which are determined by the evolution parameter $k(t)$ of the deterministic chaotic dynamical system. The evolution parameter may also depend on the influence of thermal effects on the properties of films $[k(t) \to k(t,T)]$.

After replacing the partial derivatives by their discrete analogues, we obtain a difference scheme:

$$\frac{(u_{i+1,j}-u_{i,j})}{\Delta t} = \frac{\sigma}{(\Delta x)^2}\left(u_{i+1,j-1} - 2u_{i+1,j} + u_{i+1,j+1}\right) + \frac{1-\sigma}{(\Delta x)^2}\left(u_{i,j-1} - 2u_{i,j} + u_{i,j+1}\right)$$

For σ=1/2, the average of the two central derivatives is obtained (the Crank-Nichols scheme), for σ=0 the usual explicit scheme and σ=1 the implicit scheme.

We rewrite the implicit difference scheme (σ = 1)

$$\frac{(u_{i+1,j}-u_{i,j})}{\Delta t} = \frac{D}{(\Delta x)^2}\left(u_{i+1,j-1} - 2u_{i+1,j} + u_{i+1,j+1}\right) + f(u_{i,j})$$

as:

$$A_j u_{i+1,j-1} - B_j u_{i+1,j} + C_j u_{i+1,j+1} = F_j$$

The value from the lower layer, which is known, we have enclosed in the coefficient F_j. The remaining coefficients are expressed in steps of time, space and *D*. So we got difference equations that are connected by a system of linear algebraic equations. To complete the formation of a closed system of equations, it suffices to supplement it with an appropriate representation of the initial and boundary conditions.

The results of computer numerical calculations of the differential equation of evolution of the state of a dynamic system in the sol-gel process are shown in Figures 1 and 2.

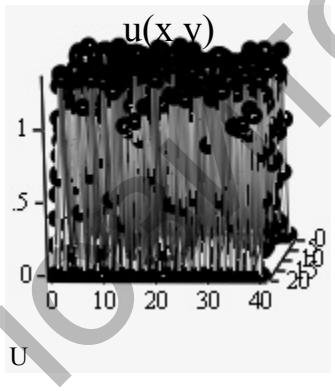


Figure 1 - Formation of thin film structure in a sol-gel process at k=0.97

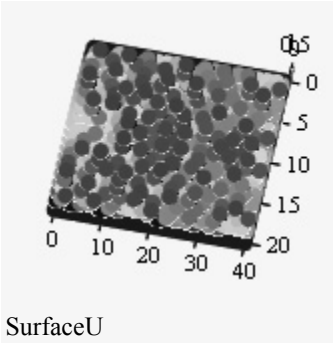


Figure 2 - Formation of thin film surface structure in a sol-gel process at k=0.97

The formation of structures depends on the evolution time, which in our model is determined by the parameter k(t) and is shown in Figure 3.

Moderation is programmed by setting several pairs of initial conditions for the concentration of reagents. A combined matrix is formed from separate matrices of solutions of the nonlinear differential equation for different initial conditions. The calculations of the evolution of the dynamic system of a chemical reaction with diffusion of this sol-gel formation of thin films are shown in Figures 1, 2 and 3. The constructed trajectories on the phase plane reflect the dynamics of the

Репозиторий КарГУ

concentration of intermediate products of the chemical reaction. Model parameters are initial concentrations.

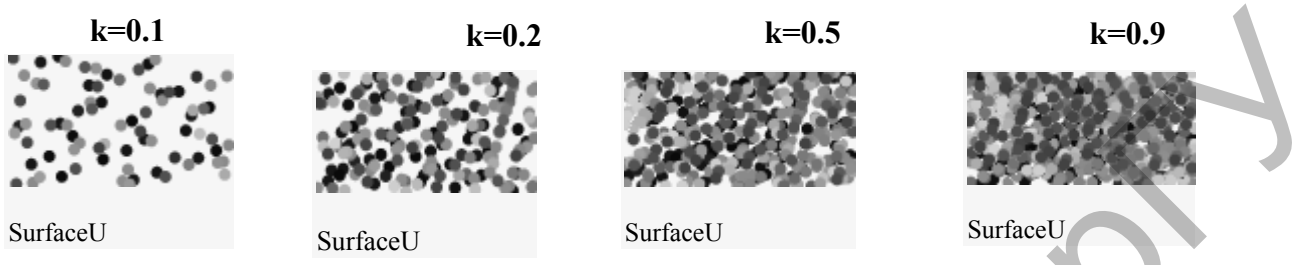


Figure 3 - Stages of the formation of surface structures of a thin SnO_2 film with parameter k=0.1; k=0.2; k=0.5; k=0.9

A study is being made of the solution of a nonlinear differential equation depending on various initial conditions. There is a direct proportion to the ripening temperature of thin films and the evolution time in modeling the sol-gel system. More specifically, this is the number of steps in numerically solving a differential equation. The model is constructed in accordance with the idea of the so-called Prigogine brussellator [15] for solving the system of equations of an autocatalytic chemical reaction with diffusion. Moderation is programmed by setting several pairs of initial conditions for the concentration of reagents. A combined matrix is formed from separate matrices of solutions of the nonlinear differential equation for different initial conditions. The calculations of the evolution of the dynamic system of a chemical reaction with diffusion - sol-gel formation of thin films are shown in Figures 4 and 5. The constructed trajectories on the phase plane reflect the dynamics of the concentration of intermediate products of a chemical reaction. The parameters of the model are the initial concentration.

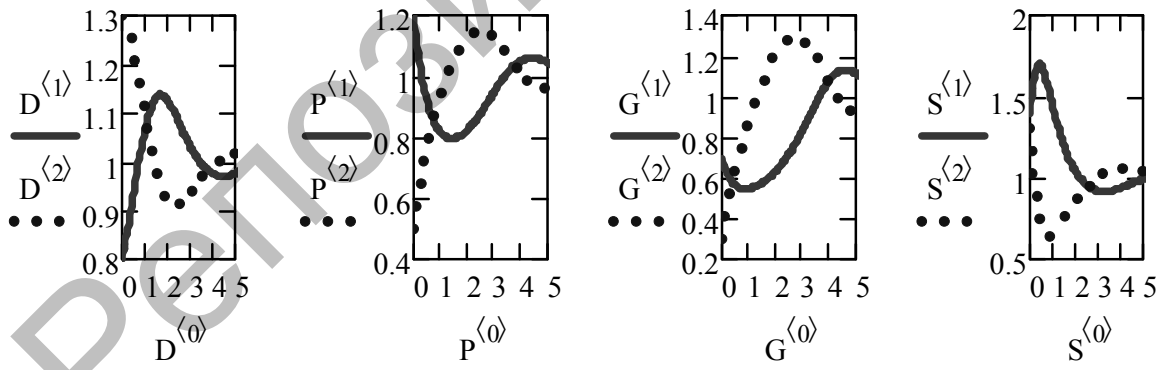


Figure 4 - The graph of the time dependence of the solution of the differential equation.

From Figure 5 it can be seen that all the trajectories from the solution of the system of differential equations that come from different starting points converge to the so-called attractor with coordinates (1,1) from the theory of nonlinear dynamical systems. In this case, this attractor is a “node”. The counteraction of various direct and reverse chemical reactions along with coagulation and peptization in a dispersed medium in sol-gel processes with a stochastic diffusion component

Репозиторий КарГУ

leads to the establishment of a certain stationary state with equilibrium concentrations. This will allow to obtain optimal parameters.

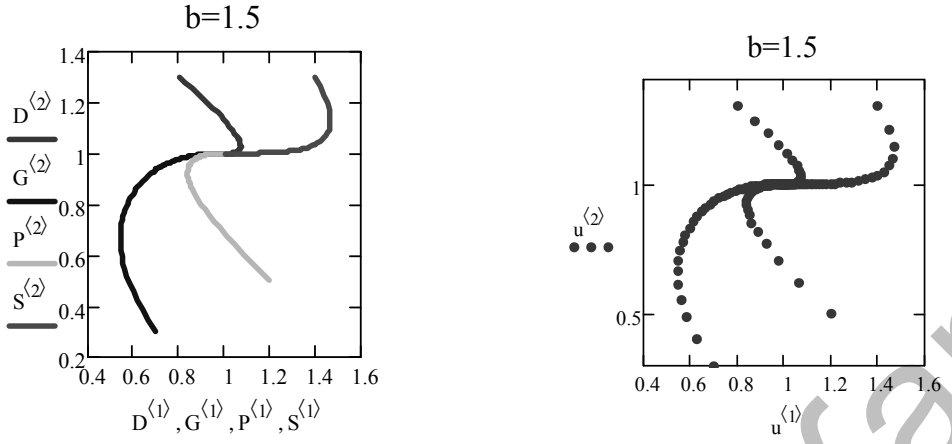


Figure 5 -. Comparisons of two different methods for calculating the phase portrait of the evolution of the sol-gel process at different initial concentrations of chemical reagents

The presence of fractal structures in the experimental results on thin films means the presence of nonlinear collective phenomena associated with the stochastic process. Fractal dimension is an essential parameter for understanding the properties of film roughness. Algorithms of evolutionary programs were developed and numerical computer calculations were performed for a model representation of the formation of nano-structured clusters of thin films. An interesting review of the fractal analysis of thin films is given in [16].

References

1. H. Haken Application of the maximum information entropy principle to selforganizing systems. Zeitschrift für Physik B Condensed Matter, 1985 - Springer
2. Dmitrieva E A at al.: Glass Physics and Chemistry 40 31 (2014)
3. Mukashev B N at al.: Materials Science and Engineering B 118, 164 (2005)
4. Mukhamedshina D M at al.: High Temperature Material Processes 10 603 (2006)
5. Witten Jr T A and Sander L M.: Phys. Rev. Lett. 47 1400 (1981)
6. Brinker C J and Scherer G W J.: Non-Cryst. Solids 70 301 (1985)
7. Moshnikov V A and Alexandrova O. A.: New nanomaterial. Synthesis. Diagnostics. Modeling (SPb.: Publishing house Etu "LETI") (2015)
8. Pan T at al.: Phys. Rev. Lett. 120 248101 (2018)
9. Thai M H, Pan R, Ahn J, Bang J, Quan H T and Li T.: Phys. Rev. Lett. 120 080602 (2018)
10. Zhang W at al.: J. SCIENCE 342 1502 (2013)
11. Martinson L K and Malov Yu I: Differential equations of mathematical physics (M.:MSTU) (2002)
12. E. A. Dmitriyeva et al.: Doping of fluorine of tin dioxide films synthesized by sol-gel method // News NAS RK, Ser. Geology and Tech. sci.: V.1, N.433, pp. 73-79 (2019)
13. Korolenko P V et al.: Innovative methods of analysis of stochastic processes and structures in optics. Fractal and multifractal methods (M.: Moscow state University, SINP) (2004)
14. A.I. Fedosimova et al.: Modeling the process of formation of fractal structures in thin films. In: J.Phys.: Conf. Ser. V.1141, N.012004 (2018)
15. Prigozhin "Self-organization in nonequilibrium systems." M., Mir, 1979
16. Fredrick M. Mwema, Esther T. Akinlabi, Oluseyi P. Oladijo Fractal Analysis of Thin Films Surfaces: A Brief Overview Advances in Material Sciences and Engineering, pp 251-263, 2019

Репозиторий КарГУ

Т. Тусеев, Н.Е. Бейбиталы
КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,turgaratus@mail.ru

Радиационностимулированные адсорбционные процессы на поверхности окиси бериллия

Введение. Бериллий и его оксид (BeO) /1/широко применяются в атомной и химической промышленностии и всегда привлекают, и будут привлекать, внимание исследователей к этому объекту. В последнее время было замечено,что BeO может применяться как катализатор с развитой поверхностью и на это свойства (каталитические) в определенной степени влияет внешние факторы (температура, облучение и т.п.) /2/

В настоящее время неоспоримы фактом является то, что, посредством воздействия ядерных излучений может вызвать кардинальные изменения физико-химических свойств материалов. Это во многом относится и к поверхностным свойствам оксидных материалов /3-7/.

Поскольку во многом изменение адсорбционных свойств твердого тела является следствием появления радиационных дефектов, то изучая взаимодействие адсорбата и адсорбента, можно попытаться установить природу этих дефектов. Изучая кинетику адсорбции, можно проследить за скоростью накопления радиационных на поверхности облученного материала, определить энергетические характеристики (глубину уровня в запрещенной зоне, энергию взаимодействия с молекулой адсорбата), выяснить механизм передачи энергии от твердого тела, подвергнутого облучению, к адсорбированной молекуле и т.д. Используя физические и химические методы исследований (ЭПР, ИК-, масс-спектрометрия) можно делать определенные выводы о природе поверхностных радиационных дефектов, об их адсорбционной активности, времени жизни, энергии активации отжига. При этом в качестве своеобразного “щупа” могут выступать адсорбаты с ярко выраженными акцепторными (кислород) и донорными (водород) свойствами.

Таким образом исследование влияния излучения на твердые тела с развитой поверхностью и изучение адсорбционных процессов на облученных материалах представляет собой новую область изучения электронных и структурных факторов, позволяющих понять роль свободных и локализованных носителей электрических зарядов в элементарных актах катализа и хемосорбции, а также выяснить способность адсорбированных молекул служить ловушками электронов и дырок и конкурировать с другими ловушками - структурными дефектами или примесными атомами, находящимися на поверхности твердых тел /8-12 / . И только имея достаточно полную информацию по всем указанным выше факторам можно ставить задачу получения эффективных систем с заранее прогнозируемыми физико-технологическими свойствами.

Результаы и обсуждение. Фотоадсорбционные исследования O_2 на BeO ИК-спектроскопическим и манометрическим методами при изменении температуры предварительной прокалки от 473 до 1073 К показывают, что наибольшей активностью обладают образцы, подвергнутые предварительной тренировке при 473 К, т. е. с увеличением температуры прокалки, в отличие от SiO_2 на BeO происходит уменьшение скорости фотосорбции: при 1073 К скорость фотоадсорбции близка к нулю.

В ИК спектре вакуумированного BeO после облучения появляется полоса поглощения 3590 $см^{-1}$, принадлежащая водородносвязанным поверхностным ОН- группам. Дальнейшее УФ -облучение сильно увеличивает поглощение в области 3000-3800 $см^{-1}$, и полоса поглощения изолированных ОН- групп полностью сглаживается (рис.1).

Напуск O_2 и облучение BeO**,** обработанного при 673-773 К, вызывает уменьшение интенсивности полос поглощения изолированных ОН- групп 1 типа (3750 $см^{-1}$), появление

Репозиторий КарГУ

слабых пиков в области 3680-3720 см$^{-1}$ и постоянный рост полосы изолированных ОН- групп типа (3630 см-1).

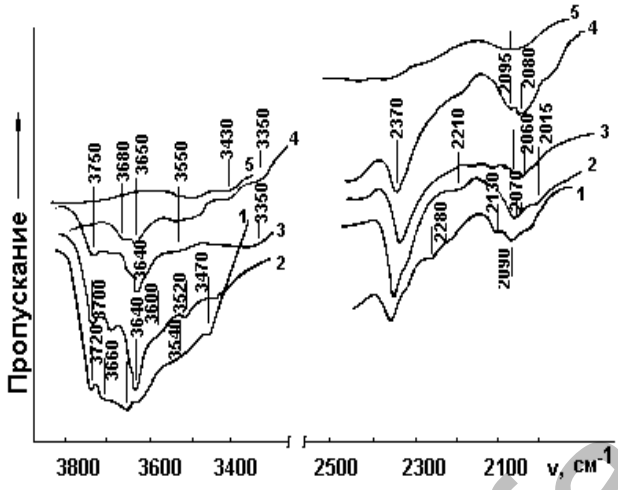


Рисунок 1. Влияние УФ-облучения на ИК-спектры BeO 1 -$T_{пр}$=473 К,2- 673 К, 3-873 К, 4-973 К, 5-1073 К ($t_{обл}$=7 ч.)

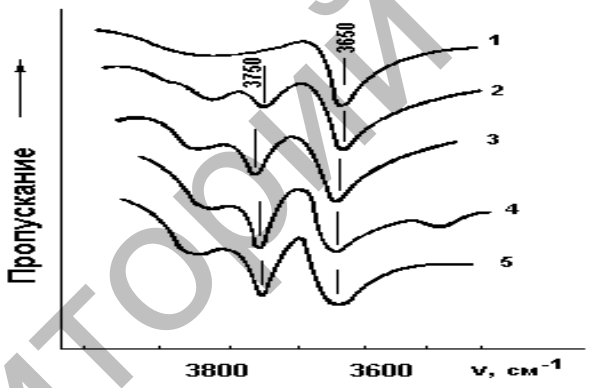


Рисунок 2. ИК- спектры поглощения γ-облученного BeO.
. 1-исходный спектр, 2-спектр после облучения, D_{γ}=0.024 МГр 3-напуск H_2, 4-через 2.5 ч. после напуска , 5-через 5 ч.$T_{пр}$=873 К

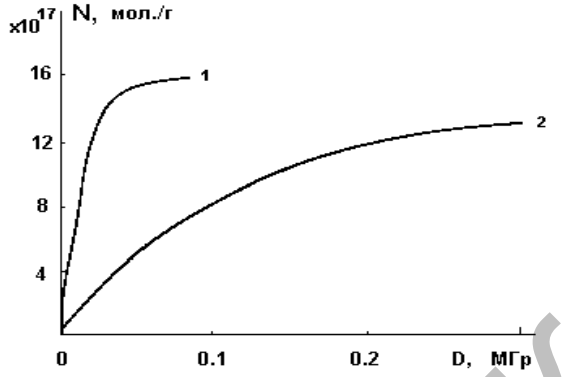
Сопоставление ИК- спектроскопических, ЭПР- и манометрических данных позволяет сделать заключение, что центрами γ-адсорбции для кислорода и водорода являются парамагнитные центры, обладающие электронными и дырочными свойствами. Возможны вторичные процессы с участием поверхностных гидроксильных групп и адсорбированных молекул. Не исключается возможность окисления органики в присутствии органики. Подробные исследования закономерностей радиационной адсорбции водорода и кислорода были приведены на образцах BeO, тренированных при 473-1023 К в поле γ-излучения (рис.3).

Предполагается, что уменьшение интенсивности полосы 3750 см$^{-1}$ и появление пиков 3680-3720 см$^{-1}$ обусловлено участием ОН- групп 1 типа, играющих роль протона в водородной связи, в адсорбции кислорода.

На образцах, отожженных предварительно при 1073 К, напуск кислорода, а также УФ-облучение не вызывает никаких изменений в ИК- спектре BeO. Возможно, в этом случае мы имеем дело со спеченной поверхностью.

Репозиторий КарГУ

На γ-облученной окиси бериллия максимум адсорбционной активности наблюдается на образцах, прокаленных перед облучением при 673 К. Максимум парамагнитных центров наблюдается также при этой температуре. Адсорбция кислорода и водорода вызывает уменьшение числа ПМЦ. В ИК- спектре наряду с уменьшением интенсивности гидроксильных групп (в первую очередь полосы 3740 $см^{-1}$) появляются полосы 3580 и 3680 $см^{-1}$,соответствующие адсорбированной воде и водородосвязанным ОН- группам (рис.2).



1-адсорбция водорода, 2-адсорбция кислорода.(Р=113 Па).

Рисунок 3. Дозовая зависимость радиационной адсорбции газов на окиси бериллия

Количество адсорбированного газа меняется симбатно начальному давллению и дозе облучения, при этом начальная скорость адсорбции водорода больше, чем кислорода. При одинаковых начальных давлениях в случае адсорбции водорода для насыщения требуются меньшие дозы по сравнению кислородом.

Термодесорбция адсорбированных H_2 и O_2 происходит при температурах больше 423 К, при этом у кислорода наблюдается два максимума выделения: 453-533 К и 573 - 673 К-характерные области выделения водородно-связанных и координационно-связанных молекул соответственно.

Заключение. Сопоставление ЭПР и адсорбционных исследований показывает, что при поглощении H_2 и O_2 происходит гибель парамагнитных центров, что, в свою очередь, является свидетельством образования на поверхности BeO центров адсорбции с электронными и дырочными свойствами. В то же время несовпадение областей доз поглощения (до 0.3 Мгр при адсорбции и 0.6 Мгр и более для ЭПР-центров)и температуры отжига (573-673К и ниже- адсорбционные центры, 723 К и выше- парамагнитные центры) указывает на неидентичность обеих видов центров. Предполагается, что при облучении образуются как поверхностные, так и объемные парамагнитные центры.

Литературы:

1.Макурин Ю.Н. Керамика на основе оксида бериллия: получение, физико-химические свойства и применение. М:Из-во:Наука,2006г.417 стр.

2.Зарипов Р. Р Назаров А. А. Поникаров С. И. Катализаторы, применяемые при каталитическом дегидрировании углеводородов.Вестник Казанского технологического университета, № 3, 2013, стр. 67-75.

3.Dey S. et al.. Radiation tolerance of nanocrystalline ceramics: insights from Yttria Stabilized Zirconia. Sci. Rep. 5, 7746 (2015

4. Petrik, N.G.; Alexandrov, A.B.; Orlando, T.M.; Vall, A.I. Radiation-induced processes at oxide surfaces and interfaces relevant to spent nuclear fuel storage.- Transactions of the American Nuclear Society; ; v. 81; p. 101-102

5.Was G. S. Fundamentals of Radiation Materials Science (Springer, New York, 2007).

6. Zinkle S. J. & Was G. S. Materials challenges in nuclear energy. Acta Mater. 61, 735–748 (2013

Репозиторий КарГУ

7.Rollett D., Wang Y., Carpenter J. S., Beyerlein I. J. & Misra A. Design of radiation tolerant materials via interface engineering. Adv. Mater. 25, 6975–6979 (2013)

8.Tuseyev T. Radiation effects on oxide material surface. Book of abstracts of the fifth Eurasian conference on Nuclear science and its application, 14-17 october 2008,Ankara-Turkey, p.127-129
9.Т.Тусеев. Парамагнитные дефекты на кварце, облученном заряженными частицами // Известия МН-АН РК ,серия физ.-мат наук., 2000, № 4,с.31-34.

10.T.Tuseyev, A Polyakov, M Bitenbaev. About kinetics of detect accumulation in irradiated oxides of metals. Abstracts the “Eurasia conference on Nuclear science and its applications”, Izmir (Turkey),2000, p. 23-27.

11.Тусеев Т. Изучение свойств поверхности облученных оксидных материалов. Труды 6-ой Международной конференции « Ядерная и радиационная физика». –Алматы- 2008. с.167-176.

12.Тусеев Т., Поляков А.И., Битенбаев М.С. Накопление радиационных центров адсорбции на поверхности облученных оксидов.. Изв. Вузов. Физика. –2011.т.54,№1/3.с.294-297

В.М. Юров

Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова,Караганда, Республика Казахстан, exciton@list.ru

Сколько атомов находится от поверхности томарно-гладких кристаллов?

Введение Гиббс [1] рассматривал поверхностный слой как геометрическую, не имеющей толщины поверхность. Для термодинамики поверхностный явлений используется поход Ван-дер-Ваальса, Гуггенгейма, Русанова, в котором поверхностный слой рассматривается как слой конечной толщины [2]. По современным представлениям [3] под поверхностным слоем понимают сверхтонкую пленку, находящуюся в термодинамическом равновесии с кристаллической подложкой, свойства, структура и состав которой отличны от объемных. Однако, вопрос о толщине поверхностного слоя остается пока открытым. Заранее не очевидно, насколько далеко от поверхности кристаллов следует учитывать смещение атомов.

В настоящей работе мы рассмотрим модель поверхностного слоя атомарно-гладких кристаллов, пренебрегая шероховатостью поверхностью, которая у поверхности скола полупроводников оказываются порядка 0,05 нм или больше.

О толщине поверхностного слоя: Относительно толщины поверхностного слоя существуют различные подходы. Так, в работе [4] вводится понятие естественного поверхностного слоя металла, который по механическим, физическим, а иногда и химическим свойствам, отличается от основного объема металла. В этом слое возникают большие напряжения за счет следующих технологических операций:

- термическая обработка (например, закалка, отпуск, отжиг);
- химическая обработка (например, карбонизация, азотирование);
- электрохимическая обработка (например, электролитическое покрытие);
- физическая обработка (например, имплантация ионов).

Исследование таких поверхностных слоев, основной характеристикой которых является шероховатость поверхности, привело к созданию научного направления – инженерия поверхности [5]. Эта отрасль знаний уделяет внимание вопросам коррозии металла, трибологии, процессам износа материала и его разрушения. Назовем этот слой металла – технологическим слоем, толщина которого равна от долей до сотен микрона.

При раскалывании монокристаллов в вакууме по плоскости спайности могут образовываться три типа поверхностей: сингулярные (атомно-гладкие), вицинальные (ступенчатые), несингулярные (диффузные) поверхности (рис. 1) [6]. Исследование таких поверхностей стало возможным после развития техники сверхвысокого вакуума, атомно-силовой и туннельной спектроскопии [7, 8]. Мы будем рассматривать, в основном, атомно-

Репозиторий КарГУ

гладкие поверхности, хотя и будем освещать некоторые моменты и других типов поверхностей [9].

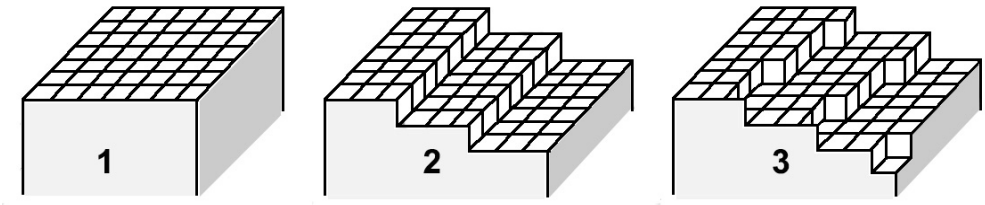


Рисунок 1 - Три типа поверхностей: сингулярные (атомно-гладкие) - 1, вицинальные (ступенчатые) - 2, несингулярные (диффузные) поверхности – 3.

Описание модели: В работе [10] обобщена, предложенная нами, модель поверхностного слоя атомарно-гладких металлов. Схематически эта модель представлена на рис. 1 Поверхностный слой атомарно-гладкого металла состоит из двух слоев – d(I) и d(II).

Слой толщиной при h=d назван слоем (I), а слой при h≈10d – слоем (II) атомарно-гладкого кристалла (рис. 2). При h≈10d начинает проявляться размерная зависимость физических свойств материала. При h=d в поверхностном слое происходит фазовый переход.

Он сопровождается резкими изменениями физических свойств, например, прямой эффект Холла-Петча меняется на обратный, происходит релаксация и реконструкция поверхности [3] и т.д. Значения слоя d(I) для некоторых металлов приведены в таблице 1.

Для определения толщины поверхностного слоя различных соединений нами использовалась размерная зависимость некоторого физического свойства A(r):

$$\begin{aligned} A(r) &= A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{r}\right), \qquad r >> d \\ A(r) &= A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{d+r}\right), \quad r \le d. \end{aligned} \qquad (1)$$

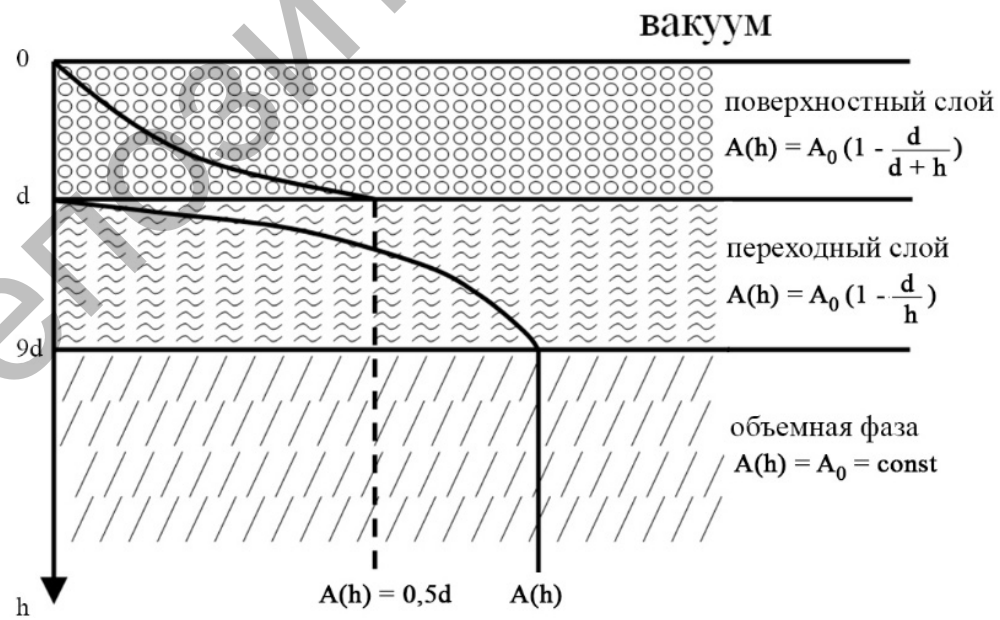


Рисунок 1 - Схематическое изображение поверхностного слоя [10]

Репозиторий КарГУ

Таблица 1- Толщина поверхностного слоя d(I) некоторых чистых металлов

Me	d, нм	Me	d, нм	Me	d, нм	Me	d, нм	Me	d, нм	Me	d, нм
Li	2.2	Sr	5.9	Sn	2.8	Cd	3.4	Fe	1.2	Gd	3.4
Na	4.5	Ba	6.6	Pb	3.1	Hg	1.8	Co	1.1	Tb	3.3
K	7.7	Al	1.6	Se	2.8	Cr	1.2	Ni	1.1	Dy	3.3
Rb	10.0	Ga	2.0	Te	3.5	Mo	1.8	Ce	3.6	Ho	3.2
Cs	12.1	In	2.7	Cu	1.2	W	1.6	Pr	3.5	Er	3.2
Be	0.8	Tl	2.4	Ag	1.7	Mn	1.1	Nd	3.4	Tm	3.1
Mg	2.4	Si	2.0	Au	1.7	Tc	1.4	Sm	3.4	Yb	4.2
Ca	4.4	Ge	2.4	Zn	1.6	Re	1.5	Eu	5.0	Lu	3.0

Параметр d связан с поверхностным натяжением σ формулой:

$$d = \frac{2\sigma\upsilon}{RT}, \qquad (2)$$

Здесь σ–поверхностное натяжение массивного образца; υ–объем одного моля; R–газовая постоянная; T–температура. В [10] показано, что с точностью выполняется:

$$\sigma = 0.7 \cdot 10^{-3} \cdot T_m, . \qquad (3)$$

где T_m – температура плавления твердого тела (К). Соотношение выполняется для всех металлов и для других кристаллических соединений. При $T = T_m$ получим:

$$d(I) = 0.17 \cdot 10^{-3} \upsilon. \qquad (4)$$

Уравнение (4) показывает, что толщина поверхностного слоя d(I) определяется одним фундаментальным параметром – молярным (атомным) объемом элемента (υ = M/ρ, M – молярная масс (г/моль), ρ – плотность (г/см^3)), который периодически изменяется в соответствие с таблицей Д.И. Менделеева. Используя параметр кристаллической решетки [11] просчитаем количество монослоев n в слое металлов d(I).

Описание эксперимента: Большинство исследований уранатов щелочных элементов относится к соединениям лития. Они наиболее изучены и представляют собой разнообразные соединения с точки зрения количества атомов урана в элементарной ячейке. Используя уравнение (4) определим параметры уранатов лития табл. 2 и рис. 2 (n – число кристаллических слоев).

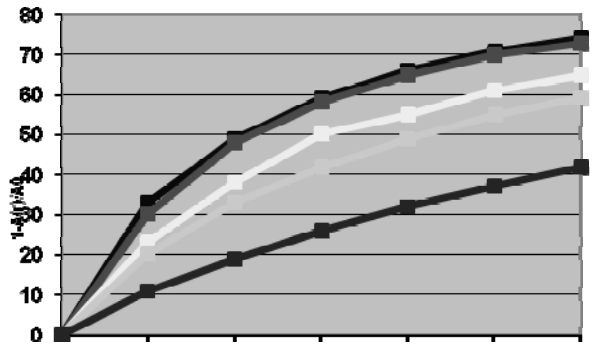


Рисунок 2 – Толщина поверхностного слоя d(I): 1- Li_2UO_4; 2- Li_4UO_5; 3- $Li_2U_2O_7$; 4- $Li_2U_3O_{10}$; 5- $Li_2U_6O_{19}$

Репозиторий КарГУ

Таблица 2 – Толщина поверхностного слоя уранатов лития

инерал	Молярная масса, г/моль	Плотность, г/см^3	d(I), нм	n
Li_2UO_4	316,0	5,23	10,3	a/b/c=24/24/17
Li_4UO_5	346,0	5,59	10,5	a/b/c =24/20/20
$Li_2U_2O_7$	602,0	6,28	16,3	a/b/c =5/14/15
$Li_2U_3O_{10}$	888,0	7,35	20,5	a/b/c=30/11/28
$Li_2U_6O_{19}$	1746	7,10	41,8	a/b/c =62/105/102

В координатах $I/I_0 \sim 1/r$ экспериментальная кривая спрямляется в соответствии с (1), давая значение d в соответствии с (2). Эта ситуация представлена на рис. 2.

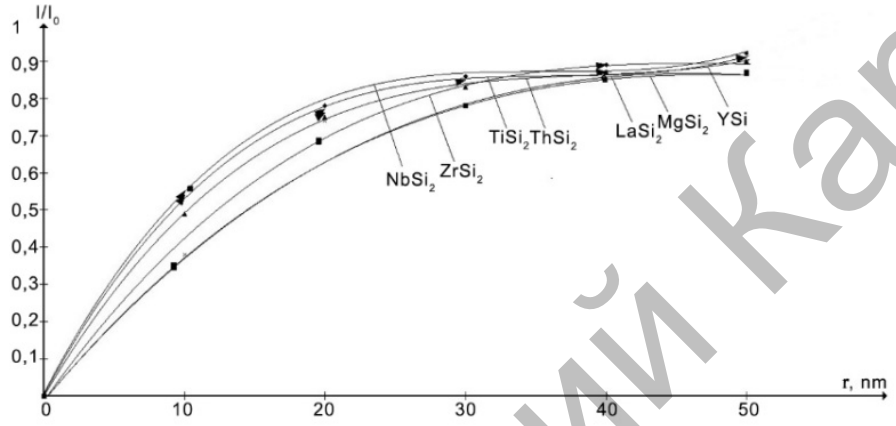


Рисунок 2 – Размерная зависимость интенсивности люминесценции I/I_0 от размера зерна люминофора

Приведем теперь поверхностную энергию и толщину поверхностного слоя d(I) тугоплавких металлов (табл. 3). В табл. 4 данные для галогенидов тугоплавких металлов.

Таблица 3 - Поверхностная энергия, толщина поверхностного слоя d(I) и число монослоев n тугоплавких металлов

Металл	T_m, K	σ, Дж/м^2	d(I), нм	n
Nb	2743	1.920	1.3	4
Mo	2893	2.025	1.8	6
Ta	3273	2.291	4.7	14
W	3683	2.587	1.6	5
Re	3453	2.417	1.5	a/c=6/3

Таблица 4 - Поверхностная энергия, толщина поверхностного слоя d(I) и число монослоев n хлоридов тугоплавких металлов

Металл	T_m, K	σ, Дж/м^2	d(I), нм	n
$NbCl_5$	477.7	0.334	16.7	74
$MoCl_5$	467	0.327	15.8	a/b/c=9/9/26
$TaCl_5$	493	0.345	16.3	a/b/c=9/9/28
WCl_6	557	0.390	19.2	29
$ReCl_6$	295	0.207	-	-
$ReCl_5$	551	0.386	12.6	-

Используя уравнение (4) определим параметры боросиликатов табл. 5.

Репозиторий КарГУ

Таблица 5 - Толщина поверхностного слоя d(I) боросиликатов

Минерал	Молярная масса, моль$^{-1}$	Плотность г/см^3	d(I), нм	d(II), нм
$Ba_3B_6Si_2O_{16}$	790,0	4,17	32,2	322
$BaB_2Si_2O_8$	341,9	3,78	15,4	154
$SrB_2Si_2O_8$	291,0	3,35	14,3	143
$CaB_2Si_2O_8$	245,6	3,0	14,0	140
$CaBSiO_4(OH)$	159,98	2,96	9,2	92
$Ca_4B_5Si_3O_{15}(OH)_5$	623,65	2,88	36,8	368
$Ca_2B_5SiO_9(OH)_5$	391,33	2,65	25,1	251

Для хлоридов тугоплавких металлов и боросиликатов толщина слоя изменяется от 13 до 200 нм. Это означает, что размерные эффекты наблюдаются уже при R~10d~2000 нм = 2 микрона. Слой d(I) попадает в мезоскопическую область, а слой d(II) имеет размеры в среднем около 200 нм и более, что в два раза превышает размер в 100 нм, характерный для наноструктур по Глейтеру [12]. Анализ округленных данных табл. 4 показывает, что число монослоев в слое d(I) для хлоридов тугоплавких металлов лежит в пределах 30-70.

«Обычные» размерные эффекты связанны с вкладом поверхностной энергии в энергию Гиббса. Их называют размерными эффектами I рода (по Щербакову Л.М. [13]). Такие размерные эффекты характерны для любых систем и определяются рассеянием квазичастиц (электронов, фононов и пр.) на границах системы. Фазовые размерные эффекты (размерные эффекты II рода) определяются всем коллективом атомов в системе (коллективные процессы). Такие размерные эффекты наблюдаются в нанокластерах и наноструктурах [14].

Заключение. Если за основу брать размерную зависимость какого-либо свойства (длина свободного пробега электрона, фонона, магнона и т.п.), то будем иметь множество размерных эффектов. Однако все эти эффекты разыгрываются в области размеров d(I) или d(II), которые определяются одним параметром – атомным объемом вещества, который играет фундаментальную роль и периодически изменяется в соответствие с периодическим законом

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК. Гранты №0118РК000063 и №Ф.0781.

Литературы:

1. Гиббс Дж.В. Термодинамические работы. М. – Л.: ГИТТЛ, 1950. – 303 с.
2. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. Л.: Химия, 1967. - 346 с.
3. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А. и др. Введение в физику поверхности. - М.: Наука, 2006. - 490 с.
4. Starzynski G. and Gambin W. Natural surface layer of metals // Acta Physica Polonica. 1996. Vol. 89. No. 3. – P. 377-381.
5. Dearnley P.A. Introduction to Surface Engineering. - Cambridge University Press, 2017. – 314 p.
6. Mamonova M.V., Prudnikov V.V., Prudnikova I.A. Surface Physics: Theoretical Models and Experimenal Methods. - CRC Press, 2016. – 384 p.
7. Paul W. Atomically defined tips in scanning probe microscopy. - Montreal, Québec, Canada, 2013. – 284 p.
8. Chen C.J. Introduction to Scanning Tunneling Microscopy. - Oxford University Press, 2015. – 488 p.
9. Folsch S., Riemann A., Repp J., Meyer G. and Rieder K.H. From atomic kinks to mesoscopic surface patterns: Ionic layers on vicinal metal surfaces // Phys. Rev. B, 2002, Vol. 66. – P. 161409-1 – 161409-4.
10. Юров В.М., Гученко С.А., Лауринас В.Ч.. Толщина поверхностного слоя, поверхностная энергия и атомный объем элемента // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2018.□ Вып. 10. – С. 691-699.
11. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение. СПб.: Химиздат, 2007. – 783 с.

Репозиторий КарГУ

12. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Acta mater. 2000. V.48. - P. 1-29.

13. Щербаков Л.М. О статистической оценке избыточной свободной энергии малых объектов в термодинамике микрогетерогенных систем // Доклады АН СССР. 1966. Т. 168. № 2. – С. 388-391.

14. Уваров Н.Ф., Болдырев В.В. Размерные эффекты в химии гетерогенных систем // Успехи химии. 2001. Т. 70 (4). – С. 307-329.

Г.К. Алпысова[1,2], В.М. Лисицын[3], Д.А. Мусаханов[1,3], Ш.Чжэн[3], Ж.Т. Карипбаев[1,3], Т.В. Гречкина[3]

[1]ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан. [2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, [3]Томский политехнический университет, Томск, Россия. E-mail: gulnur-0909@mail.ru

С пектры люминесценции ИАГ: СЕ люминофоров

Введение: С целью повышения эффективности люминофоров для СД проводится большое количество работ, направленных на разработку новых технологий синтеза, новых составов. Наиболее перспективными в настоящее время считаются люминофоры на основе ИАГ:Се. Их исследованию посвящено множество работ. Анализ опубликованных данных исследования спектральных характеристик заставляет обратить внимание на разницу в полуширинах и положении полос люминесценции люминофоров, синтезированных в разных условиях [1-4]. Нами выполнены исследования группы ИАГ:Се люминофоров разной предыстории с целью выяснения причин их различия.

Экспериментальная часть: Были измерены спектры люминесценции люминофоров СДЛ, YAG люминофоров, синтезированных в НПО «Платан» РФ и «Fultor Enterprises Co. Ltd» КНР и люминофоров, синтезированных в поле потока радиации при возбуждении излучением чипа с λ = 450 нм и азотного лазера с λ = 337 нм. Из промышленных люминофоров были выбраны SDL3500, SDL4000, YAG 01, YAG 02, очевидно различающихся технологическими режимами синтеза. Остальные люминофоры были синтезированы в поле потока радиации [5-7]. Измерялись спектры люминесценции люминофоров, полученных после синтеза механическим дроблением, а также после последующего отжига при температуре 1650 °С в течении 8 час.

Для достижения высокой точности измерений характеристик полос люминесценции был собран стенд.

В качестве источников возбуждения использовались чип, излучающий в области 450 нм, и азотный лазер с λ = 337 нм. Источники возбуждения, чип и лазер, обеспечивали возбуждение YAG:Ce люминофоров в максимумах полос поглощения люминофора. Поток возбуждения направлялся на люминофор. Серия исследуемых люминофоров размещалась на стеклянной подложке в металлических шайбах толщиной 1 мм и внутренним диаметром 6.5 мм. При подготовке люминофоры насыпались в шайбы и прессовались при слабом нагружении металлической пластиной для достижения ровной поверхности. Излишки люминофора с поверхности шайбы убирались. Подложка с люминофорами размещалась на столике с регулируемым смещением по одной координате микрометрическим винтом таким образом, чтобы каждый последующий люминофор в шайбе можно было установить точно в положение, в котором находился предыдущий.

Возникающая при возбуждении люминесценция через кварцевый оптический световод передавалось на спектрофотометр Avantes AvaSpec-2048L. Входное окно световода всегда находилось в одном и том же положении относительно образца с люминофором. Спектрофотометром регистрировался спектр люминесценции, который отражался на мониторе ноутбука и представлялся в виде нужном для дальнейшей обработки. Взаимное

Репозиторий КарГУ

расположение всех элементов стенда: источника возбуждения, шайбы с люминофором, окно светодиода, при проведении эксперимента всегда оставалось неизменным. Не изменялись при измерениях режимы питания элементов системы.

Режимы измерений: взаимное расположение элементов схемы, электропитания, подбирались таким образом, чтобы полоса люминесценции не была искаженной по форме. Положение полосы и ее полуширина определялись с использованием программы WebPlotDigitizer.

Результаты и обсуждение

Всего для исследований были выбраны 24 типа люминофоров. Среди них 4 типа промышленных люминофора: SDL3500, SDL4000, YAG 01, YAG 02.

20 люминофоров были изготовлены нами из синтезированной в поле радиации YAG керамики [7] путем дробления. Люминесценция измерялась для 10 образцов после синтеза и дробления и 10 образцов после последующего термического отжига тех же образцов при температуре 1650°C в вакууме.

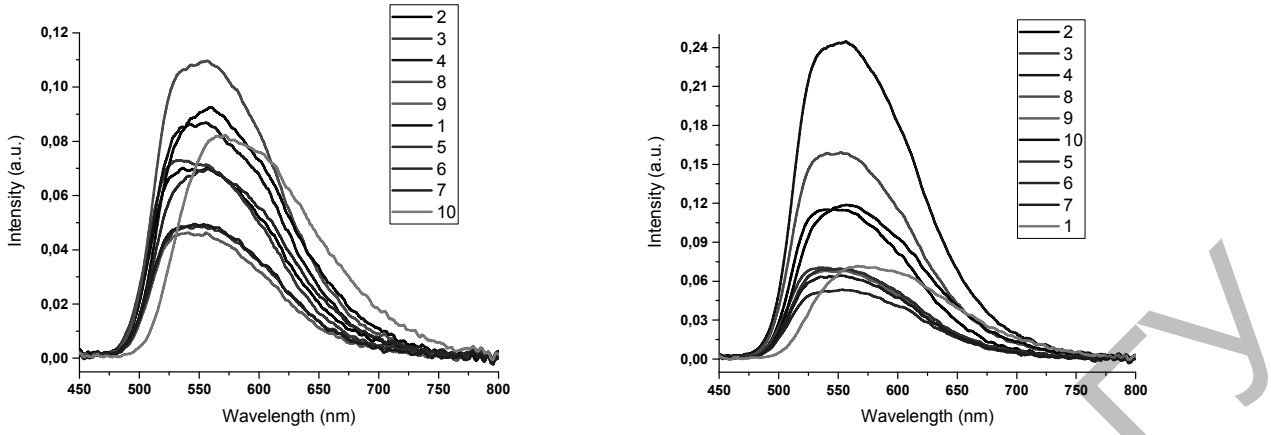
Люминофоры различались наличием в их составе введенного в качестве модификатора ионов гадолиния. Люминофоры 2-4 и 5-7 различались предысторией исходного для синтеза оксида алюминия. Использовались порошки Al_2O_3 полученные из ТОО «Лабор фарма» (Казахстан), квалификация ЧДА ТУ 6-09-426-75, завод химреактивов (Россия) квалификация ЧДА ТУ 6-09-426-75 и компании Hefei Zhonghang Nanotechnology Development Co., Ltd. (Китай) ZH-Al_2O_3-01. Составы 10 образцов керамики по шихте представлены в таблице 1.

Таблица 1. Обозначения и составы синтезированных образцов люминофоров

№	**Не отожженые образцы**
1	Al_2O_3 (59,5%) + Y_2O_3(35,7%) + Ce_2O_3(4,8%)
2	Al_2O_3 (43%) + Y_2O_3(55%) + Ce_2O_3(2%)
3	Al_2O_3 (43%) + Y_2O_3(55%) + Ce_2O_3(2%)
4	Al_2O_3 (43%) + Y_2O_3(55%) + Ce_2O_3(2%)
5	Al_2O_3 (40%) + Y_2O_3(52%) + Ce_2O_3(2%) + Gd_2O_3(6%)
6	Al_2O_3 (40%) + Y_2O_3(52%) + Ce_2O_3(2%) + Gd_2O_3(6%)
7	Al_2O_3 (40%) + Y_2O_3(52%) + Ce_2O_3(2%) + Gd_2O_3(6%)
8	Al_2O_3 (43%) + Y_2O_3(55%) + Ce_2O_3(2%)
9	Al_2O_3 (%) + Y_2O_3(%) + Ce_2O_3(4%)
10	Al_2O_3 (62%) + Y_2O_3(25%) + Gd_2O_3(13%)+Ce_2O_3(1%)
№	**Отожженые образцы**
1	Al_2O_3 (59,5%) + Y_2O_3(35,7%) + Ce_2O_3(4,8%)
2	Al_2O_3 (43%) + Y_2O_3(55%) + Ce_2O_3(2%)
3	Al_2O_3 (43%) + Y_2O_3(55%) + Ce_2O_3(2%)
4	Al_2O_3 (43%) + Y_2O_3(55%) + Ce_2O_3(2%)
5	Al_2O_3 (40%) + Y_2O_3(52%) + Ce_2O_3(2%) + Gd_2O_3(6%)
6	Al_2O_3 (40%) + Y_2O_3(52%) + Ce_2O_3(2%) + Gd_2O_3(6%)
7	Al_2O_3 (40%) + Y_2O_3(52%) + Ce_2O_3(2%) + Gd_2O_3(6%)
8	Al_2O_3 (43%) + Y_2O_3(55%) + Ce_2O_3(2%)
9	Al_2O_3 (%) + Y_2O_3(%) + Ce_2O_3(4%)
10	Al_2O_3 (59,5%) + Y_2O_3(23,8%) + Gd_2O_3(11,9%) + Ce_2O_3(4,8%)

Для каждого типа люминофора спектры измерялись 10 раз, рассчитывалась статистическая ошибка измерений в каждом случае. На рисунке 1 представлены спектры люминесценции ИАГ:Се люминофоров, синтезированных в поле радиации, при возбуждении лазером с длиной волны 337 нм.

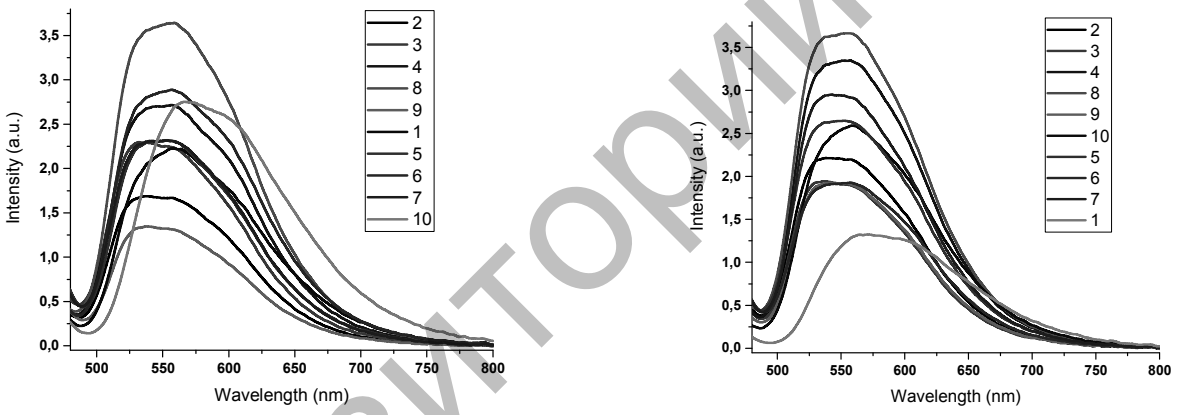
Репозиторий КарГУ



а) б)

Рисунок 1. Спектры люминесценции ИАГ:Се люминофоров при возбуждении лазером 337 нм (а- до отжига, б – после отжига)

Ни рисунке 2 представлены спектры люминесценции ИАГ:Се люминофоров, синтезированных в поле радиации, при возбуждении чипом с длиной волны 337 нм.



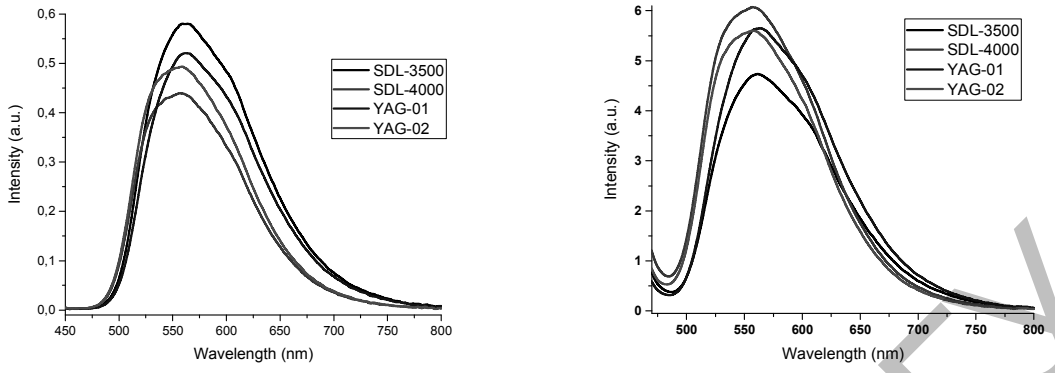
а) б)

Рисунок 2. Спектры люминесценции ИАГ:Се люминофоров при возбуждении чипом 337 нм (а- до отжига, б – после отжига)

На рисунке 3 представлены спектры люминесценции промышленных люминофоров (а- при возбуждении лазером 337 нм, б – при возбуждении чипом 450 нм.)

Как следует из представленных результатов для всех измеренных люминофоров положение полос приходится на диапазон от 535 до 568 нм, полуширин – 0.435 – 0.479 нм. Для люминофоров, синтезированных нами эти диапазоны равны 535 до 568 нм, полуширин – 0.435 – 0.479 нм; для промышленных люминофоров – от 558 до 562 нм, полуширин – 0.438 – 0.455 нм.

Репозиторий КарГУ



а) б)

Рисунок 3. Спектры люминесценции промышленных люминофоров
(а-при возбуждении лазером 337 нм, б – при возбуждении чипом 450 нм.)

Выводы. Представленные результаты исследования формы полос люминофоров синтезированных в поле радиации и промышленных люминофоров позволяют сделать следующие выводы. Положения полос люминесценции и их полуширина не зависят от способа возбуждения, но зависят от предыстории. Разница в положении и полуширине полос может быть частично объяснена известным эффектом зависимости от наличия гадолиния. Однако, зависимость формы полос в образцах до и после отжига этим объяснить невозможно. Отжиг не приводит к изменению состава, но приводит к упорядочению структуры кристалла, окружения центров свечения, ионов церия.

Мы полагаем, что различие в формах полос свидетельствует о том, что структура окружения центров свечения в ИАГ:Се образцах разной предыстории различается. Это очевидно является результатом разницы в технологических режимах их синтеза. Предполагается, что наблюдаемый разброс характеристик люминесценции обусловлен различием структуры нанодефектов в синтезированных в разных условиях люминофорах [8]. Все нанодефекты в ИАГ:Се люминофорах имеют подобный элементный состав: ионы матрицы, активатора, модификатора, собственные дефекты решетки, но различное их соотношение и взаимное распределение в нанодефекте.

Работа выполнена при поддержке Программы Томского Политехнического Университета.

Литературы:

1. Lisitsyn V, Lisitsyna L and Polisadova E 2019 *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* 83 pp. 336–342

2. Hongling Shi, Chen Zhu, Jiquan Huang, Jian Chen, Dongchuan Chen,Wenchao Wang, Fangyu Wang, Yongge Cao and Xuanyi Yuan 2014 *Optical materials express* 4 pp. 649-655

3. Kyeong Youl Jung and Hyun Woo 2007 *Journal of Luminescence* 126 pp. 469–474

4. Heesun Yang and Yong-Seog Kim 2008 *Journal of Luminescence* 128 pp.1570–1576

5. Lisitsyn V, Lisitsyna L, Dauletbekova A, Golkovskii M, Karipbayev Zh, D. Musakhanov, Akilbekov A, Zdorovets M, Kozlovskiy A and Polisadova E 2018 *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research* B 435 pp. 263–267

6. Lisitsyn V, Golkovskii M, Lisitsyna L, Dauletbekova A, Musakhanov D, Vaganov V, Tulegenova A, and Karipbayev Zh 2019 *Russian Physics Journal* 61 pp. 1909-1913

7. Lisitsyn V, Golkovsky M, Musakhanov D, Tulegenova A, Abdullin Kh and Aitzhanov M 2018 *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1115 052007

8. Lisitsyn V, Lisitsyna L, Tulegenova A, Yangyang Ju. Polisadova E, Lipatov E and Vaganov V 2019 *Crystal* 9 476

Репозиторий КарГУ

Т.М. Сериков, Н.Х. Ибраев, Л.А. Болатова
Карагандинский государственный университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан, serikov-timur@mail.ru

Фотокаталитические свойства пленок образованных наностержнями TIO_2

Процессы получения, хранения и последующего расходования молекулярного водорода представляют в настоящее время огромный интерес во всем мире. Одним из способов его получения является фотокаталитическое расщепление молекулы воды на молекулярный кислород и водород [1−3]. Для фотокаталитического расщепления воды используются различные наноматериалы, среди которых особое место отводится наноструктурам на основе диоксида титана. Несмотря на то, что множество научных работ было посвящено исследованию фотокаталитической активности наноструктур диоксида титана, поиск путей для ее улучшения ведутся и в настоящее время.

Как известно, используя различные методы синтеза можно получать наноструктуры диоксида титана, которые могут быть в виде нанотрубок, наностержней, наночастиц, нанопроволок и т.д. Использование наноструктур с одномерным транспортом электронов, таких как наностержний и нанотрубки диоксида титана, являются более перспективными, благодаря возможности контролья морфологии поверхности и толщину пленок, удельную поверхность, и т.д.

В данной работы показано, что изменение температуры при гидротермальном синтезе наностержней диоксида титана от 120 ^{0}C до 200 ^{0}C приводит к значительному изменению их фотокаталитической активности.

Экспериментальная часть: Пленки, образованные наностержнями TiO_2 получали по методике, описанной в работе [4]. Вкратце: в сосуде из нержавеющей стали с тефлоновым покрытием, объемом 50 мл заливали раствор, содержащий 15 мл деионизованной воды (H_2O), 15 мл соляной кислоты (HCl) (36.5–38.0%) и 0,25 мл бутилата титана $C_{16}H_{36}O_4Ti$ (titanium butoxide, 97%, Sigma–Aldrich). Наноструктуры TiO_2 были синтезированы на стеклах с проводящим слоем FTO (TEC–8, 8 Ω/ м^2) методом гидротермального синтеза. FTO стекла очищали путем обработки ультразвуком в смеси деионизованной воды, ацетона и 2–пропанола (объемное соотношение 1: 1: 1) в течение 30 минут. Затем подготовленные FTO подложки помещали в этот же сосуд проводящей стороной вниз. Сосуд из нержавеющей стали закрывали и помещали в конвективную печь. Для получения пленок с различной морфологией и длиной меняли температуру печи и длительность синтеза от 120^{0}C до 200^{0}C и от 6 до 24 часов соответственно. Полученные образцы промывали деионизованной водой и сушили при комнатной температуре. Затем образцы прокаливали при температуре 500 ^{o}C в течение 2 ч.

Изображения поверхности образцов были получены на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) MIRA 3LMU (Tescan, Чехия).

Для исследования фотокаталитической активности пленок были измерены величины фотоиндуцированного фототока. Фототок наноструктур с освещаемой площади в 1 см^2 измеряли при постоянном потенциале 0 В с использованием потенциостата (ЭЛИНС P-20XB, Россия) в стандартной трехэлектродной ячейке. В качестве рабочего электрода использовались наностержний TiO_2. Противоположным электродом служила платиновая фольга, а в качестве сравнения использовался электрод AgCl. Измерения проводились в электролите 0,1M NaOH в специально изготовленной фотоэлектрохимической ячейке с кварцевым окном. При регистрации фототока пленки диоксида титана облучали светом ксеноновой лампы мощностью 45 мВт/см^2.

Результаты и дискуссия: Морфология поверхности пленок, образованных наностержнями диоксида титана, синтезированных при различных температурах и времени

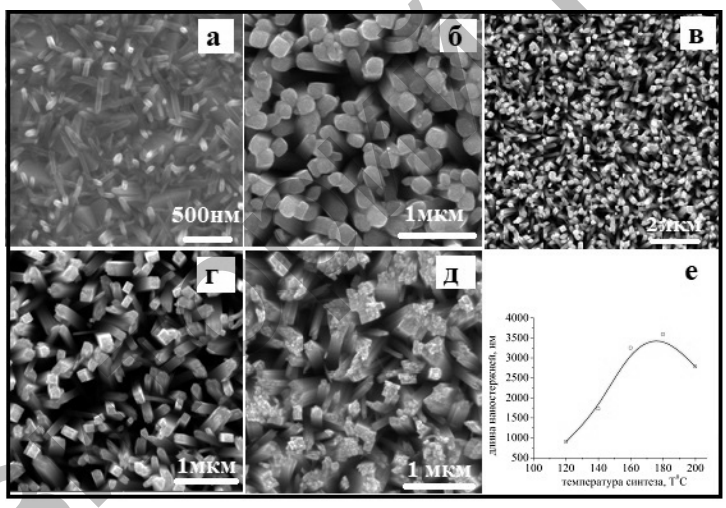
Репозиторий КарГУ

синтеза в течении 24 часов, приведена на рисунке 1. Геометрические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние времени и температуры гидротермального синтеза на геометрические характеристики наностержней TiO_2 (d – диаметр)

Время синтеза, час	Температура гидротермального синтеза, ^{0}C				
	120	140	160	180	200
	d,нм	d,нм	d,нм	d,нм	d,нм
6	–	25	75–90	36	40
12	–	55	150	98	100
18	45–60	105	120	70	80
24	50–67	235	90	65	73

Из рисунка (а-д) видно, что в результате гидротермального синтеза на поверхности стеклянных подложек образуются наностержний диоксида титана, расположенные перпендикулярно к поверхности стекла. При исследовании морфологии поверхности и поперечного скола образцов было обнаружено, что изменение температуры приводит к изменению и диаметра наностержней и их длинны (см. рисунок 1е.). Результаты представлены в таблице 1.



А-120^{0}C; б)140^{0}C; в)160^{0}C; г)180^{0}C; д)200^{0}C;

Рисунок 1– Влияние температуры синтеза наностержней на морфологию поверхности (а-д) и длину наностержней диоксида титана (время синтеза 24 часа)

Из представленных данных видно, что при увеличении температуры синтеза от 120 до 200 ^{0}C длина наностержней линейно возрастает до 180 ^{0}C, затем при температуре 200 ^{0}C уменьшается. Так, для пленки, синтезированной при температуре 180 ^{0}C, длина наностержней составляет 3,5 мкм, а для пленки из наностержней полученной при температуре 200 ^{0}C – 2,7 мкм [4]. Для определения фотокаталитической активности были измерены фототоки образцов при освещении и его отсутствии, результаты которых приведены на рисунке 2. В качестве примера были отобраны пленки, полученные при температуре 160, 180 и 200 ^{0}C синтезированные в течении 24 часов.

Репозиторий КарГУ

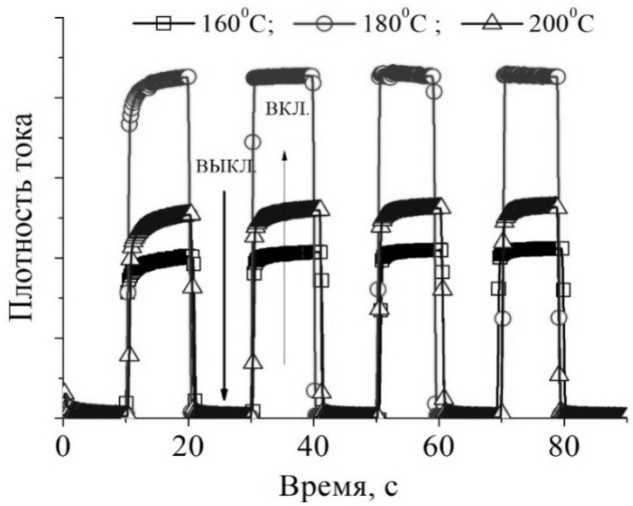


Рисунок 2– Влияние температуры синтеза наностержней на их фотокаталитическую активность

Выводы. Из рисунка 2 видно, что для образца, полученного при температуре 180 ^{0}C значение фототока значительно выше, чем при 160 и 200^{0}C. Следовательно, при освещении его поверхности генерируется больше электронов, которые так же могут участвовать в процессе фотокатализа и расщепления молекулы воды. Аналогичные результаты были получены нами, когда данные пленки были использованы в DSSC ячейках [5]. По результатам исследовании на СЭМ было установлено, что при увеличении температуры синтеза происходит уменьшение диаметра наностержней, но при этом увеличивается его длинна. Это приводит к увеличению количества наностержней на единице поверхности подложки и увеличивает его удельную площадь поверхности.

Литературы

1 Liu Y., Chen X., Li J. Photocatalytic degradation of azo dyes by nitrogen–doped TiO_2 nanocatalysts // Chemosphere. – 2005. – Vol. 61. – P. 11–18.

2 Kim J.C., Choi J., Lee Y.B. Enhanced photocatalytic activity in composites of TiO2 nanotubes and CdS nanoparticles // Chemical Comunications. – 2006. – №48. – P. 5024–5026

3 Kormann C., Bahnemann D.W., Hoffmann M.R. Photolysis of chloroform and other organic molecules in aqueous titanium dioxide suspensions // J. Phys. Chem. – 1991. – Vol. 25. – P. 494–500

4 Сериков Т.М. Фотоиндуцированные электронные процессы в наноструктурированных пленках диоксида титана: диссертация доктора PhD: 6D060400 / Сериков Тимур Маратович.– Караганда.,2017.–138с.

5 Сериков Т.М., Ибраев Н.Х. Влияние температуры синтеза на фотовольтаические и электротранспортные свойства НС диоксида титана // ЭКСПО–2017. Технология будущего: материалы республиканской науч.–практ. конф. – Караганда, 2016. – С. 116–122.

Репозиторий КарГУ

3–ШІ СЕКЦИЯ. *ЖЫЛУ- МАССА- АЛМАСУ БЕЙСЫЗЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ДИНАМИКАСЫ*

SECTION 3: *DYNAMICS OF NONLINEAR PROCESSES OF HEAT AND MASS TRANSFER*

СЕКЦИЯ 3: *ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО-МАССО-ПЕРЕНОСА*

Репозиторий КарГУ

А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, С.А. Болегенова, Ш.С. Оспанова
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
shynarospanova1987@gmail.com

Статистическое исследование неизотермических жидких впрысков топлив при высокой турбулентности

В настоящее время, несмотря на прилагаемые усилия по освоению и использованию возобновляемых источников энергии, 85% всей энергии, потребляемой в мире, получают от сжигания ископаемых видов топлива. Как показывает статистика, 39% общего энергопотребления приходится на сжигание жидких топлив и 97% от этого общего производства энергии используется в транспортном секторе. В то время как мы продолжаем пользоваться жидкими топливами, как основным источником энергии, первостепенное значение имеет повышение эффективности и минимизация воздействия на окружающую среду устройств, деятельность которых направлена на сжигание этого вида топлив. Во многих странах мира в последнее время резко возросли требования к качеству топлив с точки зрения их экологической безопасности.

Актуальность настоящей работы обусловлена тем, что в настоящее время, основным источником вырабатываемой энергии (около 80%) является энергия, различных типов топлив. Горение будет оставаться основным источником энергии еще много лет, несмотря на то, что применение ядерной энергии в промышленно развитых странах расширяется, а методы использования энергии солнца, ветра и приливов интенсивно разрабатываются. Проблема образования вредных веществ и ограниченность ресурсов топлива приводит к необходимости организации более экономичных способов его сжигания [1].

На современном этапе развития энергетики проблемы экологии приобретают приоритетное значение. Известно, что Интернациональным энергетическим агентством (IEA) поставлена задача к 2050 году использовать в качестве энергоносителя до 80% возобновляемые источники энергии и вдвое сократить выброс в атмосферу углекислого газа CO_2 как показателя эмиссии вредных веществ [2, 3]. Поэтому совершенствование систем и устройств для сжигания различных видов топлива направлено на повышение КПД и как следствие на снижение эмиссии вредных веществ в атмосферу. Достигается это в том числе путём усовершенствования горелок для сжигания таких видов топлива как газ и жидкое топливо, а во-вторых, за счёт интенсификации теплообмена в энергетических установках.

Благодаря достигнутому высокому уровню исследований открываются перспективы широкого применения методологии и конкретных физических результатов в рассматриваемых направлениях, а также пути более эффективного применения методов математического моделирования с использованием современной вычислительной техники в различных предметных областях. Таким образом, проблемы экономии энергоресурсов и улучшения экологического состояния теплоэнергетического объекта во многом зависят от организации качественного сжигания топлива [4].

В данной работе используется математическая модель, описывающая горение жидких топлив на основе уравнений сохранения массы, импульса, энергии [5, 6]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div(\rho \vec{u}) = S_{mass}, \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho \left(\vec{u} \cdot grad\right)\vec{u} = div\vec{\vec{\xi}} + \rho \vec{g} + S_{mom}, \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial E}{\partial t} = \vec{\vec{\tau}} : \vec{\vec{D}} - \rho div\vec{u} - div\vec{q} + S_{energy}, \quad (3)$$

Репозиторий КарГУ

где

u - скорость жидкости,

q –удельный тепловой поток, представляющий собой закон Фурье опередаче тепла.

Граничное условие для поля скорости у стенки определяется через турбулентный закон стенки, причем профили компоненты скоростей задаются логарифмическим распределением:

$$\frac{\upsilon}{u^*}=\begin{cases}1/\mathrm{k}\ln\left(c_{l\omega}\zeta^{7/8}\right), & \zeta > R_c\\ \zeta^{1/2}, & \zeta < R_c\end{cases},$$

где

$\zeta=\dfrac{\rho y\upsilon}{\mu_{air}(T)}$ - число Рейнольдса, которое определяется по относительной скорости газа к стенке,

$\upsilon=\left|\vec{u}-\omega_{wall}\vec{k}\right|$ - скорость газа относительно стенки на расстоянии у от нее, u^* - динамическая скорость.

Также наряду с математической моделью горения жидких капель нами была использована и применена статистическая модель распада, дисперсии и испарения рандомных капель при высокой турбулентности. В данной модели распад материнских капель на мелкие вторичные капли можно рассматривать в виде временной и пространственнойэволюциираспределения частиц в приближении к размеру материнских частиц согласно уравнению Фоккера-Планка [5]:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t}+\nu(\xi)\frac{\partial T(x,t)}{\partial x}=\frac{1}{2}\nu\left(\xi^2\right)\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где

v - частота и t – время распада.

$T(x,t)$ является функцией распределения для $x=\ln(r)$, здесь $r-$ радиус частицы.

При движении частицы в турбулентном потоке газа с крупномасштабными структурами, размеры которых намного больше диаметра частицы, относительная скорость между частицей и потоком газа определяется следующим образом:

$$\frac{d\vec{v}_p}{dt}=\frac{\left(\vec{v}_g-\vec{v}_p\right)\left|\vec{v}_g-\vec{v}_p\right|}{\tau_{St}}, \quad (6)$$

где

$\tau_{St}=\dfrac{\rho_p d_p^2}{18\rho_g v_g}$.

Когда размер частицы больше Колмогоровского масштаба турбулентная вязкость определяется через спектр энергии вихрей с меньшими размерами по сравнению с диаметром самой частицы. На рисунке 1 представлена иллюстрация этого явления.

Репозиторий КарГУ

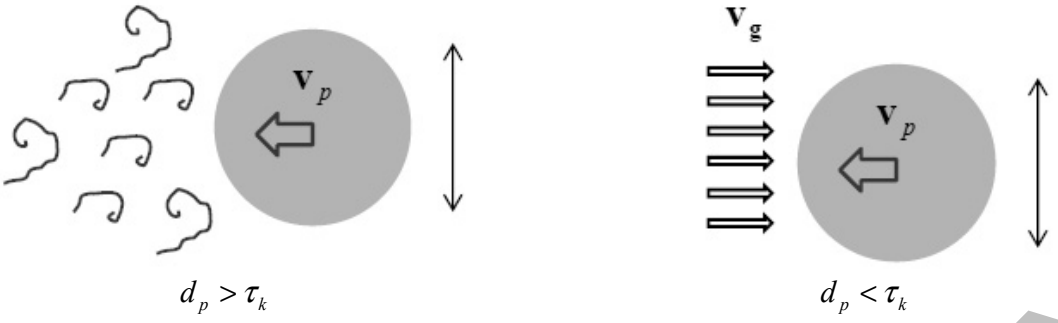


Рисунок 1. Сравнение размеров частицы с масштабами турбулентных структур

В работе была использована модель камеры сгорания в форме цилиндра, высота которой 15 см, диаметр 4 см. Общий вид камеры сгорания и визуализация вихревого поля в ней представлены на рисунках 2 и 3. С помощью сопла, которое располагается в центре нижней части камеры сгорания, впрыскивается жидкое топливо. Расчетная область состоит из 650 ячеек. Площадь форсунки равна $2 \cdot 10^{-4}$ см^2. Температура стенок камеры сгорания 353 К. Начальная температура газа в камере сгорания 900 К, топливо впрыскивается при 300 К.

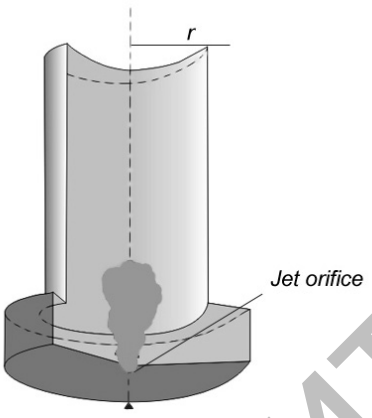


Рисунок 2. Общий вид камеры сгорания

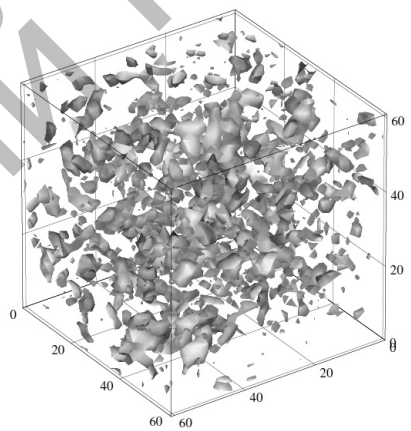


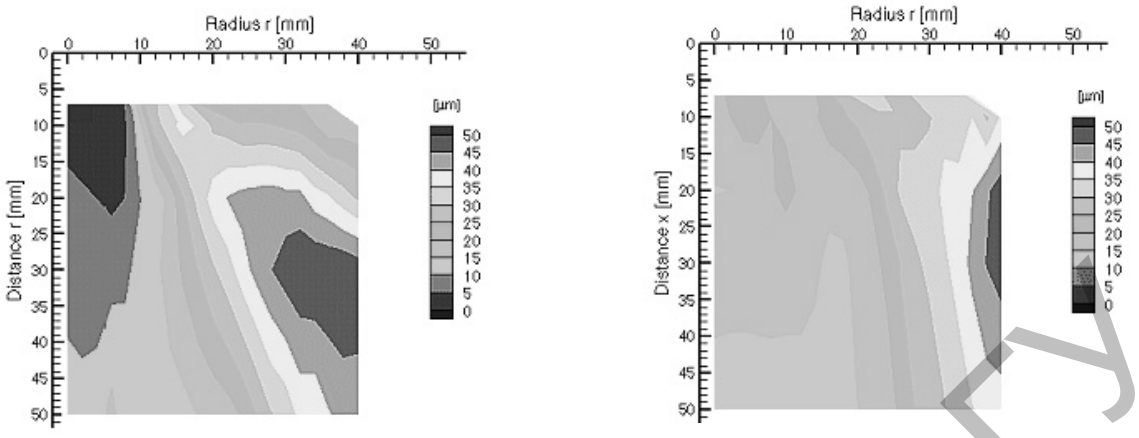
Рисунок 3. Визуализация вихревого поля на основе статистической модели [4]

В настоящей диссертационной работе был использован октан (C_8H_8), реакция горения которого приводит к образованию углекислого газа и воды:

$$2C_8H_{18} + 25O_2 \rightarrow 16CO_2 + 18H_2O.$$

Ниже на рисунках 4 и 5 приведены результаты вычислительных экспериментов по исследованию процессов распыла и дисперсии октана в камере сгорания при двух режимах. На рисунке 4 приведено распределение капель октана в базовом режиме без применения особых моделей распыла. Также на данном рисунке для сравнения представлено распределение капель октана по радиусам с применением статистической модели (рисунок 4,б). Как мы видим из рисунка, в базовом режиме минимальный радиус капель преобладающих в камере сгорания составило 5 мкм, а максимальный – 50 мкм. В статистической модели минимальное значение радиусов капель составило 20 мкм, которое больше всего проявляется по оси камеры сгорания.

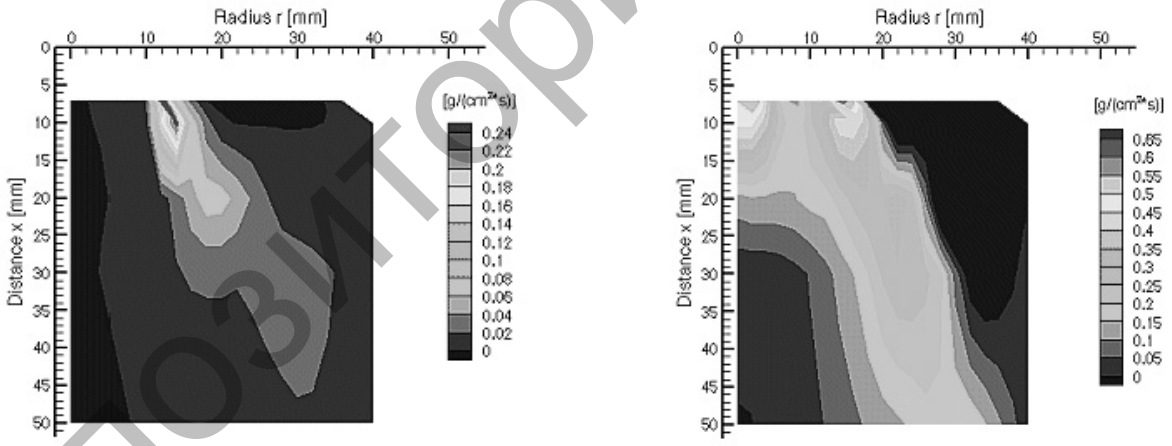
Репозиторий КарГУ



а) базовый режим б) статистическая модель

Рисунок 4. Распределение капель октана по радиусам по высоте камеры сгорания

На рисунке 5 представлено распределение массовой доли октана при различных режимах горения. Как видно из рисунка, в базовом режиме массовая концентрация октана составила 0,02 г/см^2 и данное значение длительное время сохраняется по высоте камеры сгорания. При применении статистической модели распада концентрационное поле октана достигло до 0,25 г/см^2. Максимальное значение потока массы жидкого топлива замечено в верхней части камеры сгорания. Также можно заметить, что при статистической модели масса жидкого топлива распределена на большие масштабы, которое не происходит в базовом режиме.

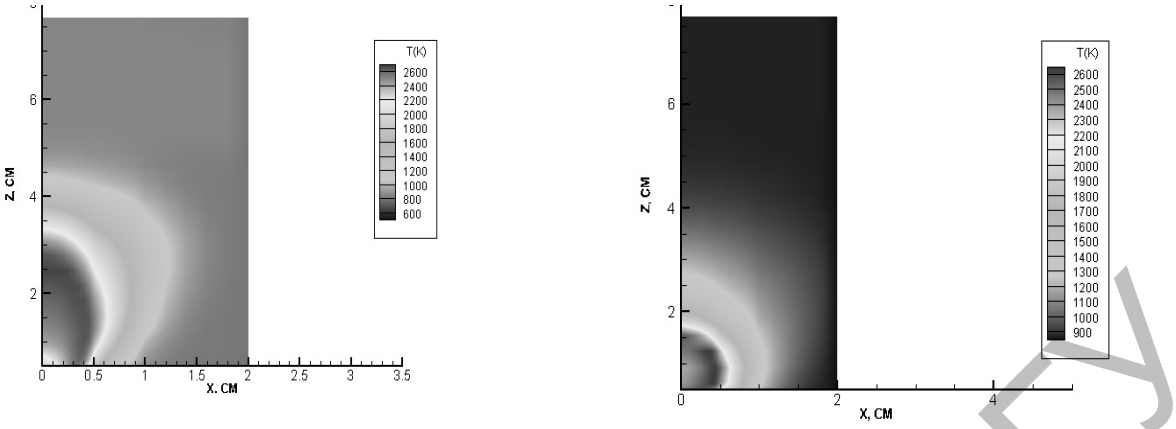


а) базовый режим б) статистическая модель

Рисунок 5. Распределение массовой доли концентрации октана

Также нами было исследовано влияние значений впрысков жидкого топлива на процессы его распыла и горения. На рисунке 6 показано распределение температуры в камере сгорания для октана в установленных значениях впрыска соответствующих «полусинусоидальному импульсу» и «последовательности прямоугольных импульсов». Сравнение этих графиков показывает, что при подаче топлива в виде полусинусоидальных импульсов максимальная температура достигает значения, равного 2400 (рисунок 6 а), а при прямоугольных максимальная температура равна 2600 К (рисунок 6 б), т.е. факел для октана при втором случае имеет большие значения температур. Также при подаче полусинусоидальных импульсов топливо распределяется на большие масштабы и зоны горения, а в подаче прямоугольных она сосредоточена по оси.

Репозиторий КарГУ

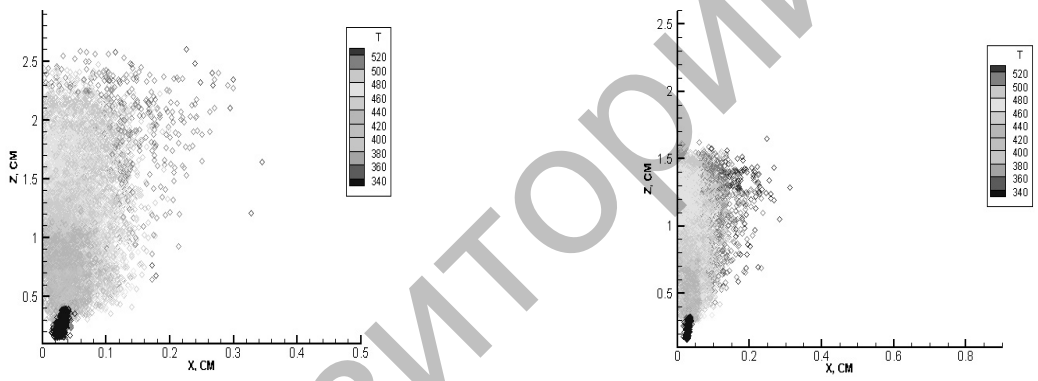


а) полусинусоидальный импульсный впрыск

б) последовательность прямоугольных впрысков

Рисунок 6. Распределение температуры горения при различных значениях впрыска

На рисунке 7 представлены графики распределения капель впрысков жидкого топлива при двух значениях впрыска. В начальный момент времени капли октана сосредоточены в малой области по ширине камеры сгорания. Капли поднимаются вверх по высоте камеры сгорания до 2,5 см при впрыске октана в виде полусинусоидальных импульсов, а при последовательности импульсов достигают 1,6 см. Температура капель, преобладающих в камере сгорания, составила 480-520 К.



а) полусинусоидальный импульсный впрыск

б) последовательность прямоугольных впрысков

Рисунок 7. Распределение температуры капель октана в камере сгорания

Таким образом, было показано, что для исследуемого вида топлива очень хорошо подходит статистическая модель, при данной модели топливо сгорает полностью, камера прогревается до достаточно высоких температур, а концентрация образующихся капель распространяется на большие масштабы внутри камеры сгорания.

Литературы:

1. Askarova, S. Bolegenova, BolegenovaSymbat, I. Berezovskaya, Zh., Ospanova Sh., Shortanbayeva, A. Maksutkhanova, G. Mukasheva and A. Ergalieva Numerical Simulation of the Oxidant's Temperature and Influence on the Liquid Fuel Combustion Processes at High Pressures // Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2015. - Vol. 10, №4. - P. 90-95.

2. Mayer D.O. Greenhouse gas emissions and the social responsibility of automakers // Business and Society Review. – 2000. - Vol. 105, №3. – P. 347-361.

3. Askarova A., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Ospanova Sh., Gabitova Z. Using 3D modeling technology for investigation of conventional combustion mode of BKZ-420-140-7C combustion chamber // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2014. - Vol.1, №9. – P. 24-28.

Репозиторий КарГУ

4. Sako M. The nature and impact of employee «voice» in the European car components industry // Human Resource Management Journal. – 1998. – Vol. 8, №2. – P. 5-13.

5. Gorokhovski M.A., Saveliev V.L. Analyses of Kolmogorov's model of breakup and its application into Lagrangian computation of liquid sprays under air-blast atomization // Physics of Fluids. – 2003. – Vol. 5, №1. – P. 184-192.

6. Apte S.V., Gorokhovski M., Moin P. LES of atomizing spray with stochastic modeling of secondary breakup // International Journal of Multiphase Flow. – 2003. – Vol. 29, №9. – P. 1503-1522

И.М. Васенин, Р.К. Нариманов, Е.В. Перчаткина, Л.А.Шрагер
Томский государственный университет, г.Томск, Россия e-mail: ring_0@mail.ru

Расчет движения двухфазного потока с пузырьками газа малого размера

Движение газожидкостных смесей является достаточно распространенным в природе и разнообразных технологических процессах. Одним из актуальных технологических процессов вызывающих все больший интерес является обеззараживание воды в системах водоснабжения путем ее озонирования [1-3]. Уравнения водно-воздушных смесей периодически рассматриваются в научной литературе в приложении к различным вопросам. Однако течения подобных смесей в поле сил тяжести с учетом совместного влияния свободной и вынужденной конвекции по мнению авторов нуждаются в дальнейшем изучении. Актуальность развития моделей газожидкостных смесей является несомненной.

Целью данной работы является расчет двухфазного течения воды с пузырьками малых размеров в приложении к задачам, подобным задаче озонирования воды в контактных резервуарах. В работах [4-5] была предложена физико-математическая модель движения малых пузырьков газа. Движение пузырьков в водном массиве рассматривается как движение малых частиц с плотностью много меньшей плотности воды. Использовались следующие допущения: постоянство формы пузырька, равенство температуры пузырька температуре окружающей среды, малое время установления скорости пузырька. При данных предположениях получены уравнения движения

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{\mathbf{U}}\nabla\bar{u} + \frac{1}{\rho_l + \rho_s}\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}} = \frac{1}{\mathrm{Re}}\Delta\bar{u},$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{\mathbf{U}}\nabla\bar{v} + \frac{1}{\rho_l + \rho_s}\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{y}} = \frac{1}{\mathrm{Re}}\Delta\bar{v} - \frac{1}{\mathrm{Fr}}.$$

здесь p, U, u, v, ρs , ρl , Re, Fr давление, вектор скорости, компоненты скорости, плотность воздуха, плотность среды, число Рейнольдса и число Фруда соответственно.

Уравнение состояния

$$P\left[\frac{1}{\rho} - \frac{z}{\rho^*\left(1+\frac{P}{k}\right)}\right] = \bar{R}T.$$

Оценка параметров движения в озонаторе позволяет считать температуру смеси постоянной и равной температуре поступающей воды. Система уравнений замыкается уравнениями сохранения массы двухфазной смеси и сохранения массы пузырьков.

Численные исследования: На основании предложенной модели были проведены параметрические исследования влияния начальной плотности пузырьков и входного расхода на скорость достижения ими верхней границы цилиндрической области. Рабочая область представляла собой вертикально расположенный осесимметричный цилиндр, на оси которого осуществлялся ввод газовой струи. Высота и радиус цилиндра составляли 10 см,

Репозиторий КарГУ

ширина струи $1/6$ радиуса. Начальное распределение объемной концентрации пузырьков во входном отверстии задается вероятностной функцией Гаусса таким образом, чтобы на расстоянии радиуса струйки от оси симметрии их концентрация составляла 1% от максимального значения на оси. Достоверность расчетов была подтверждена исследованиями на сеточную сходимость для размеров пузырьков изменявшихся от 10 мкм до 100 мкм при заданной начальной концентрации струи. Изменением величины пузырька в процессе подъема пренебрегалось.

На рис. 1 показано влияние вносимой относительной плотности газа φ на время достижения верхней границы при диаметре частиц 10 мкм. При вычислении скорости движения газа, необходимо задавать некоторую малую скорость начального вдува, параллельную оси. Значение данной величины, не вносящее искажений в результаты расчетов, было определено в ходе параметрических исследований зависимости времени подъема от скорости возмущения при выбранном диаметре 100 мкм. Результат представлен на рис. 2. На рис. 3 показано влияние величины диаметра газового пузыря на время его всплытия при фиксированной объемной концентрации их в газовой струе.

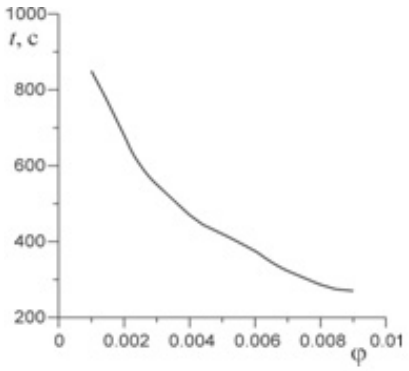


Рис 1

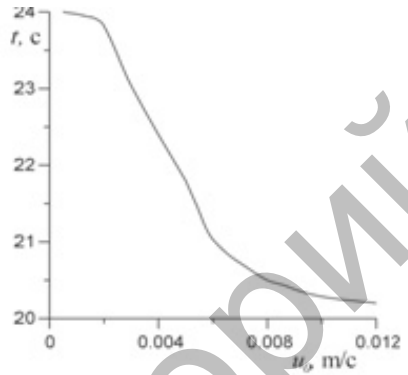


Рис 2

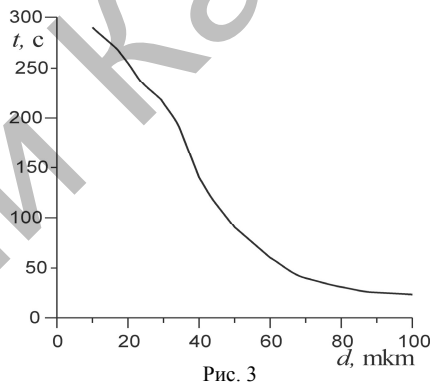


Рис. 3

Заключение: Используемая в расчетах математическая модель в отличие от модели двухфазной среды взаимопроникающих континуумов не содержит малых параметров при производных и значительно проще ее с точки зрения численного решения. Благодаря учету сжимаемости среды и зависимости плотности от концентрации пузырьков в этой модели автоматически учитываются процессы, обуславливающие свободную конвекцию в поле силы тяжести при наличии неоднородности концентрации пузырьков. Такая конвекция при неоднородной по пространству подаче газовой смеси существенно влияет на время пребывания пузырьков в реакторе и, следовательно, на полноту протекающих реакций. Дополнительное преимущество предложенной математической модели заключается в ее аналогии с моделями сжимаемого газа. Эта аналогия позволяет в дальнейшем использовать для расчетов хорошо разработанные численные схемы решения уравнений газовой динамики.

В ходе параметрических численных исследований на основе предложенной модели показана работоспособность данного подхода и подтверждено ускорение всплытия газовой струи за счет вовлечение в движение несущей среды.

Литература:

1 *Кожинов В.Ф., Кожинов И.В.* Озонирование воды. М.: Стройиздат, 1974.

2 *Орлов В.А.* Озонирование воды. - М.: Стройиздат, 1984.

3 *Данквертс П.В.* Газожидкостные реакции. М.: Химия, 1973.

4 *Васенин И.М., Глазунов А.А., Шрагер Э.Р., Нариманов Р.К, Кулюкин В.М.* Математическая модель озонирования воды. //Известия ВУЗов «Физика», Т.47, №10, 2004, с. 20-25

Репозиторий КарГУ

5 Vasenin I M, Narimanov R.K., Shrager L.A., Perchatkina E.V. Modeling of a two-phase flow of liquid with small-size gas bubbles // Eurasian Physical Technical Journal. 2019, Vol.16, No. 1(31), 2019, pp. 129-137

Исатаев М.С., [Жангунов О.], Төлеуов Ғ., Сейдолла Ж.Қ.,Сұлтан М.Р.
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті Алматы, Қазақстан Республикасы, e.mail: Seydulla92@mail.ru

Күрделі ағыстарды эксперименттік зерттеу

Кіріспе: Шексіз ұзын цилиндрлік денелерді және сфераны орай ағу заңдылықтары Рейнольдс сандардың өзгеруінің кең аралығында және ағынның режімдік параметрлерінде толық зерттелген [1, 2].

Қазіргі уақытта қолда бар әдебиетте қысқа цилиндрлердің аэродинамикасына тән ерекшеліктерді және оның жылу алмасуын зерттеуге арналған деректер өте аз. Қолданыстағы бар жұмыстар [3-8] байланыссыз сипатқа ие, геометриялық және режімдік параметрлердің өзгерістерінің кең ауқымын қамтымайды. Олардың нәтижелері нақты геометриялық өлшемдер мен ағын жылдамдығы үшін қолданылуы мүмкін.

Тәжірибеде химиялық технологияда, құбыр жасауда, пневмо-гидрокөлікте, астық контейнерлерінде, күл-қож қойыртпағында және т.б. шекті мөлшердегі денелерді орай ағумен байланысты мәселелермен жиі кездесуге тура келеді. Алайда ұштық әсерлердің аэродинамикалық кедергілерге және көлденең және бойлық орай ағылатын цилиндрлер мен айналу эллипсоидтерінің жылу алмасуына әсерінің аз зерттелуі және қысқа цилиндрлердің ұштары ұзындығы мен пішінінің құйынның пайда болу заңдылығына және дене артындағы жақын іздегі ағымның микроқұрылымына әсерін зерттеу бойынша деректердің жеткіліксіздігі инженерлік есепті қиындатады.

Сонымен қатар, осы заңдылықтарды зерттеу негізгі элементтері бойлық немесе көлденең орай ағылатын цилиндрлер болып табылатын ғылыми зерттеулерді дамыту үшін де, агрегаттарды жобалау үшін де қажетті геометриялық және режімдік параметрлердің өзгеруінің кең интервалында кедергі және жылу беру коэффициенттері үшін жалпылама тәуелділікті алуға мүмкіндік береді.

Шектік ұзындықты цилиндрлерді орай ағу аэродинамикасын зерттеуге арналған қондырғылар мен денелер

Зерттеулер Т-1 тұйықталған типтегі аэродинамикалық құбырда жүргізілді. Жұмыс бөлігі ұзындығы 800 мм, диаметрі 500 мм дөңгелек қимасына ие. Соплоның сығылу дәрежесі 10-ға тең. Ауа ағыны 6 кВт қуатпен тұрақты ток моторы бар 3 қалақты осьтік желдеткішпен жасалған. Құбырдағы ағынның турбуленттілік деңгейі Tu=0.25% құрады.

Тәжірибе барысында ағын жылдамдығы U_∞ 8 ден 40 м/с дейін өзгерді. Аэродинамикалық құбырдың жұмыс бөлігіндегі жылдамдықтың таралуын өлшеу Прандтль түтігінің және ММН-240 маркалы микроманометрдің көмегімен жүргізілді. Қысымның айырмашылығын өлшеудегі қателік 1% - дан аз болды. Жылдамдық мәнін анықтау кезінде өлшеудің аспаптық қателігі ағынның ең аз өлшенген жылдамдығы кезінде 3% аспайды.

Аэродинамиканы зерттеуге арналған денелердің диаметрлері d=60.0 мм, d=28.0 мм және d=20.0 мм болды және жезден жасалған. Зерттелетін жұмыс денелері құбыржолдар арқылы тасымалданатын контейнер түрінде болды. Орталық цилиндрлік дененің жартылай сфералық немесе жалпақ бүйірлері болды. Барлық денелер үш бөліктен тұрды –цилиндрден және екі жартылай сфералардан. Бұл денелерді өзара бекіту саңылаусыз бұрандалы қосылыстар арқылы жүргізілді.Тығыздағыш ретінде қажетті саңылаусыздандыру деңгейін қамтамасыз ететін вакуумды майлама қолданылды. Ұстағышты жартылай сфералық бүйіржақпен қосу

Репозиторий КарГУ

вакуумдық майлама мен бұранданың көмегімен жүргізілді. Жұмыс денелерінің мұндай жиналмалы құрылмасы ұзындығы (l) өзгерген орталық цилиндрдің тез ауысуын қамтамасыз етті. Бұл ретте ол цилиндрлік дененің диаметріне еселенген түрде таңдалады.

Біздің тәжірибемізде осы ұзындықтың диаметрге қатынасы екі нұсқада берілген: *l/d* – тегіс бүйіржақтары бар цилиндр үшін және (*l*+*d*)/*d* –сферикалық бүйіржақтары бар цилиндр үшін.

Цилиндр айналасындағы ағын жылдамдығын өлшеу үшін өлшеуіш қондырмаларының бірнеше түрі қолданылды. Бойлық орай ағатын цилиндрлердің бүйір беттерінде түзілген жұқа шектік қабаттағы жылдамдық бейінін анықтау кезінде өлшеуіш ұштарын жалғау жолымен жұқа қабырғалы түтіктерден жасалған жазық шеттері бар микроқондырмалар қолданылды.Қондырманың мұндай конструкциясы қозғалыс бейнесінің аз ауытқуларымен шектес қабатта жергілікті жылдамдықты өлшеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етті. Қондырманың тұмсық бөлігінің өлшемдері шамамен 0.3×1.5 мм. Қабырға қалыңдығы ~ 0.1 мм. Қондырманы дәлдігін белгілеу Прандтль эталондық түтігінің көмегімен шексіз ағында жүргізілді.

Денелердің артындағы жақын іздегі жылдамдық бейінін өлшеу жұмыста сипатталған әдістеме бойынша жүргізілді [10]. Диаметрі 0.8 мм екі Пито түтіктерінен жасалған, бір-біріне қарама-қарсы басқа өлшеуіш ұштарымен салыстырмалы 180° оралған қондырмалар қолданылды. Т-тәрізді деп аталатын бұл қондырма дәл өлшеу жылдамдығы бойынша да Прандтль қондырмасының көмегімен шексіз ағында жүргізілді. Аталған жұмыстың ұсынымдарына сәйкес дәл өлшеу әдісінің коэффициенттері тура және кері бағыт үшін де анықталды.

Алынған нәтижелер және оларды талдау: Қысқа цилиндрлердің салыстырмалы ұзындығының дененің артындағы ағымның аэродинамикасына әсерін зерттеу үшін цилиндр осімен (z=0 жазықтығы) және цилиндрдің перпендикуляр осімен (x=0 жазықтығы) сәйкес келетін орталық жазықтықтардағы қысқа цилиндрлердің артындағы әртүрлі қималардағы орташа жылдамдықтың бейіндері өлшенді.

Мысал үшін (*l*+*d*)/*d*=1.2 және 3.0 кезінде цилиндрлердің ізіндегі өзара перпендикулярлы жазықтықтарда жылдамдық бейінінің таралуы өлшенді.

Эксперимент барысында Рейнольдс (Re) саны (1.20-8.13)·10^4 шегінде өзгерді.

1-суретте цилиндрдің артындағы айналымдық ағыс аймағы ұзындығының оның салыстырмалы ұзындығына тәуелділігі берілген. Цилиндр артындағы айналымдық аймақтың ұзындығы іздің осі бойымен жылдамдықтың таралуынан анықталды.

Өлшеулердің деректері бойынша сфералық бүйірлерімен цилиндрдің салыстырмалы ұзындығынан іздегі айналымдық ағыс аймағы өлшемдерінің күрделі тәуелділігі бар екені анықталды. Бұл жағдайда, айналымдық аймақтың шардың артындағы айналымдық аймақтың ұзындығына сәйкес келетін ұзындығы *L/d*=1.34 мәнінен *l/d*=11 қатысты ұзындығы кезінде 5.0 дейін өсетіндігі анықталған және *l/d*→∞ кезінде *L/d*=1.34 мәніне ұмтыла отырып, ары қарай *l/d* өсумен азая бастайды.*l/d<10* мәнінің аймағында айналымдық аймақтың өлшемдері *x* цилиндр осі бағытында күрт азаяды, ал көлденең бағытта кері ток аймағының көлденең қимасы шеңберге ұмтылатындай ұлғаяды. Визуализация бақылауы көрсетіп отырғандай, бұл денеден алыстатумен айналмалы тороид пішінін алуға дененің бетінен үзілген үлкен көлемді құйындармен байланысты. Егер кері ток аймағының ұзындығын қысқа цилиндрдің мидель қимасының ауданына тең ауданы бар $d_э$ шеңбердің тиімді диаметріне жатқызса, онда бұл мән *L/d*=1.34 тұрақты мәнін *l/d*≤11цилиндрінің ұзындығының мәніне дейін сақтайды.

1-суретте тиімді диаметр бойынша айналымдық аймақтың ұзындығының есептік тәуелділігі берілген:

$$\frac{L}{d}=1.34\sqrt{1+\frac{4}{\pi}\frac{l}{d}} \qquad (1)$$

Репозиторий КарГУ

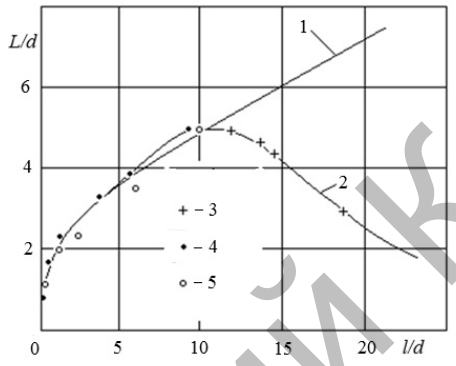
және эмпирикалық тәуелділік

$$\frac{L}{d}=1.34\sqrt{1+1.40\frac{l}{d}e^{-\left(\frac{l/d}{16.2}\right)^4}} \qquad (2)$$

тәжірибелердің деректерімен салыстырғанда.

Деректерден көрініп тұрғандай, қысқа цилиндр ұзындығының ұштарының әсері дененің артынан $l/d\leq 30$ дейінгі ағыстың аэродинамикасына елеулі әсер етеді.

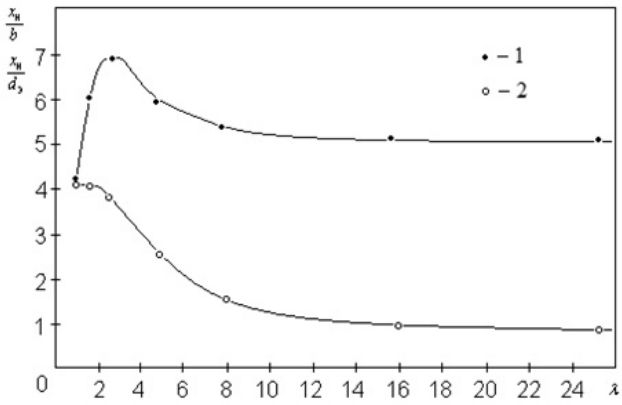
Бір қызығы, үшөлшемді турбуленттік ағыста тікбұрышты шығыс қимасымен соплоның жиектерінің арасындағы белгілі бір пропорцияда бастапқы учаскенің ұзындығын ұлғайтудың ұқсас процесін атап өтуге болады [9].



1-сурет. Цилиндрдің артындағы айналым аймағының мөлшерінің оның ұзындығына тәуелділігі. 1 – (1) формуласы бойынша; 2– (2)формуласы бойынша; 3 – d=20 мм; 4 – d=28мм; 5 – d=60 мм

Егер тікбұрышты соплолардан өтетін үш өлшемді ағыстарда осьтік жылдамдықтың өзгеруін өлшеу нәтижелері 2-суретте көрсетілгендей U_{ax}/U_0=0.99кезінде $x/b=f(\lambda)$ тәуелділік түрінде ұсынылса, онда таңдалған жылдамдық U_{ax}деңгейімен учаскенің ұзындығы анықталған λ мәні кезінде ең үлкен мәнге ие екендігін көруге болады.

Ағыстың бастапқы учаскесінің ұзындығы $x_н/b$ қашықтау параметрінің $1\leq\lambda\leq 3$ аралығында өзгерту кезінде 4.2 бастап 7 дейін артатындығы және $\lambda>3$ кезінде $x_н/b\approx 4.2$ бастапқы мәніне дейін азаятындығы, ал $\lambda=10$ және $\lambda>10$ кезінде өзгеріссіз қалатындығы анықталған. Егер бастапқы учаскенің ұзындығын тік бұрышты соплоның шығыс қимасының ауданына тең ауданы бар шеңбердің тиімді диаметріне жатқызса, онда $x_н/d_{эф}\approx 4$ параметрінің шамасы $\lambda=3$ дейін сақталады.



2-сурет. Ағыстың бастапқы бөлігі ұзындығының соплоның ұзаруына тәуелділігі.U_0 =20 м/с; 1–$x_н/b$; 2–$x_н/d_{эф}$.

Репозиторий КарГУ

Белгіленулер: Tu– құбырдағы ағын турбуленттілігінің деңгейі, %; U_∞– ағын жылдамдығы, м/с; d–аэродинамиканы зерттеуге арналған дене диаметрі,мм; *l*–жалпақ бүйірлі орталық цилиндрдің ұзындығы, м; *l/d*– жалпақ бүйірлерімен цилиндрге арналған ұзындықтың диаметрге қатынасы; (*l*+*d*)/*d* –сфералық бүйірлермен цилиндр үшін ұзындықтың диаметрге қатынасы; Re – Рейнольдс саны; *L/d*–айналымдық аймақтың ұзындығы; $d_{эф}$ – қысқа цилиндрдің миделдік қимасының ауданына тең ауданмен дөңгелектің тиімді диаметрі; м; *λ*– соплоның ұзару параметрі ; $x_н$– ағыстың бастапқы учаскесінің ұзындығы, м; *b* – соплоның шығыс қимасының ені, м.

Индекстер: н-бастапқы; эф-тиімді; 0- соплоның жиегіндегі параметрдің мәні; ∞-ағындағы параметрдің мәні.

Әдебиеттер:

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд.6-е, перераб.и доп. –М.: Наука, 1987.-840 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Пер. на русский язык.-М.: Наука,1974. -711 с.
3. Дыбан Е.П., Юшина Л.Е. Теплообмен цилиндра конечной длины. Промышленная теплотехника. 1982. Т.5. С.3-8.
4. Юшина Л.Е. Использование метода аналогии процессов тепло-и массопереноса для исследования теплообмена в усложненных условиях.- ВКн. «Тепломассообмен и теплофизические свойства веществ». Новосибирск, ИТФ СО АН СССР.1982. С.22-26.
5. SuprunT. Physicalmodelingtheunsteadyflowwithwakes. Eurasian Physical Technical Journal. Vol. 14, No. 2(28). 2017.-P.113-119.
6. Современноесостояниегидроаэродинамикивязкойжидкости. Подред. С. Гольдштейна. Т.1. и Т.2. – М.: Гос. изд-во иностр. лит., 1948.
7. QuarmbyA.,Al-FakhriA.A.M. Effect of finite length on forced convection heat transfer from cylinders. Int. J. Heat and MassTransfer. 1980. Vol 23, No 4. P. 463-469.
8. Toleuov G., Isatayev M.S., SeidullaZh.K. Experimental study of complex currents (three-dimensional jet and body wake). Eurasian Physical Technical Journal. Vol. 14, No.2(28). 2017.-P.100-107.
9. Исатаев С.И., Толеуов Г., Исатаев М.С.,Болысбекова Ш. А. Экспериментальное исследование трехмерных турбулентных струй, истекающих из сопла с прямоугольным выходным сечением. Инженерно-физический журнал, Том 89, No2. 2016.-С.383-388.
10. Исатаев С.И., Айнабекова С.С. Исследование пристенной турбулентной струй, распространяющейся вдоль криволинейной поверхности // Проблемы физики газа, плазмы и жидкости. –Алматы: Гылым.-1998.-Т.2. –С.37-49.

A.K. Bektazinova[1], N.A. Ispulov[2], M.K. Zhukenov[3], T.G. Kissikov[4]
([1]Master student of S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan) ([2]Professor of S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan) ([3]Assoc. professor of S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan) ([4]Lecture, University of California, Davis, USA)

The solution of problems of the propagation of elastic longitudinal and thermal waves in anisotropic medium of cubic system

Introduction: The urgency of studying the regularities of wave actions in elastic media with a thermomechanical effect is associated with the need to solve theoretical and applied problems of geophysics, seismology, mechanics of composite materials, etc. The coupled motion equation and thermal conductivity equation are notable for the complexity and abundance of physical and mechanical parameters. In this connection, the section of the mechanics of the deformed solid, thermoelasticity, is developing intensively. Based on the use of certain physical properties of

Репозиторий КарГУ

natural crystals and artificial ceramics, this direction studies the mechanics of coupled thermal and mechanical fields [1, 2].

Heterogeneity and anisotropy are the most common properties of real media. Wave phenomena in crystals, i.e. in media with pronounced anisotropy of a number of physical properties, are characterized by more complicated regularities as compared to the isotropic case.

In this connection, the plane wave method, which is obvious and effective for homogeneous and isotropic media, turned out to be complex in the case of anisotropic media. Generally, the existing analytical methods for studying wave actions are used for isotropic media and media with high symmetry. In the case of an anisotropic medium, these methods either do not lead to the necessary quantitative and qualitative results or the solutions obtained on their basis are practically vast and of little use.

Which means that the development of study methods and the formation of concepts of wave behavior in anisotropic media should be treated as one of the top–priority and urgent problems of the mechanics of a deformable solid.

Method of study: The method of study is analytical and is based on the development of matrix methods for studying the dynamics of elastic stratified media.

The method is about reducing the initial motion equations based on the variable separation method (representation of the solution in the form of plane waves) to the equivalent system of ordinary differential equations of the first order with variable coefficients and the construction of the matriciant structure (normalized matrix of fundamental solutions).

In the case of the consistent approach, the matrix method allows considering the propagation of waves in a wide class of media. Another advantage of this method is that the expressions obtained by the matrix method have a very compact form, which proves to be convenient both for analytical studies and for numerical calculations.

Problem and basic relations: The wave propagation in anisotropic inhomogeneous medium is considered. A new method of matricant has been developed. The method of matricant allows to investigate wave processing in anisotropic medium with various physical and mechanical properties[3-8].

The structure of matricant for the equation motion elastic media equations, equations of thermo-mechanical medium has been established. Wave propagation in infinite and finite periodical inhomogeneous media are studied.

The application of matricants method for non-destructive testing and wave propagation in thermo elastic media is considered[9].

In the paper [10], waves propagating along an arbitrary direction in a heat conducting orthotropic thermoelastic plate are presented by utilizing the normal mode expansion method in generalized theory of thermoelasticity with one thermal relaxation time. In the paper [11], authors studied the interaction of free harmonic waves with multilayered media in generalized thermoelasticity by utilizing the combination of the linear transformation formation and transfer matrix method approach. Solutions obtained are generaland pertain to several special cases. Of these mention: (a) dispersion characteristics for a multilayered.

In the example of propagation of elastic longitudinal waves, in the present work the propagation of heat waves in an anisotropic medium of cubic crystal system are considered in the presence of the symmetry axis of even order.

The motion equation for the elastic longitudinal wave propagating along one of spatial coordinates in an anisotropic layer of the cubic syngony is as follows:

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial t} = \rho \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} \qquad (1)$$

Репозиторий КарГУ

where

$\sigma_z = c_{11}\frac{\partial Uz}{\partial z}$ - z-component of the stress tensor σ_{ij}, ρ - medium density, U_z – z-component of the displacement vector of medium, c_{33} - isothermal elastic modulus.

Based on the method of separation of variables in the case of a harmonic function of time:

$$[U_z;\sigma_z] = [U_i(z),\sigma_{ij}(z)]\, e^{i\omega t} \tag{2}$$

The system of equations (1) reduced to a system of differential equations of second order, describing the propagation of harmonic waves:

$$\frac{d\vec{W}}{dz} = B\vec{W} \tag{3}$$

Here - $\vec{W}$ a column vector of the boundary conditions.

The result is the differential equation system of the first order:

$$\left.\begin{aligned}\frac{dU_z}{dz} &= \frac{1}{c_{11}}\sigma_z \\ \frac{d\sigma_z}{dz} &= -\omega^2\rho U_z\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{d}{dz}\begin{pmatrix}U_z\\ \sigma_z\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0 & b_{12}\\ b_{21} & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}U\\ \sigma\end{pmatrix} \tag{4}$$

Solution of the problem: Let's find the determinant [5]:

$$\det|B-\lambda E| = 0 \tag{5}$$

where B - coefficient matrix whose elements contain the parameters of the medium, in which an elastic longitudinal wave propagates. The elements of this matrix are contained in (4) and have the form:

$$b_{12} = \frac{1}{c_{11}};\ b_{21} = -\omega^2\rho$$

Which results in obtaining the characteristic equation (5):

$$\lambda^2 = \pm i\omega\sqrt{\frac{\rho}{c_{33}}}$$

The last relation leads to the conclusion that the wave spectrum is equal to:

$$k_{1,2} = \pm i\omega\sqrt{\frac{\rho}{c_{33}}} \tag{6}$$

This problem can be solved as follows:

Репозиторий КарГУ

$$\varphi = Ae^{\lambda_1 z} + Be^{\lambda_2 z} \Rightarrow \varphi = Ae^{i\omega\sqrt{\frac{\rho}{c_{33}}}z} + Be^{-i\omega\sqrt{\frac{\rho}{c_{33}}}z} \quad (7)$$

Let's take the above mentioned as an example to consider the thermal wave propagation in an anisotropic medium of the cubic syngony.

Let's assume that harmonic thermal expansion waves with the circular frequency ω occur in an unlimited thermoelastic medium.

The one–dimension equation of thermal conductivity is as follows:

$$c_\varepsilon \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda_{33} \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad (8)$$

which in matrix form is written as follows:

$$\frac{d}{dz}\begin{pmatrix} \theta \\ q_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & b_{78} \\ b_{87} & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \theta \\ q_z \end{pmatrix} \quad (9)$$

where c_ε-heat capacity at constant strain, $\theta = T - T_0$ temperature increase compared to the temperature T_0 of the natural state, λ_{33} - thermal conductivity tensor, q_z- vector component of heat [2].

Coefficients of the matrix B in (9) look as follows:

$$b_{78} = -\frac{1}{\lambda_{33}}; b_{87} = -i\omega\, c_\varepsilon$$

In this case the characteristic equation (5) can be represented as follows:

$$\delta^2 - i\omega\frac{c_\varepsilon}{\lambda_{33}} = 0 \quad (10)$$

from which it follows that

$$\delta_{1,2} = \pm\sqrt{\frac{i\omega}{a}} \quad (11)$$

where $a = \frac{\lambda_{33}}{c_\varepsilon T_0}$ - thermal diffusivity.

The roots of (11) have the form:

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{\omega}{a}}e^{i\frac{\pi}{4}}; \qquad \delta_2 = \sqrt{\frac{\omega}{a}}e^{i\frac{\pi}{4}+\pi}$$

$$\Rightarrow \quad \delta_1 = \sqrt{\frac{\omega}{a}}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{i}{\sqrt{2}}\right) = \sqrt{\frac{\omega}{2a}}(1+i) \quad (12)$$

$$\delta_2 = -\sqrt{\frac{\omega}{2a}}(1+i) \quad (13)$$

Subtracting (12) from (13), we obtain

Репозиторий КарГУ

$$\delta_2 - \delta_1 = -\sqrt{\frac{\omega}{2a}}(1+i) \tag{14}$$

then

$$\delta_1 = -\delta_2 \ \Rightarrow \delta_2 = -\delta_1 \tag{15}$$

Solution of the problem of the heat wave propagation in one dimension will be:

$$T_m = \frac{B-\delta_2 E}{\delta_1 - \delta_2} e^{\delta_1 z} + \frac{B-\delta_1 E}{\delta_2 - \delta_1} e^{\delta_2 z} \tag{16}$$

Numerator on the right side of (16), using (14) and (15), will be:

$$\frac{B-\delta_1 E}{2\delta_2} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2\sqrt{\frac{2\omega}{a}}(1+i)} \\ \frac{i\omega c_\varepsilon}{2\sqrt{\frac{2\omega}{a}}} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

The coefficient matrix B can be represented as follows:

$$B = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1-i}{4\sqrt{\frac{2\omega}{a}}} \\ \frac{\omega c_\varepsilon}{4\sqrt{\frac{2\omega}{a}}} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{4\sqrt{\frac{2\omega}{a}}} \\ \frac{\omega\, c_\varepsilon}{4\sqrt{\frac{2\omega}{a}}} & 0 \end{pmatrix}$$

Consequently, the coefficient matrix B is separated into the real and the imaginary parts:

$$B = \mathrm{Re}\ B + \mathrm{Im}\ B$$

that corresponds to thermal wave propagation in a solid body.

In the general case, considering the above relations, the solution (16) can be represented as follows:

$$T_m = \mathrm{Re}\, B e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}}z} Cos\sqrt{\frac{\omega}{2a}}z + \mathrm{Im}\, B e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}}z} Sin\sqrt{\frac{\omega}{2a}}z \tag{17}$$

The solution of the thermal wave propagation problem in the one–dimensional case coincides with the classic solution, which is as follows [12, p. 287]:

$$f = e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}}z} e^{i\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2a}}z\right)} \tag{18}$$

Репозиторий КарГУ

For physical reasons, from the two roots δ_1, δ_2, it is necessary to retain the root, which includes the negative real part.

Consequently, the solution for the thermal wave is obtained as follows:

$$\theta = \theta_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}}z} Cos\omega\left(t - \frac{z}{\sqrt{2a\omega}}\right) \tag{19}$$

Conclusion: In this paper, based on the analytical method of matriciant, the solution of problems of the one-dimensional propagation of elastic longitudinal and thermal waves in anisotropic medium of cubic crystal system.

References:

1 Nowacki W. Dynamic Problems of Thermoelasticity, Noordhoff, The Netherlands, 1975. - 320 p. - book

2 Nowacki W. Thermoelasticity. Pergamon Press, Oxford, UK, 2nd edition, 1986, - 207 p. - book

3 Tleukenov S. Investigation of the thin layer influence of the boundary conditions. Abstacts “Seminar on earsquareprocesse and their consequences”. Kurukshetra. India. 1989. – P. 4 –proceedings of the conference

4 Tleukenov S. The structure of propagabor matrix and it is application in the case of the periodical inhomogeneous media. Abstr. Semin. on Earthquake processes and their consequences Seismological investigations.1989.-Kurukshetra, India.P.2-4 – proceedings of the conference.

5 Tleukenov S. Matriciant method. – Pavlodar: PSU after S. Toraighyrov, 2004. – 148 p. - book

6 Ispulov N. A., Qadir A., and Shah M. A. “Reflection of thermoelastic wave on the interface of isotropic half-space and tetragonal syngony anisotropic medium of classes 4, 4/m with thermomechanical effect,” *Chinese Physics B*, vol. 25, no. 3, Article ID 038102, 2016.

7 Ispulov N. A., Qadir A., Zhukenov M. K., Dossanov T. S., and Kissikov T. G. “The analytical form of the dispersion equation of elastic waves in periodically inhomogeneous medium of different classes of crystals,” *Advances in Mathematical Physics*, vol. 2017, Article ID 5236898, 2017.

8 Ispulov N.A., Qadir A., Zhukenov M., and Arinov E. “The Propagation of Thermoelastic Waves in Anisotropic Media of Orthorhombic, Hexagonal, and Tetragonal Syngonies,” *Advances in Mathematical Physics*, Volume 2017, Article ID 4898467, 2017.

9 Nondestructive testing: Reference book: 7 chapters. Edited by V.V. Kluev. Ch. 4: In 3rd book. Book 1: Acoustic strain metering./ V.A. Anisimov, B.I. Katorgyn, A.N. Kutsenko and others. – M.: Mechanical engineering, 2004. – 736 p. - pictures.

10 Verma K.L., Thermoelastic Waves in Anisotropic Plates using Normal Mode Expansion Method with Thermal Relaxation Time, *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering* 2:2, 2008. - pp. 86-93. - journal article

11 Verma K. L. The general problem of thermoelastic wave propagation in multilayered anisotropic media withapplicationtoperiodic media, *International Journal of Applied Engineering Research*, Dindigul Volume 1, No4, 2011. - pp. 908-922. - book

12 Kovalenko A. D. Fundamentals of thermoelasticity, Kiev, 1970, 240 p. – book

Репозиторий КарГУ

Джайчибеков Н.Ж.[1], Киреев В.Н.[2], Шалабаева Б.С.[1]
[1] *Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан,* [2] *Башкирский государственный университет, Уфа, Россия. E-mail: Shalabaeva.b.s@mail.ru*

Математическая модель диэлектрической капли в электрическом поле

Целью данной работы является исследование динамики изменения формы диэлектрической капли, вызываемой однородным электрическим полем. В работе представлена математическая и компьютерная модель диэлектрической капли в однородном электрическом поле и на основе данных моделей, рассмотрено изменение формы капли. Для построения модели использована система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая движение вязкой ньютоновской жидкости.

Первым ученым, обратившим внимание на поведение жидкостей во внешнем электрическом поле, следует считать английского физика и врача Уильяма Гильберта (WilliamGilbert), который внес большой вклад в изучение электрических и магнитных явлений и первым ввел в науку термин «электричество». В опубликованной им в 1600 году книге «О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле» («De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure») [1] он писал: «Ведь он [янтарь] явно влечет к себе самое тело в опыте с круглой каплей воды, помещенной в сухое место: янтарь, придвинутый к ней на соответствующее расстояние, отрывает от нее ближайшие ее части и превращает ее в конус …». Также в 1882 году Лорд Рэлей (LordRayleigh) опубликовал статью, в которой впервые была рассмотрена задача об устойчивости заряженной капли жидкости [2]. Кроме того, есть ряд работ, где также рассматривалось изменение формы капель [3,4] и другие.

На сегодняшний день, исследования включают не только новейшие высокие технологии, но и многие классические области инженерной механики, такие как механика нефтегазовой промышленности, где важны науки о коллоидах, полимерах, мембранах и другие. Так как фильтрация происходит в микроканалах (порах), а сама нефть представляет собой многокомпонентную жидкость, и она, как правило, смешивается с водой (и зачастую с газами), что делает систему многофазной.

В данной работе рассмотрено поведение диэлектрической капли (масло) в воде под воздействием электрического поля. Предполагается, что капля в форме шара и с радиусом r помещена в воду и электрическое поле с напряженностью $\vec{E}$, что повлечет за собой изменение формы капли. Предполагается, что источником однородного электрического поля является заряженный плоский конденсатор. Поле сосредоточено между его пластинами. Вне конденсатора поле является неоднородным, поскольку сказываются краевые эффекты. Ожидается, что диэлектрическая капля примет форму эллипсоида, с большим и малым полуосями a и b соответственно. Притом, что большая полуось эллипсоида будет совпадать с вектором напряженности электрического поля $\vec{E}$ по направлению.

Математическое моделирование диэлектрической капли в однородном электрическом поле. Пусть будет дана капля, с начальной формой сферы радиуса r, объем которой можно выразить как $V_0 = \frac{4}{3}\pi r^3$.

Капля подвергается воздействию однородного электрического поля с напряженностью E, что повлечет за собой деформацию формы капли. Форма капли естественно изменится, капля примет форму эллипсоида. Тогда объем эллипсоида определяется, как известно, через его большие и малые полуоси a и b соответственно. То есть объем эллипсоида $V = \frac{4}{3}\pi r^3$. Вектор напряженности электрического поля при этом направлен вдоль большой полуоси

Репозиторий КарГУ

эллипсоида. Известно, что линейные размеры всех веществ изменяются при приложении к ним электрического поля (электрострикция).

В рассматриваемом случае изменение объема капли будет мало, поскольку рассматриваются только малые деформации формы, а эффект электрострикции дает квадратичную связь между деформацией и электрическим полем. Таким образом, будем считать, что первоначальный объем капли не изменится. Это можно выразить как $V_0 = V$.

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi ab^2$$

Что дает нам:

$$r^3 = ab^2$$

Используя последнюю формулу и выражение для эксцентриситета эллипса через длины большой и малой полуосей

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

можно получить следующие формулы:

$$a = r\left(1 - e^2\right)^{-1/3}, \qquad b = r(1 - e^2)^{1/6}.$$

Эти формулы выражают связь между длинами большой и малой полуосей через эксцентриситет эллипса и радиус сферы, форму которой имела капля до воздействия электрического поля. Поскольку для данной капли радиус r – фиксированная величина, то очевидно, что форма деформированной капли будет характеризоваться только одним параметром – эксцентриситетом e.

Таким образом, мы получили зависимости для большой и малой полуоси эллипса от первоначального радиуса и эксцентриситета. Это позволяет нам показать динамику изменения формы капли с помощью того же эксцентриситета. В дальнейшем это нам поможет для того чтобы показать зависимость эксцентриситета от полной энергии капли. В случае если мы найдем минимум энергии при определенном эксцентриситете, это даст нам право воспользоваться устойчивым положением равновесия системы.

Полная энергия деформированной капли выражается суммой поверхностной энергии капли и электростатической энергии капли [5]:

$$E_{ПОЛН} = E_s + E_E$$

Поверхностная энергия деформированной капли вычисляется по формуле:

$$E_s = \sigma S,$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, S – площадь поверхности.

Зная формулу площади поверхности S, вытянутого эллипсоида вращения ($a > b$) окончательно для поверхностной энергии получим следующее выражение:

Репозиторий КарГУ

$$E_s = 2\pi r^2 (1-e^2)^{1/3} \sigma \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1-e^2}} \frac{\arcsin e}{e} \right].$$

Электростатическая энергия E_E диэлектрического эллипсоида в однородном электрическом поле [6]

$$E_E = -\frac{2\pi a b^2 E^2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{3\left[1 + \frac{ab^2}{2\varepsilon_1} (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) A \right]},$$

где

$$A = \int_0^\infty \frac{ds}{(s+b^2)(s+a^2)^{3/2}} = \frac{1-e^2}{e^3 r^3} \left(\ln \frac{1+e}{1-e} - 2e \right)$$

и, выражая длины полуосей через эксцентриситет, окончательно получим

$$E_E = -\frac{2\pi r^3 E^2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{3\left[1 + \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)(1-e^2)}{2\varepsilon_1 e^3} \left(\ln \frac{1+e}{1-e} - 2e \right) \right]}.$$

Аналитически равновесное значение эксцентриситета может быть найдено из условия равенства нулю производной

$$\frac{dE}{de} = \frac{d(E_s + E_E)}{de} = 0.$$

Таким образом, для определения эксцентриситета деформированной диэлектрической капли в заданном однородном электрическом поле получим следующее нелинейное уравнение:

$$\frac{3-2e^2}{(1-e^2)^{2/3}} - \frac{3-4e^2}{(1-e^2)^{7/6}} \frac{\arcsin e}{e} - \frac{rE^2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)^2}{2\sigma\varepsilon_1} \frac{C}{(1 + B(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)/\varepsilon_1)^2} = 0,$$

Где

$$B = \frac{1-e^2}{2e^3} \left(\ln \frac{1+e}{1-e} - 2e \right), \; C = \frac{1}{e^2} \left[\left(\frac{3}{e} - e \right) \ln \frac{1+e}{1-e} - 6 \right].$$

Расчеты для распределения полной энергии выполнены в среде разработки IntelliJ IDEA на языке программирования JAVA. В расчетах приняты те же характеристики капли и внешней среды, что в эксперименте [6]. Радиус рассматриваемой капли $r = 10^{-3}$м, электрическая проницаемость $\varepsilon_2 = 81$, коэффициент поверхностного натяжения составит $\sigma = 71.97 * 10^{-3}$Н/м, электрическая проницаемость вокруг капли равна $\varepsilon_2 = 1.00057$. Капля подвергнется воздействию внешнего постоянного электрического поля с напряженностью $E = 11{,}4 * 10^5$ В/м в зависимости от ее эксцентриситета.

Репозиторий КарГУ

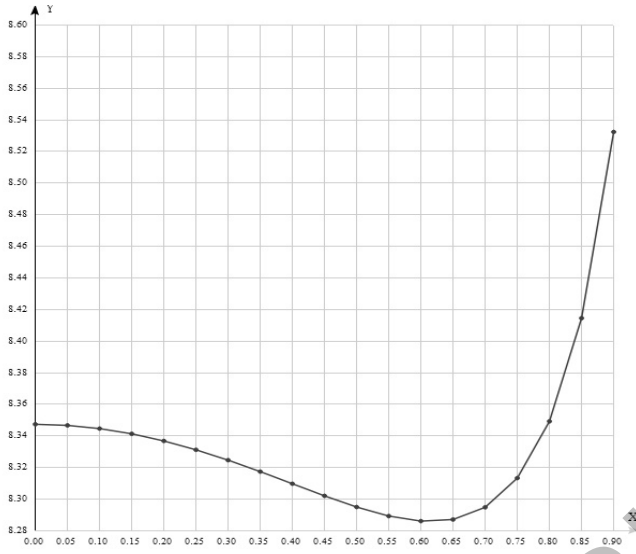


Рисунок 1 – Распределение полной энергии капли воды от эксцентриситета
По вертикали – энергия капли ($E_{\text{полн}}$) по горизонтали – эксцентриситет (e)

При сопоставлении расчетных (синий цвет кривой) и экспериментальных данных (красные кружки на кривой) на графиках распределения энергии от эксцентриситета рисунки 1 и 2, практически полностью совпадают.

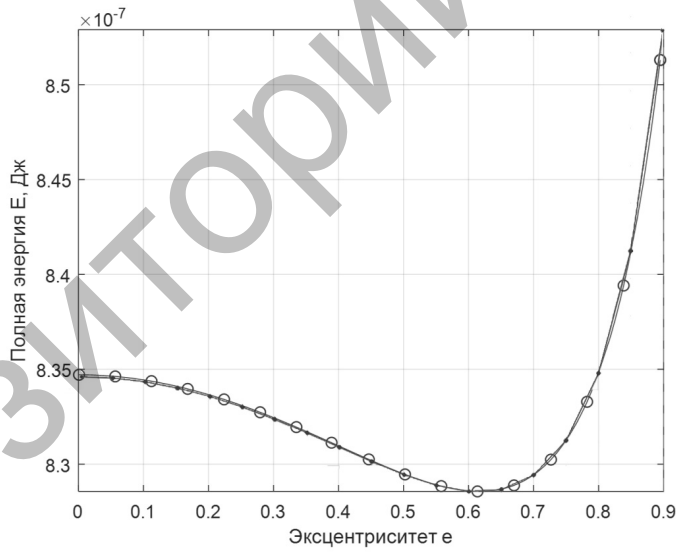


Рисунок 2 – Полная энергия капли воды ($r = 10^{-3}$ м, $\varepsilon_2 = 81$, $\sigma = 71.97 \cdot 10^{-3}$ Н/м) в воздухе ($\varepsilon_1 = 1{,}00057$) под действием внешнего постоянного электрического поля ($E = 11{,}4 \cdot 10^5$ В/м) в зависимости от ее эксцентриситета

Таким образом, форма капли первоначально круглая, деформируется под действием внешнего постоянного электрического поля ($E = 11{,}4 \cdot 10^5$ В/м) и для нашего случая, при эксцентриситете e=0.6 достигает эллиптической формы. При компьютерном моделировании с использование программного пакета COMSOLMultiphysics, также, получено, что данный эксцентриситет $e = 0.622514$ близок к результату математического моделирования диэлектрической капли в электрическом поле.

** *Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант No. AP05134098).*

Репозиторий КарГУ

Литературы:

1 Гильберт В. О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле: Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов. Перевод с латинского А.И. Доватура – М.: Изд-во Академии наук, 1956. – 412с

2 Lord Rayleigh On the equilibrium of liquid conducting masses charged with electricity // The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. – 1882. – Vol. 14, Issue 87. – P.184-186

3 Китайская научно-техническая информационная профессиональная издательская платформа, // URL:http://news.mydrivers.com/1/612 /612255.htm?utm_source=ixbtcom

4 Мирошниченко С. П., Серба П. В. Методическое пособие по курсу «Персональная электроника» Жидкокристаллические мониторы. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. — 24 с

5 Brown A.H., Hanson C. Effect of Oscillating Electric Fields on Coalescence in Liquid+Liquid Systems // Transactions of the Faraday Society. – 1965. – Vol. 61. – P.1754-1760

6 Eow J.S., Ghadiri M. Electrostatic Enhancement of Coalescence of Water Droplets in Oil: A Review of the Technology // Chemical Engineering Journal. – 2002. – Vol. 85, Issues 1-2. – P.357-368

Нариманов Р.К.[1], Мерзляков А. В.[1], Майлюков Д.А.[1], Нариманова Г.Н.[2]

[1]Томский государственный университет, г. Томск, Россия. [2]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия E-mail: ring_0@mail.ru

Движение заряженных частиц в электронных приборах с учетом особенности граничных условий

Полевые транзисторы (ПТ) занимают важное место в полупроводниковой СВЧ-электронике (см. [1, 2]). В предлагаемой работе предложен метод двумерного численного моделирования процессов внутри полевых транзисторов на основе решения дифференциальных уравнений в частных производных: уравнения Лапласа для потенциала и непрерывности тока для электронов. Используемая двумерная численная модель позволяет учитывать эффекты нестационарной динамики электронов и исследовать сложные явления переноса носителей в ПТ. Двумерный подход в рассмотрении электрического поля позволяет учитывать краевые эффекты на стоковом конце затворов, проявляющиеся в возникновении областей высокой концентрации напряженности электрического поля, существенно влияющих на характер движения носителей заряда.

Рассмотрим двумерную задачу определения распределения электрического поля и токов в изотропной проводящей среде, находящейся внутри плоского канала постоянного сечения, верхняя и нижняя стенки которого частично являются электродами, а частично изоляторами. Далее в работе точку стыка электрода и изолятора будем называть особой точкой. В данном случае электрическое поле потенциально, т.е. его напряженность можно представить как градиент некоторого потенциала, $\vec{E} = -\mathrm{grad}(\varphi)$, а распределение потенциала удовлетворяет уравнению Лапласа

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \qquad (1)$$

со смешанными граничными условиями. На электродах потенциалы

$$\varphi = V \qquad (2)$$

Репозиторий КарГУ

На изоляционных стенках нормальная составляющая плотности тока $j_n = 0$, откуда следует граничное условие для потенциала на верхнем и нижнем изоляторах и для боковых границ:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \qquad (3)$$

Решение данной задачи ищем численно, используя конечно-разностные приближения. Однако данная задача вблизи смены граничных условий имеет определенную особенность: при приближении к особой точке изменение потенциала носит логарифмический характер, а это ведет к неограниченному росту производных этой функции и как следствие к возрастанию ошибки численной аппроксимации. С целью ограничения данной погрешности предлагается метод сращивания численного и аналитического решения, основанный на методе Шварца [3,4].

Для решения поставленной задачи в окрестностях стыков электродов и изоляторов использовалось разложение потенциала в ряд Фурье. При численной реализации решения уравнения Лапласа расчетная область делится на две подобласти G1 и G2 имеющие не пустое пересечение.Область G1 охватывает все особые точки и их некоторые окрестности, область G2 особых точек не имеет. Решение задачи в G2 ищется численно общеизвестными методами [5], а в G1 аналитически, в виде разложения функции в ряд Фурье. При этом коэффициенты разложения аналитического решения области G1 определяются из области численного решения G2. Общее решение задачи во всей области находится как предельное итерационное решение, полученное в результате последовательного определения решений в G1 и G2.

Погрешность решения, полученного с использованием данного метода, находилась путем сравнения с аналитическим решением подобной задачи: распределение электростатического поля в канале постоянного сечения в зоне входа однородного потока электропроводной жидкости в область расположения электродов и составила 0.3% .

Рассмотренная в предыдущей части модель расчета электростатического поля с учетом особенности в местах стыка изолятора и электрода позволяет применить ее для расчета концентрации электронов в канале полевого транзистора с барьером Шоттки. Полевой транзистор, схематически изображенный на рис. 1 представляет собой прямоугольную рабочую область с двух сторон ограниченную электродами, являющимися истокам и стоком. Затворы располагаются симметрично вдоль более широкой стороны.

Простейшая модель, описывающая движение электронов при низкой концентрации в рабочей области в предположении, что генерация источников заряда отсутствуют, рекомбинация пренебрежимо мала, а диффузионного тока нет, сводится к уравнению (см. [6]):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u\frac{\partial C}{\partial x} + v\frac{\partial C}{\partial y} = 0$$

здесь C – концентрация электронов, u и v – компоненты вектора скорости электрона.

Репозиторий КарГУ

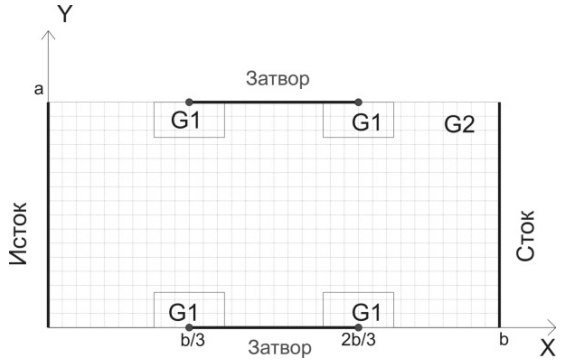


Рисунок 1. Схема полевого транзистора с затвором Шоттки

Уравнение Лапласа для потенциала решается с уже указанными выше граничными условиями на электродах и изоляторах. Реализация численного решения данной задачи основывается на вышеизложенном алгоритме решения.

Получены результаты распределения концентрации электронов при максимальном массовом секундном расходе, при работе полевого транзистора в режиме запирания и при достижении значений потенциала на истоке пробойных значений.

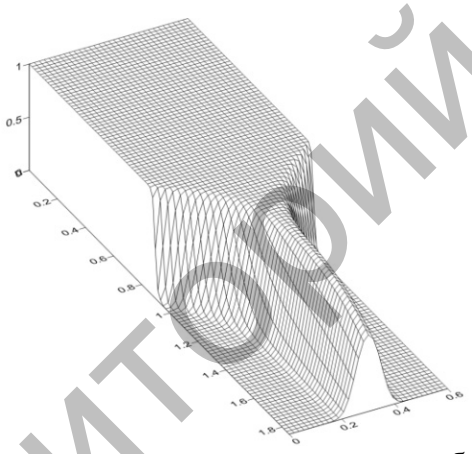


Рисунок.2. Распределение концентрации в рабочем режиме

Аналогичный подход можно применить для моделирования процессов в полевых транзисторах V-образного типа. Полевой транзистор такого типа, схематически изображенный на рис.3, представляет собой прямоугольную рабочую область; сверху попеременно располагаются электроды (исток, затвор, сток) и изоляторы. Нижняя и боковые границы являются изоляторами.

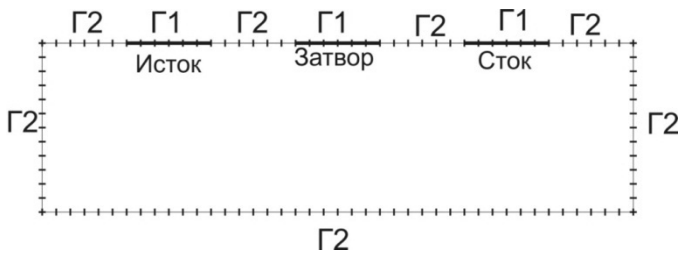


Рисунок. 3. Схема полевого транзистора V-типа

Распределение потенциала φ электростатического поля удовлетворяет уравнению Лапласа, граничные условия для которого задаются смешанным образом. На электродах

Репозиторий КарГУ

известно постоянное значение потенциалов, на изоляционных стенках условие не протекания тока.

Целью работы является моделирование движения электронов в полевом транзисторе и определение зависимости выходного тока от напряжения на затворе.

Расположение точек стыка изолятора и электрода вблизи входа и выхода потока электронов при V- образном типе транзистора требует повышенной точности расчетов в окрестности особых точек.

Для определения распределения потенциала электрополя используется метод Шварца, описанный выше и для сравнения было проведено решение данной задачи методом граничных элементов [7,8] при тех же граничных условиях. Использовались линейные граничные элементы, края которых выбирались так, чтобы попасть на углы или границы электродов и изоляторов. Отдельно определялись элементы на электродах, отдельно – на изоляторах. В месте стыка электрода и изолятора использовался элемент нулевой длины – так называемая двойная точка. В силу интегрального характера метода граничных элементов особенность на стыке обходится. На рис. 4 показано распределение потенциала электростатического поля в полевом транзисторе, найденное на основе метода Шварца и найденное методом граничных элементов

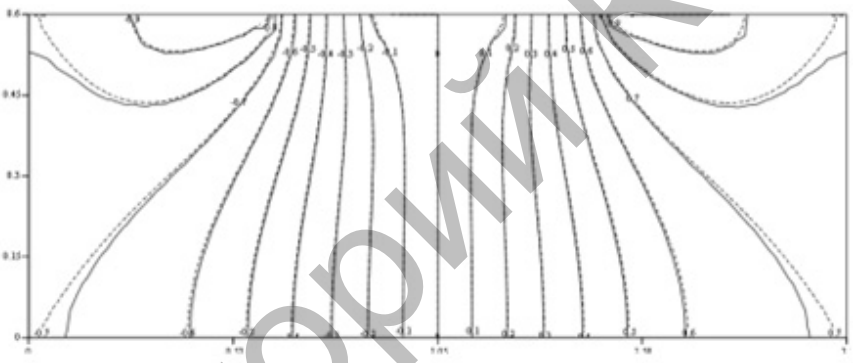


Рисунок 4 Распределение электростатического поля: расчет методом граничных элементов (сплошная линия) и методом на основе метода Шварца (штриховая линия).

Силовые линии соответствующие представленным распределениям показаны на рис. 5.

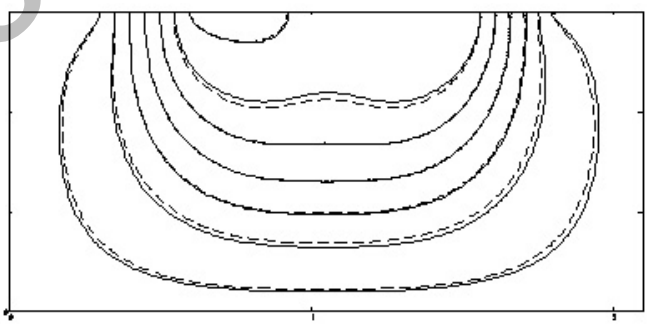


Рисунок 5. Силовые линии при φ = 0 на затворе: расчет методом граничных элементов (сплошная линия) и методом на основе метода Шварца (штриховая линия).

Как видно решения, полученные с использованием обоих методов, близки. Если в методе граничных элементов используемая интегральная схема автоматически учитывает неоднородности граничных условий, то в способе на основе метода Шварца, необходимо переопределять решение в окрестностях «особых точек». Не смотря на это, распределения электростатического поля, полученные обоими методами, вблизи стыка электрода и

Репозиторий КарГУ

изолятора идентичны. Разница в полученных распределениях наблюдается только в углах расчетной области, вследствие того, что метод граничных элементов дает недостаточно точное решение в углах. Силовые линии электрического поля, определенные при решении этой задачи, являются траекториями движения электронов; по их форме и величине напряженности на них можно определить силу тока через транзистор. Таким образом, в настоящей работе представлен пример математического моделирования процессов в полевом транзисторе в двумерном случае, с учетом особенностей граничных условий. Его применение позволит более точно судить о процессах внутри транзистора, а значит – даст возможность их оптимального проектирования.

Литературы:

1. Сорокин С.А. Эксперименты с плазмонаполненным стержневым пинч – диодом на генераторе МИГ. – Томск: Журнал технической физики, 2011. – Т.81. Вып.7.
2. Сорокин С.А. Генерация мощных импульсов мощного рентгеновского излучения в стержневом пинч – диоде с радиальной фольгой. – Томск: Журнал технической физики, 2014. – Т.40. Вып.16.
3. Schwarz H., Ges. Math. Abh., Bd 2, B., 1890
4. Neumann C. “ Ber. Verhandl. Sächsisch. Akad. Wiss. Leipzig. Math.-naturwiss. Kl.”, 1870, Bd 22, S 264-321
5. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа, М.: 5 изд., 1962, гл. 7
6. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976
7. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 2004. 307 с.
8. Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов. М.: Мир, 1987. 478 с.

Ю.М.Смирнов, А.К.Сыздыков, Н.С. Смакова
Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан, smirnov_y_m@mail.ru

Нелинейные процессы в низкочастотных гидравлических ударных системах

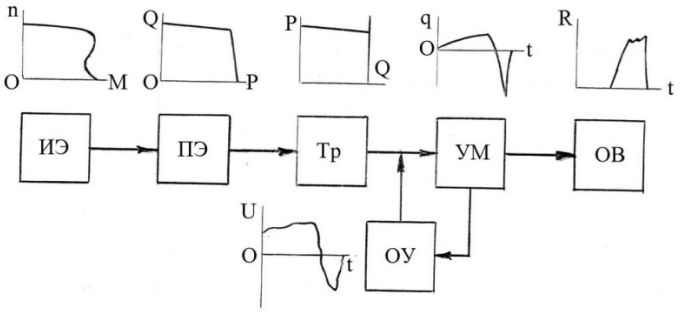
Гидравлические ударные системы в настоящее время широко используются в различных отраслях промышленности в качестве рабочих органов ударного действия. При их эксплуатации установлено, что их выходные показатели имеют расхождение с полученными аналитическими методами. Это объясняется тем, что при исследовании и создании систем не в полной мере учтены нелинейные процессы внутренних рабочих циклов. Для учета отмеченных несоответствий предлагается аналитико-экспериментальный метод.

Обобщенная структурная схема гидроударной системы (рисунок 1) представлена совокупностью источника энергии *ИЭ*, преобразователя энергии *ПЭ*, трансмиссии *ТР*, ударного механизма *УМ*, органа управления *ОУ* и объекта воздействия *ОВ*. При этом предполагается, что параметры всех составных элементов находятся во взаимосвязи и в целом определяют внутренние параметры системы и ее выходные показатели. Взаимосвязь выражается через характеристики каждого элемента.

Последовательность функционирования системы представляется следующей. Источник механической энергии передает крутящий момент на вал гидронасоса, и рабочая жидкость под давлением поступает по гидромагистрали (трансмиссии) в ударный механизм. Перераспределение потока рабочей жидкости в каждой из фаз рабочего цикла производится органом управления, имеющим обратную связь с ударным механизмом или работающим по заданной программе. В результате на объект воздействия передаются механические импульсы заданной интенсивности и формы. В тех случаях, когда механическая

Репозиторий КарГУ

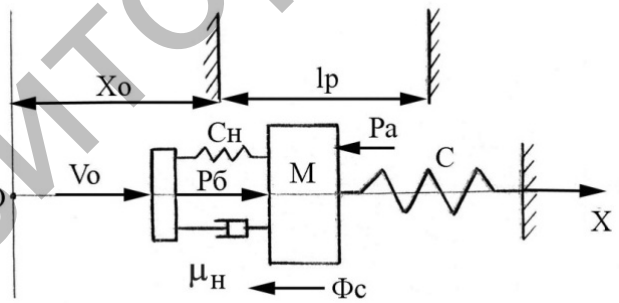
характеристика двигателя является жесткой и можно пренебречь внутренними утечками в насосе, его производительность может быть принята постоянной.



ИЭ– источник энергии; *ПЭ* – преобразователь энергии; *Тр* – трансмиссия; *УМ* – ударный механизм; *ОУ* – орган управления; *ОВ* – объект воздействия

Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема гидроударной системы

Это заключение легло в основу механической модели гидроударной системы, приведенной на рисунке 2. Содержание ее характеризуется следующим. Подвижное тело массой М, равной сумме массы бойка и приведенной к нему массы жидкости, участвующей в движении, совершает поступательное движение под действием двух пружин с соответствующими коэффициентами жесткости $С_н$ и С. В физическом отношении первая пружина характеризует привод, вторая – камеру рабочего хода ударного механизма. Свободный конец первой пружины движется со скоростью, равной приведенной к бойку скорости жидкости V_0, другая пружина противоположным концом закреплена неподвижно. Подобная схема соответствует ударному механизму VII класса; согласно классам на пружину с жесткостью С должны быть наложены другие требования.



V_o – приведенная скорость жидкости; C_H и μ_H – соответственно коэффициенты жесткости и демпфирования трансмиссии; C – жесткость пневматической камеры; $P_Б$ и P_A – соответственно силы, действующие на боек со стороны камер обратного и рабочего хода; X_o и X – соответственно начальная и текущая координаты бойка; l_p– конструктивный ход бойка; $Ф_c$ – силы сопротивления

Рисунок 2 – Механическая модель гидроударной системы

Исходными данными при исследовании системы являются ее технико-эксплуатационные показатели: энергия единичного удара $А_б$, предударная скорость бойка V и максимальная реакция отдачи R_m.

При исследовании гидроударных систем [6, 181, 192, 201] обычно рабочий цикл делят на несколько фаз, из которых: а – обратный ход; б – рабочий ход; в – удар. Выделяемая в некоторых исследованиях фаза торможения основного исполнительного элемента (бойка) по

Репозиторий КарГУ

окончании обратного хода занимает сравнительно малую часть цикла и не оказывает существенного влияния на параметры и выходные показатели системы.

Дифференциальное уравнение движения основного исполнительного элемента в фазе обратного хода имеет вид:

$$M\ddot{x} = P_o + C_H\left[V_o t - (x - x_o)\right] - C_x,$$

где $M = m_б\,(1 + \mu_ж)$ – суммарная масса бойка и приведенной к нему массы жидкости; $\mu_ж$ – коэффициент приведения; $m_б$- масса бойка, определяемая из исходных данных: $m_б = 2\,A_б / v^2$.

Приведем полученное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка к виду:

$$\ddot{x} + k^2 x = \frac{P_0^*}{m_б(1+\mu_ж)} + \frac{C_н V_0}{m_б(1+\mu_ж)} t,$$

где $P_0^* = P_0 + C_н\,x_0$; $k^2 = (C_н + C) / m_б\,(1 + \mu_ж)$.

Решения уравнения имеют вид:

$$x = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt + \frac{P_0^*}{(C+C_н)} + \frac{C_н V_0}{(C+C_н)} t;$$

$$x = -C_1 k \sin kt + C_2 k \cos kt + \frac{C_н V_0}{C+C_н}.$$

Для нахождения постоянных интегрирования C_1 и C_2 воспользуемся начальными условиями фазы [x(0) = x0; $\dot{X}(0) = \alpha v$], где α – коэффициент восстановления скорости бойка после соударения с объектом воздействия. Тогда кинематические показатели движения основного исполнительного элемента имеют зависимости:

$$X = \frac{P_0^* + C_H V_0 t}{C + C_H} + \left(X_0 - \frac{P_0^*}{C + C_H}\right)\cos kt + \frac{1}{k}\left(\alpha V - \frac{C_H V_0}{C + C_H}\right)\sin kt;$$

$$\dot{X} = \frac{C_H V_0}{C + C_H} + \left(\frac{P_0^*}{C + C_H} - X_0\right) k \sin kt + \left(\alpha V - \frac{C_H V_0}{C + C_H}\right)\cos kt.$$

Совместное решение приведенных выражений позволяет установить закон изменения силы от внутренних параметров и показателей системы:

$$P_б(t) = \frac{R_m}{1 + C_o}\left\{\frac{C_o}{\varepsilon}\left(k_p\varepsilon - 1\right)\cos kt - \sqrt{\frac{(\varepsilon^2 - 1)(1 + \mu_c)}{\varepsilon}}\left(\alpha + C_0\alpha - C_0 W_0\right)\sin kt + \right.$$

$$\left. + W_0(\varepsilon - 1)\frac{V}{l_p} t + 1\right] + k_p\Big\},$$

где $C_0 = C_н/C$; $k_p = P_0/R_m$; $W_0 = v_0/v$– соответственно безразмерные коэффициенты жесткости, силы и скорости, определяющие параметры гидроударной системы.

Репозиторий КарГУ

При использовании полученной модели установлено, что принципиально могут быть реализованы три различных режима движения: циклический, псевдоциклический и ациклический. Каждому из режимов соответствуют определенные сочетания режимных коэффициентов, характеризующих параметры системы. Установление этих сочетаний осуществляется с помощью условий, накладываемых на движение основного исполнительного элемента.

Наиболее рациональный из них циклический, который предполагает соблюдение следующих условий:

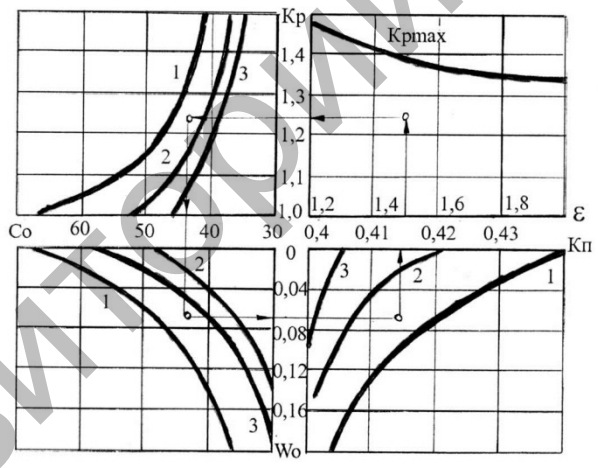
а) геометрическое, предполагающее равенство перемещения бойка в фазе обратного хода конструктивному ходу в фазе рабочего хода $x\ (t_o) = lp$;

б) кинематическое, требующее остановки бойка по отношению к корпусу в конце фазы обратного хода: $\dot{X}(t_o) = 0$;

в) силовое, предполагающее замкнутость силовой диаграммы по окончании каждого цикла:$P_б(Tц) = P_0$;

г) энергетическое, заключающееся в минимизации длительности фазы обратного хода, что при неизменных энергии единичного удара и времени фазы рабочего хода определяет максимум ударной мощности $t_0 \rightarrow \min$.

С использованием начальных и граничных условий в процессе решения модели установлена номограмма для определения режимных коэффициентов для рекомендуемого режима (рис. 3).



1,2 и 3 – соответственно приε = 1,2; 1,6 и 2,0

Рисунок 2.15 – Номограмма к определению параметров ациклического режима

Использование номограмм позволяет установить внутренние параметры системы и ее выходные показатели, выявить требования, предъявляемые к параметрам привода и органа управления, определить ударную мощность системы и установленную мощность привода.

Литературы:

1. Низкочастотные гидравлические импульсные системы (теория, опыт создания) / Г.Г. Пивень, Ю.М. Смирнов; Карагандинский государственный технический университет. Караганда: Изд-во КарГТУ, 2006. 316 с.

2. Смирнов Ю.М., Журунова М.А. К исследованию режимов движения гидроударной системы. – В сб. научных трудов Сибирского Федерального университета, Россия Федерация, г. Красноярск. – 2011. – С. 178-184.

3. Методы исследования импульсных систем с объемным гидроприводом / Ю.М. Смирнов, Б.М. Кенжин; Алматы: Изд-во ССК, 2018. 152 с.

Репозиторий КарГУ

[1]Шуюшбаева Н.Н., [2]Нүсіпбеков Б.Р., [2]Ахмадиев Б.А., [3]Танашева Н.К., [1]Садвакасова Д.Ж.
[1]Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау, Қазақстан,
[2] Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан. [3]Қолданбалы математика институты, Қарағанды, Қазақстан.
nn_shuish@mail.ru

Ұшқын разрядтарының электрлік сипаттамалары

Электроимпульстік механизмі уақыт бойынша бірінен соң бірі жүретін 2 түрлі процесс негізінде іске асады.

1. Қатты дененің беткі қабаттарының электрлік бұзылу нәтижесінде пайда болған ұщқындық канал;

2. Ұшқындық каналдың кеңеюі нәтижесінде механикалық кернеудің әсерінен қатты дененің бұзылуы.

Процесстің бірінші стадиясы кернеудің деңгейімен және потенциалдық бұзылудың техникалық параметрлерімен анықталады. Процесстің екінші стадиясында импульстік конденсаторда жинақталған энергияның материалдарды бұзуға жұмсалатын жұмысқа айналуы нәтижесінде, материалдардың ұсақтауға арналған минимал энергия сыйымдылығына алынады[1].

Разряд аралық қашықтықта өтетін процесс 2 электродтан қатты дене бетінде көптеген тармақты разрядтардың пайда болуынан басталады.Тармақты разрядтардың қозғалуына байланысты олардың ұшынан қатты денеде толық емес ойық каналдар пайда болады. Екі ортаның шекарасына енгізілген үлкен көлемді разряд қатты дене бетіндегі разрядтық процестің өрбуін тежейді.

Разрядтық процестің табиғаты импульс полярлығы мен қатты дене бетіндегі электродтардың орналасуына тікелей байланысты. Бұл зерттеулердің практикалық маңызы ойықтың технологиялық эффективтілігін көрсететін бұзылудың потенциалдық көлем мөлшері V, анықталатын қашықтығы *l* және қатты дене енгізілетін разряд тереңдігі h болып табылады. Әр түрлі авторлардың эксперименттік зерттеулерінің мақсаты қатты денеге разряд енгізу тереңдігі, бұзылу параметрлерінің электродтар арақашықтығы, кернеу импульсінің амплитудасы, сұйық пен қатты денелердің диэлектрлік және беріктік қасиеттерінің байланысын орнату болды. Бұл зерттеулер жүздеген тау кендерін трансформаторлық май, дизелді отын, негізі мұнай болатын қоспа және суда бұзу арқылы іске асырылған. Әдісті практикада қолдану үшін келесі шарттар маңызды: *l* разрядтық аралықтарын алшақтату өнімділікті арттырудың V және электроимпульсті бұзылудың энергия сыйымдылығын W кемітудің эффективті әдісін табу. *l* разрядтық аралықтарын арттырған кезіндегі электроимпульсті бұзылудың энергия сыйымдылығының W меншікті энергетикалық шығындары анағұрлым төмендейді [2-5].

Арнаның электрлік сипаттамалары дегеніміз арнадағы разрядтық ток пен кернеудің, арнаның кедергісінің, арнада бөлінентін энергия мен қуаттың уақыт бойынша тәуелділігін айтады. Разрядтық ток пен кернеудің осциллограммасы нәтижесінде электрод аралықта арнаның пайда болуы кезінде кедергінің күрт артатыны анықталған. Жоғарывольтты разряд үшін жұмыстық кернеу ондаған кВ болса, ұзындығы 5-10 мм электрод аралықтағы кедергі 10^2 Ом тең. Арна пайда болған кезде кедергі күрт азайып, минимум мәніне жетеді де, ток нольге ұмтылған кезде, қайта артады. Арна кедергісінің азаюы біріншіден, разрядты токпен қыздырылып жатқан плазманың температурасының артуынан, екіншіден каналға түсірілетін асқын қысымның әсерінен арнаның көлденең қимасының ауданының артуынан болады. Разряд соңында немесе әр жартылай период кезінде егер разряд тербелмелі болса, плазманың суынуы әсерінен арна кедергісі және арнаның көлденең қимасының ауданы артады.

Репозиторий КарГУ

Әр түрлі факторлар әсерінен разряд кезінде канал кедергісінің табиғаты өзгеріп отырады:

- разрядтық контурдың индуктивтілігі;
- конденсатор сыйымдылығы;
- кернеудің бастапқы мәні;
- электрод аралық кеңістіктің ұзындығы;
- сұйықтың өткізгіштігі.

Аталған факторлармен кедергінің арасындағы байланыс күрделі болып саналады. Ток өту табиғатына қарай разрядтар апериодты, яғни разряд барысында ток бағыты өзгермесе және ток тербелісі байқалса периодты болып бөлінеді. Осыған сәйкес сындық разряд ұғымы енгізіледі. Сындық разряд үшін оның эффективті кедергісі толқындықпен теңеседі: $R_{эф} = \sqrt{\frac{L}{C}}$. [3]

1-кестеде тәжірибелер кезіндегі *U* жұмыс кернеуі мен импульстік конденсатордың С мәні, ал сыртқы оқшаулағышпен жерлендірілген өзегі бар РК-3 типті кабельден және жоғары вольтты электрод аралық *l* арақашықтықтың ұзындығы көрсетілген.

Кесте 1 - Әр түрлі уақыттағы алғашқы жарты периодты ток ұшқынын қамтамасыз ететін сыртқы параметрлердің басқару мәні

$U_0, 10^3$ В	С, 10^{-6} Ф	$l_р$,м	W, 10^3Дж
20	1	0,007	0,288
28	1	0,010	0,420
35	1	0,012	0,612

Арна кедергісі қалған разряд тізбегінің кедергісінен едәуір асып түсетіндіктен, конденсатор арнасынан энергияны тасымалдау қарастырылған барлық жағдайда толығымен орын алады. Разрядтық контурдың индуктивтілігінің артуы мен электрод аралық кеңістіктің ұзындығының кемуінің әсерінен разряд өшетін тербеліс режиміне ауысады[6].

Арна кедергісінің табиғатына қарай минимал қуат стадиясында плазма суынатынын болжауға болады. Бұл әсер кейде разрядты тоқтатуға әкеледі.

Конденсатордың бастапқы кернеудің жоғарлауы кезінде белсенділер (лидерлер) саны артады. Нәтижесінде белсенді ток артып конденстордағы кернеу кемиді. Арнаны қоректендіру үшін қалған энергия бұл бағытта азаяды да, сондай-ақ арнаны айналып өту әрекеттері азаяды.

Егер разряд сындық режимге жуық мәнде ағып жатса, аталған режим практикалық тұрғыдан маңызды болып табылады, разряд ұзақтығы $\tau \sim \pi\sqrt{LC}$ шамасына жуық болады. Өлшеулер минимал кедергінің төмендегідей әдіспен бағалауға мүмкін екендігін көрсетеді:ол бастапқы кернеудің жартысынан жоғары ток шамасының қатынасына тең, ал ол өз ретінде C·u~I_m τ/2 қатынасымен анықталады. Осы коэффициенттен R_m шамасы жуық мәндерде I_m τ /4C шамаға тең екені анықталды. Барлық эксперименталдық мән осы формуланы пайдаланып табылған мәндермен жақсы сәйкес келетініне көз жеткізуге болады.

Разряд кезінде пайда болған максималды қуат мәні CU^2/τ , максимал ток ағыны I_m~$4CU/\tau^2$ мәндерімен анықталады. Егер разряд режимі сыни мәңге жуық болса, жоғарыдағы коэффициенттермен есептелген мәндер эксперименталды түрде жақсы сәйкестенеді. Егер τ эксперименталды анықталған болып, арна тым ұзын болса, жоғарыдағы барлық коэффициенттер дұрыс мәндерді береді. Егер разряд тербелмелі белгілері бар режимде өтсе τ шамасы $\pi\sqrt{LC}$ шамасына жуық болып келеді. Әр түрлі параметрлері бар

Репозиторий КарГУ

разрядтық арнада ток пен кернеудің осциллограммасы судағы электр разряды өшетін тербелістер режимінде де ағып өте алатынын көрсетеді.

Сонымен қатар, каналда плазма күйінің құрамы өзгеретіні анықталып, оны сипаттайтың теңдеулер мен термодинамикалық функциялар анықталды.

Разрядтық тізбектің реактивті элементтерінде жинақталған түрлендіруші электр энергиясы қатты диэлектриктерді бұзуға жұмсалған энергияға –аралық күй -ойық каналдағы заттың ішкі энергиясы Е арқылы айналады.

Мұндағы ішкі энергия айналу процесінде маңызды орын алып, ойық каналдың кеңеюіне байланысты қоршап тұрған диэлектрик жұмысына А түрленеді. $A = \int_0^{V_1} pdV$. Конденсатталған диэлектрик затының ойығына қолданылатын калориялық теңдеу қолданылған $E=\frac{\rho V}{\gamma-1}$. Сілтілік галлоидты канал үлгісімен термодинамикалық функциясының , құрамы мен канал плазмасының теңдеуіне аналитикалық есептеулер жүргізуге болады. Бұл аналитикалық есептеулер ойық каналдың геометриялық өлшемдері мен берілген энергия мөлшері эксперименталдық-есептеу шамасына $у_э$ (t) сәйкестік береді[7].

Әдебиеттер:

1. Мельников Н.П. Предпробойное развитие электрического разряда в водных электролитах. Дисс. канд.физ.-мат.наук. -Л., 1969. - 132 с.
2. Попков В.И. К теории коронного разряда в газе при постоянном напряжении // Известия АН СССР. ОТН. - №5.-С.433-448.
3. К.А. Наугольных, Н.А. Рой.Электрические разряды в воде. Издательство: Наука. 1971.-152 с.
4. Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов.– СПб.: Наука, 1993.– 276 с.
5. Малюшевский П.П. Основы разрядноимпульсной технологии.- Киев:Наукова думка, 1983.- 270с.
6. Kussaiynov K., Shuyushbaeva N.N., Turdybekov K.M., Ahmadiev B.A. Optimization of technology of natural material destruction in the course of electrohydropulse drilling // International Scientific Colloquium: Modelling for Electromagnetic Processing. -Hannover, 2014. -P. 345-349.
7. Курец В.И. Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. - 321 с.

Shuyushbaeva N.N.[1], Stoev M.[4], Akhmadiev B.A.[2], Tanasheva N.K.[3], Altaeva G.S.[1]
[1]Kokshetau State University named after Sh.Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan, [2] Karaganda State University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan, [3]Institute of Applied Mathematics, Karaganda, Kazakhstan, nn_shuish@mail.ru

Study of heat exchange processes on soil heat exchangers of a heat pump

Currently, people are faced with the problem of serious deterioration of the state of natural resources and the environment for all the most important environmental indicators. Environmental pollution has a serious negative effect on human health. According to international studies, about 40 thousand children under 10 years old have neurological disorders as a result of excessive exposure to lead. Kazakhstan is in second place in terms of total environmental pollution by organic substances among the countries of Central and Eastern Europe and Central Asia. In cities, there is a high level of air pollution; the level of concentration of particulate matter is ten times higher than similar indicators in the European Union. According to estimates, air pollution causes up to 6 thousand premature deaths per year.

Today, the world economy depends on the export of raw materials and is therefore largely affected by external sharp fluctuations in prices on commodity markets. For example, Kazakhstan

Репозиторий КарГУ

will reach the maximum level of oil production and export between 2030 and 2040. In addition, there is high uncertainty in the level of hydrocarbon prices. According to estimates by the International Energy Agency and the US Energy Information Agency, hydrocarbon prices may reach historic lows by 2035 [1].

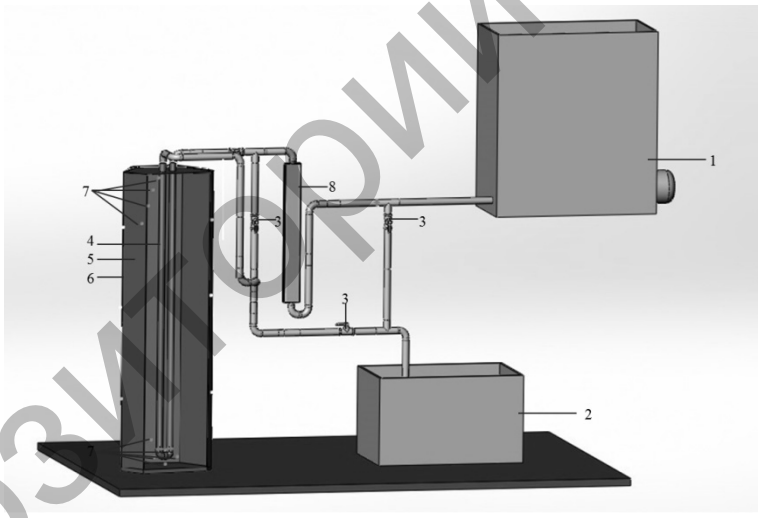
In this regard, the research and implementation of new technologies based on non-traditional energy sources is particularly relevant, since it is this type of energy that contributes to the solution of the above problems.

An intensively developing area of energy is the use of low-grade heat in heat supply systems, the sources of which can be secondary energy resources of low potential (water from cooling systems, waste water, exhaust air from ventilation systems, etc.) or the environment (atmospheric air, soil, water resources).

Use of low-potential warmth of soil is of special interest. The advantage of such a source of low potential heat is the widespread availability and relatively constant temperature.

The aim of this work is to study the heat transfer processes occurring in a soil heat exchanger.

For developing a methodology of calculating heat transfer processes in soil heat exchangers, a simulation research unit was created in the laboratory of the Department of Engineering Thermophysics (Figure 1), which allows modeling the operating conditions of a U-shaped soil heat exchanger. During the study of the heat transfer of U-shaped soil heat exchangers, the dependences of the temperature distribution in the soil around the pipe and the temperature change over time in dry and wet soils are determined.



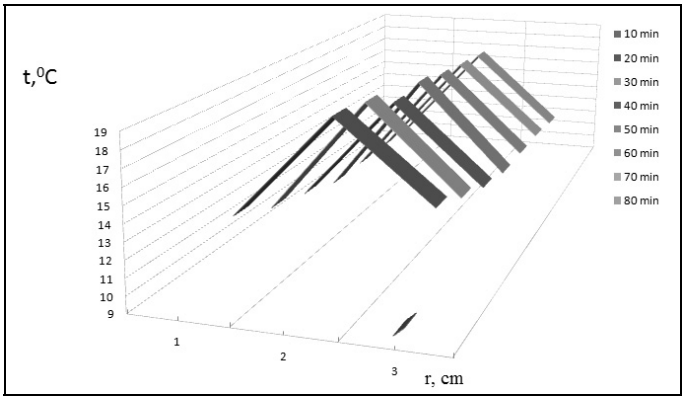
1 - water tank, 2 - measuring tank, 3 - valves, 4 - U-shaped vertical soil heat exchanger, 5 - soil, 6 - case, 7 - temperature sensors, 8 - flow meter

Figure 1 - Schematic diagram of the experimental stand for the study of heat transfer processes of soil heat exchangers

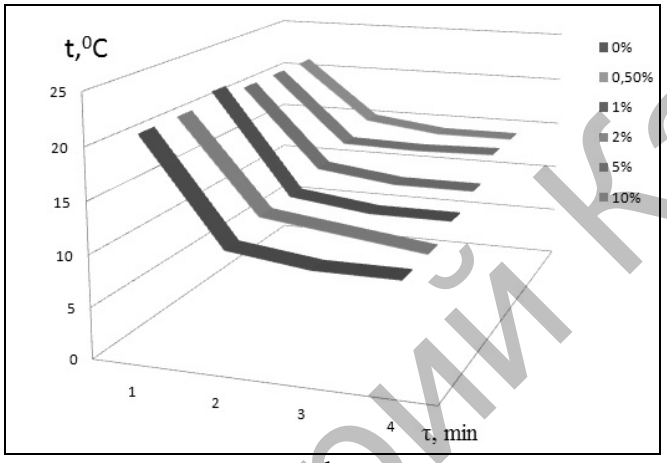
The experiments were carried out with different soil parameters to better approximate the natural conditions of the soil heat exchanger. During the experiment, temperature sensors measured temperature in several places, in particular, at different distances from the U-shaped pipe, at the outlet, and at the U-shaped pipe connection.

First, a change in temperature was determined at different radial distances in dry soil. When flowing through a U-shaped pipe of cold water at a speed of 0.098 m/s every 10 minutes, the readings of temperature sensors located at different distances were taken. They show the temperature changes around the pipe in the ground. According to the data obtained during the tests, dependency graphs were built. Figure 2 showsthetemperaturechangesovertime.

Репозиторий КарГУ



a



b

a - the connection area of the pipes; b - exit area of the pipes
Figure 2 - Change in temperature distribution over time (dry soil)

The temperature of the soil around the pipe over time decreases relatively faster than the temperature of the soil at a distance from the pipe. The temperature at the outlet of the pipe is higher than the temperature at the inlet, this is due to heat transfer from the soil to the pipe.

Temperature changes around the pipe of the soil heat exchanger located in the soil with different mass moisture concentrations are shown in Figures 2-3.

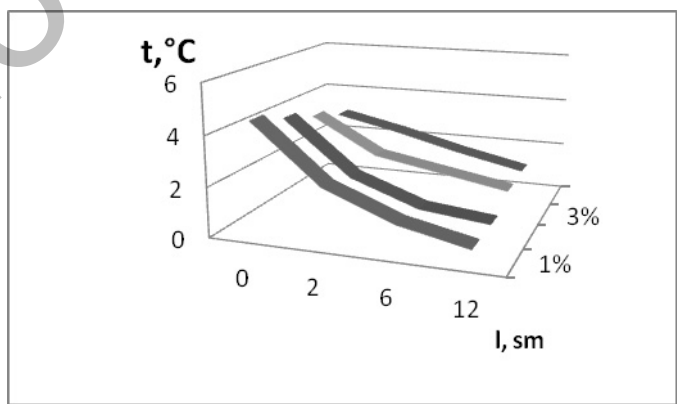


Figure 3 - Change in the temperature difference around the pipe depending on the distance at different soil moisture

Репозиторий КарГУ

According to the results of the research work, the sand temperature difference decreases with increasing humidity. Also, the heat exchange process in soil heat exchangers used for geothermal heat pumps has been investigated. At the research facility created by the authors, experiments were carried out and calculations were carried out confirming the best thermophysical parameters of wet sand. The regularities of the temperature distribution in the vicinity of a U - shaped soil heat exchanger are experimentally determined.

Since currently there are no standard heat exchangers for extracting heat from the soil, such systems must be designed for each specific object separately. It should be noted that from the point of view of thermophysics, soil is a rather complex system. Through experimental studies at the stands, the authors of the work obtained the time dependence of the temperature of dry and wet sands and the temperature distribution in the sand in the vicinity of the polyethylene pipe. The experiments carried out have confirmed that in dry soil the temperature change will be greater than in wet soil.

Thus, in capillary-porous systems, which is the soil mass of the heat collection system, the presence of moisture in the pore space has a noticeable effect on the process of heat distribution. The value of the equivalent thermal conductivity of moistened sand is higher than that of moistened clay, and increases with increasing humidity from 1 to 7%. The thermal conductivity of clays varies from 2 to 4 W / (m · ºC), while in sand it ranges from 5 W / (m · ºC) and more. The wetter the sand, the higher the thermal conductivity.

References:

1. Butuzov V.A. Improving the efficiency of heat supply systems based on the use of renewable energy sources: dis. Dr. tech. sciences. M., 2007.-297 p.

2. Vasiliev G.P., Shilkin N.V. Geothermal heat pump heating systemsand the effectiveness of their use in the climatic conditions of Russia // Zh. ABOK. 2007. No. 5. P. 58-74.

3. Shtym A.S., Markelova I.A. Heat collection systems for geothermal heat pumps // Tomsk State University Journal. Volgograd. state architect build University (Ser. Construction and arch.). 2011. Issue. 23.P. 126-133.

4. Nakorchevsky A. I., Nedbaylo N. A., Basok B. I. Experimental study of transients in soil heat storage. Proceedings of the Fourth Russian National Conference on Heat Transfer. 2006.I.7, P.290-293.

5. Vasiliev E.N., Derevyanko V.A., Makukha A.V. Investigation of the process of freezing soil using heat pipes. Proceedings of the Fourth Russian National Conference on Heat Transfer. 2006.I.7, P.175-178.

6. Thomas Grab, Thomas Storch, Sebastian Braune, Ulrich Gross. Performance of geothermal heat pipe using propane, VIII Minsk International Seminar "Heat pipes, heat pumps, refrigerators, power sources", Minsk, Belarus, September 12-15, 2011.

7. K. Kusaiynov, N.N. Shuyushbayeva, K.M. Shaimerdenova, Zh. G. Nurgalieva, N.N. Omarov. Study of heat transfer processes of tubular elements of soil heat exchangers // Engineering Physics Journal. 2015.I. 88, No. 3. P. 651-655.

8. K. Kussaiynov, N.N.Shuyushbayeva, M.Stoev, K.M.Shaimerdenova, D.A.Ospanova, B.A.Akhmadiev. Research the Processes of Heat Exchangers of the Soil of Different Humidities// Proceedings of the Fifth: International Scientific Conference. Blagoevgrad. 2015.P. 59-65.

9. Stoev M., Kussaiynov K., Shuyushbayeva N.N., Nurgalieva Zh.G., Ahmadiev B.A. Investigation of heat transfer in tubular elements of ground heat exchangers// Вестник Карагандинского университета. «Серия. Физика». – 2014. - 2 N(74).P.57-61.

10. Akhmadiev BA, Tatybekov A., Shuyushbayeva NN, Tanasheva NK Influence of various fillers on the heat exchange process in ground heat exchangers.Process. JS Republican scientific-practical conference "Actual problems of heat power engineering and applied thermophysics" dedicated to the 80th anniversary of Akhylbayev. Section "Applied Thermal Physics, Thermal Power Engineering and Industrial Ecology" (September 28). -2018. P.219-221.

Репозиторий КарГУ

Н.К.Танашева[1,2], Б.Р. Нусупбеков[1], А.Н.Дюсембаева[1,2], К.К. Саденова[1], Н.Н. Шуюшбаева[1,3], А.Ж. Тлеубергенова[1], А.Ж. Есіркеп[1]

[1]РГКП «Институт прикладной математики» КН МОН РК, Караганда, Казахстан,
[2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
[3]Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан.
E-mail: aikabesoba88@mail.ru

Исследование аэродинамических характеристик вращающихся двух цилиндров расположенных под углом

Аэродинамические характеристики при поперечном обтекании неподвижных одиночных цилиндров в бесконечном турбулентном потоке достаточно хорошо исследованы в работах Исатаева С.И., Жукаускаса А.А. Влияние загромождения потока на закономерности обтекания бесконечного цилиндра на аэродинамическое и гидравлическое сопротивления исследованы и систематизированы в работе Акылбаева Ж.С. Аэродинамика коротких цилиндров, достаточно широко встречающихся в элементах энергетических агрегатов и установок, изучена экспериментальными и теоретическими методами в работе Исатаева С.И., Жангунова О.Н.

На основании проведенного анализа имеющихся исследований была поставлена задача об экспериментальном исследовании усложненной модели – аэродинамики системы из двух вращающихся цилиндров в турбулентном потоке, являющихся взаимовлияющими элементами ветродвигателя с использованием эффекта Магнуса [1,2].

Использование эффекта Магнуса при вращении цилиндра в потоке известно с давних времен, однако возможность практического использования в качестве движущей силы ветродвигателей нового поколения для малых скоростей потока систематизировано изучается только в последние годы.

Авторами статьи в Лаборатории аэродинамических измерений кафедры инженерной теплофизики им. проф. Акылбаева Ж.С. собран опытный макет из двух вращающихся цилиндров, который в последующем исследовался в поперечном потоке воздуха различной скорости. Макет закреплялся в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М с помощью тонких металлических растяжек к раме трехкомпонентных аэродинамических весов.Трехкомпонентные аэродинамические весы с достаточно высокой степенью точности позволяют измерять подъемную силу и силу лобового сопротивления [3,4].

Испытания проводились с двумя вращающимися цилиндрами диаметром 100 мм. При этом скорость набегающего потока и частота вращения цилиндров оставалась неизменной.

Лабораторные исследования проводились между вращающихся двух цилиндров расположенных под углом друг другу. Изменяя угол между двумя вращающими цилиндрами, мы получили зависимости их аэродинамических характеристик. Эти зависимости представлены на следующих рисунках.

На рис.1. представлена зависимость силы лобового сопротивления двух цилиндров, помещенных в поток ветра со скоростями 9 м/с и 13 м/с, от угла между ними при постоянном числе вращений.

Из приведенных зависимостей видно, что с увеличением угла между цилиндрами уменьшается сила лобового сопротивления. Это связано, с тем что увеличение угла между двумя вращающимися цилиндрами приводит к ослаблению, и далее исчезновению их влияния друг на друга. После исчезновения взаимного влияния между цилиндрами, они начинают действует на поток как отдельные цилиндры. При этом изменение силы лобового сопротивления очень мало. Это видно из зависимости, приведенной на рис.1.

Репозиторий КарГУ

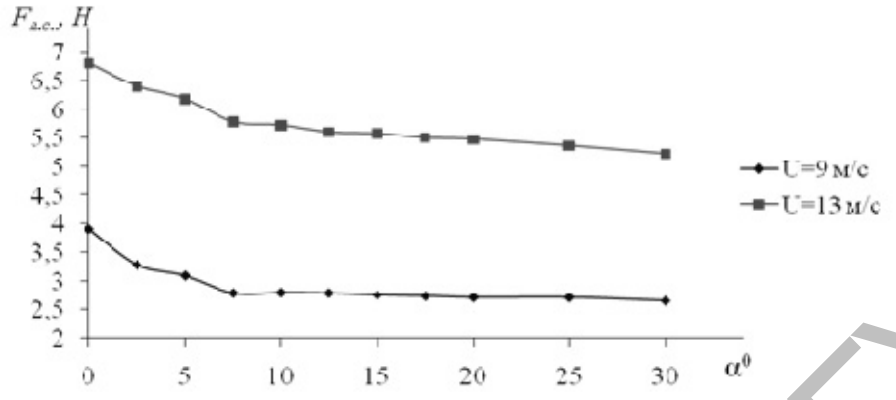


Рисунок 1. Зависимость силы лобового сопротивления двух вращающихся цилиндров от угла между ними при простоянном числе вращений

На следующем графике показана зависимость истинного значения подъемной силы двух вращающихся цилиндров от угла между ними при постоянном числе вращений. Как видно, что при увеличении угла между цилиндрами уменьшается значение подъемной силы.

Причиной уменьшения истинного значения подъемной силы при увеличении угла между цилиндрами является уменьшение взаимодействия между сопутствующими потоками, возникающих при вращательных движениях цилиндров. В результате это приводит к исчезновению взаимного влияния верхнего и нижнего областей давления, возникающих в середине цилиндров.

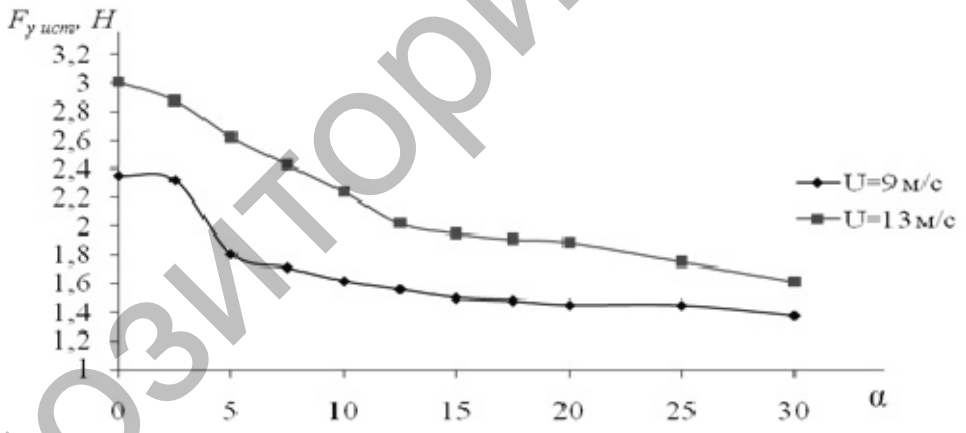


Рисунок 2. Зависимость подъемной силы двух вращающихся цилиндров от угла между ними при простоянном числе вращений

При увеличении угла между цилиндрами, они перестают действовать друг на друга, и начинают действовать на огибающий их воздушный поток как отдельные цилиндры. В этом случае изменение подъемной силы очень мало. Поэтому, при постоянной числе вращений увеличение угла между цилиндрами, помещенных в воздушный поток с определенной скоростью, приводит к уменьшению их подъемной силы.

Теперь рассмотрим, зависимости коэффициента лобового сопротивления, найденного с помощью уравнения силы лобового сопротивления от угла между цилиндрами. Эта зависимость показана на рис.3. Из зависимости видно, что увеличение угла между цилиндрами приводит к уменьшению значений коэффициента лобового сопротивления двух цилиндров вращающихся с постоянной частотой в одном и противоположном направлениях

Репозиторий КарГУ

к воздушному потоку. Причину уменьшения коэффициента лобового сопротивления двух цилиндров можно объяснить следующим образом:

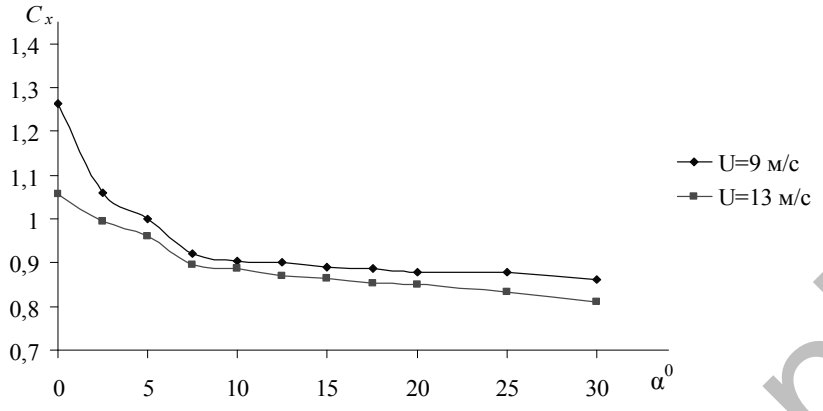


Рисунок 3. Зависимость коэффициента лобового сопротивления двух вращающихся цилиндров от угла между ними при простоянном числе вращений

Из вышеприведенных зависимостей мы увидели, что при увеличении угла между цилиндрами уменьшается сила лобового сопротивления. Так как коэффициент лобового сопротивления двух цилиндров зависит от силы лобого сопротивления, при уменьшении силы сопротивления уменьшается и коэффициент лобового сопротивления. Согласно этому выражению, сила лобового сопротивления прямо пропорционально его коэффициенту, поэтому увеличение угла между цилиндрами приводит к уменьшению коэффициента лобового сопротивления исследуемых тел.

На рис.4. представлена зависимость истинного значения коэффициента подъемной силы двух цилиндров, помещенных в поток ветра со скоростями 9 м/с и 13 м/с, от угла между ними при постоянном числе вращений. Как видно из данной зависимости, увеличение угла между цилиндрами приводит к уменьшению истинного значения коэффициента подъемной силы двух вращающихся цилиндров. Причиной является уменьшение взаимодействия между сопутствующими потоками, возникающих на поверхности цилиндров при их вращательных движениях. При ослаблении взаимодействия между сопутствующими потоками цилиндров, воздушный поток, огибающий их, начинает легко проходит между цилиндрами. Энергия потока затраченная на подъем цилиндров не используется на полезную работу. Поэтому уменьшается подъемная сила цилиндров.

Истинные значения коэффициентов подъемной силы найдены по формуле:

$$C_{y\,ист} = \frac{F_{y,ист}}{\rho \frac{U^2}{2} S} \qquad (1)$$

Значения силы $F_{y\,ист}$ в этой формуле найдены по экспериментальному выражению:

$$F_{y\,ист} = \frac{2}{1+\cos\alpha} F_{n.c.} \qquad (2)$$

Репозиторий КарГУ

В уравнении (1) истинное значение коэффициента подъемной силы прямо пропорционально $F_{y\,ист}$.

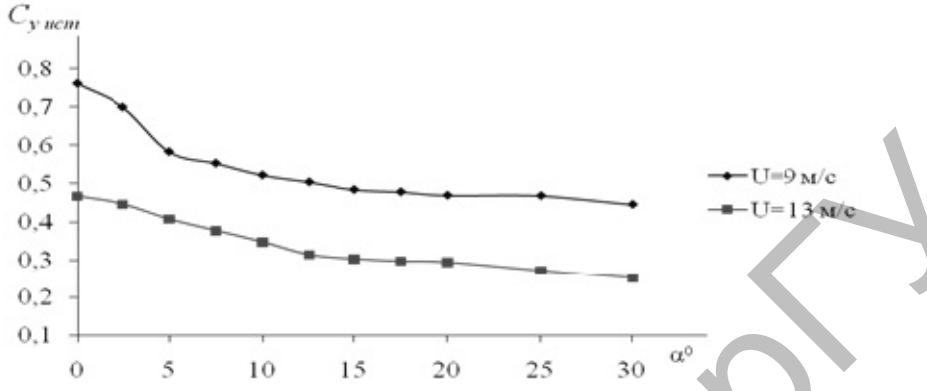


Рисунок 4. Зависимость коэффициента истенной подъемной силы двух вращающихся цилиндров от угла между ними при простоянном числе вращений

Исходя из этого, при увеличении истинного значения подъемной силы растет и значение $C_{y\,ист}$. Значит, увеличение угла между двумя вращающимися цилиндрами, которых огибает воздушный поток с постоянной скоростью, приводит к уменьшению истинного значения коэффициента подъемной силы.

Литературы:

1. Бычков Н.М. Ветродвигатель с эффектом Магнуса. 2. Характеристики вращающегося цилиндра // Теплофизика и аэромеханика. – 2005, Т. 12, № 1. - С. 59-175

2. К. Кусаиынов, А.Н.Дюсембаева, Тургунов М.М., Н.К. Тансыкбаева. Аэродинамика системы вращающихся цилиндров // Актуальные проблемы современной физики. Международная конференция. Алматы: Изд.КазНУ, 2012. – С.53-57.

3. Tanasheva N.K., Shrager E.R., Sakipova S.E.,Dyusembaeva A.N.,NurgalievaZh.G., Karsybekov R. Research of aerodynamic characteristics of the wind generator on the basis of Magnus's effect // Bulletin of the Karaganda University. – Physics Series. – 2017. –№3(87). – P. 60-64.

4. Tanasheva, N.K., Kunakbaev, T.O., Dyusembaeva A.N., Shuyushbayeva N. N.,Damekova S. K. Effect of a rough surface on the aerodynamic characteristics of a two-bladedwind-powered engine with cylindrical blades // Technical Physics, November 2017, Volume62, Issue 11, pp 1631–1633.

К.Е. Сакипов, М.Б. Айтмагамбетова, А.К. Бимендин, К.М. Дюсенов
Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, Нур-Султан,Казахстан, aiti.mb@yandex.kz

Использование управляемых процессов кавитации для генерации тепловой энергии

Введение: Централизация теплоснабжения, в условиях реструктуризации промышленности и резкого уменьшения удельной энергоемкости, связанной с общим спадом производства ставит ТЭЦ в непростое положение. Изношенность основных энергетических фондов и особенно многокилометровых систем отопления часто приводит к известным тяжелым социальным и экономическим последствиям в отопительный период. Однако, совершенно очевидно, что для климатических условий большей части территории СНГ централизованное теплоснабжение не имеет реальной альтернативы в ближайшем

Репозиторий КарГУ

будущем.Исключение могут составлять относительно небольшие по отапливаемому объему здания и сооружения, которые могут использовать автономные системы отопления (АСО).

*Современные проблемы теплоэнергетики и теплотехники.*В настоящее время в странах СНГ и развитых странах запада идет активный поиск решений для выработки долгосрочной стратегии развития энергетики. Например, известен факт, что в 2000 г. выработан парковый ресурс 36,4 млн. кВт (17%) мощности электростанций России, в том числе ТЭС – 14,9 млн. кВт (7%). В результате старения основных фондов располагаемая мощность электростанций не превышает 190 млн. кВт, а фактически используемая мощность в энергетическом балансе страны составляет 175 млн. кВт. Задачи роста параметров пара, увеличение доли СКД и ГТУ, а также постепенное снижение потребления природного газа ставится по прерогативе в один ряд с развитием децентрализованной энергетики и автономных источников энергии [1]. В 2000 г. общий доход РАО «ЕЭС России» и входящих в него предприятий от продажи около 850 млрд. кВт· час не превысил 13 млрд. дол. США. При этом потребность в капитальных вложениях только для тепловых электростанций составляет более 40, а по данным [2] – превышает 100 млрд. дол. США.

За период с 1990 г. по 2000 г., по оценке экспертов, теплопотребление по Казахстану в целом сократилось на 15%. Проявились структурные перемены в теплопотреблении, которые характеризуются сокращением доли централизованного теплоснабжения с 50 % до 35 % в 2000 г., в том числе ТЭЦ – с 42 % до 29 %. К началу 2000 года мелкие котельные и печи обеспечивали 66 % нужд на теплоснабжение против 52 % в 1990 г. за счет сокращения теплопотребления промышленностью в зонах централизованного теплоснабжения и строительства нескольких тысяч АСО. В начале 90-х годов в системах централизованного теплоснабжения городов Республики Казахстан функционировало около 7000 км магистральных и распределительных тепловых сетей. Протяженность внутриквартальных тепловых сетей и сетей от районных котельных составляет 12 – 15 тыс. км. К 2000 году 60% из них отработали более 24 лет. Из-за роста неизбежных тепловых потерь тепловые сети в качестве самостоятельных предприятий стали повсеместно убыточными [3].

В странах Европейского союза, Канады США и Японии четко просматривается тенденция некоторого уменьшения доли углеводородных источников теплоты и энергии в общей структуре потребления энергоносителей этих стран. Приоритеты отдаются «малой» энергетике и возобновляемым источникам энергии. Ожидается, что доля угля в мировом производстве электроэнергии к 2015 г. удвоится и составит 50 против 25 % в настоящее время. Только в США на угле производится 56 % электроэнергии, несмотря на существенное вторжение в топливный баланс природного газа в течение нескольких последних лет. Однако традиционные тепловые электростанции, работающие на угле, сталкиваются с серьёзным и правомерным ужесточением экологических требований. Таким образом, видно, что, несмотря на различие в структурах энергосистем стран СНГ и развитых стран Запада, общая тенденция к развитию малой энергетики, автономных и возобновляемых источников энергии и теплоты, а также децентрализации энергетики устойчиво растет. Решение же задачи роста ВВП, что особенно актуально для стран СНГ, связано с опережающим развитием наукоемких технологий и производств без увеличения расхода энергии, за счет массовой реализации организационных и технологических мер энергосбережения [4].

Применение явления кавитации в теплоэнергетических устройствах. В этой связи, актуальной проблемой является разработка и создание экологически чистых и экономичных автономных генераторов теплоты для нужд децентрализованного отопления и вентиляции. В основе известного из периодической печати генератора конструкции инженера Потапова лежит принцип использования управляемой гидродинамическим способом кавитации. В настоящее время использование явления кавитации в самых различных инженерных приложениях резко возросло [5-7]. Разрозненные группы инженеров и ученых независимо друг от друга приходили к созданию кавитационных генераторов теплоты с высоким

Репозиторий КарГУ

значением коэффициента полезного действия. Например, Калининградское ОКБ «Факел» изготовило опытно-промышленный образец кавитационного генератора теплоты с высоким коэффициентом преобразования энергии для отопления железнодорожных пассажирских вагонов, который превосходит по теплоэнергетическим и экономическим характеристикам дизельную печь конструкции германской фирмы BOCSH, предназначенную для этих же целей, в несколько раз.

Физическая сущность кавитации заключается, как известно [8], в образовании в жидкости парогазовых пузырьков при местном понижении давления. При акустической кавитации пузырьки возникают в поле переменного давления, создаваемого ультразвуковым излучателем, при гидродинамической [9] давление понижается в потоке быстро движущейся жидкости. При течении жидкости в определенных условиях через трубу Вентури в конфузорной части происходит увеличение скорости и падение давления с появлением пристенной кавитационной области. В расширяющейся части потока (диффузор) скорость уменьшается, а давление возрастает и кипение прекращается; выделившиеся пары частично или полностью конденсируются, а газы постепенно растворяются. При этом основную роль в проявлениях кавитации – эрозионном разрушении стенок различных машин, инициировании и ускорении химических реакций, излучении звука и сонолюменисценции и т.д. – играет роль фаза схлопывания, когда энергия, содержащаяся в пузырьках в фазе их расширения, конденсируется и концентрируется в очень малых объемах (около 10^{-6} мм^3) и в течение очень короткого промежутка времени (примерно 10^{-6} с). По некоторым данным скорость при схлопывании кавитационных каверн скорость генерируемых струй жидкости превышает 120 м/с. Для организации искусственно созданной и управляемой кавитации автором был сконструирован и запатентован [10, 11] узел – кавитационный генератор теплоты. Базовым элементом этого узла послужила специально сконструированная труба Вентури, со встроенными в области перехода конфузорной части в диффузорную, закручивающими лопатками. Такая конструкция позволяла организовать отрыв пограничного слоя воды от пристенной зоны и сконцентрировать область схлопывания пузырьков в центре начала диффузорной части трубы Вентури.

На созданной экспериментальной установке [12] удалось получить некоторые данные по преобразованию энергии фазы схлопывания в тепловую энергию. Вероятно, что основной вклад в генерацию теплоты вносят скрытая теплота парообразования, теплота фазового перехода, а также энергия разрушения межатомных связей, величина которой составляет, как известно, 400 – 600 кДж/моль. Очевидно, что при такой организации процесса теплообмена происходит его сдвиг в область неравновесных фазовых переходов [13]. В начале диффузорной части кавитационного генератора появляется источник объемного тепловыделения в виде области сконцентрированных пузырьков, которые схлопываются под действием повышенного давления, выделяя при этом определенное количество теплоты и не касаясь стенок генератора. При этом темп нагрева воды в демпфирующей емкости может составлять несколько градусов в минуту, достигаемый перепад температур достигает 82К за один час нагрева. Замеры электрических показателей трех модификаций центробежных насосов и конечной разности температур воды в демпфирующих емкостях (0,15 и 0,08 м^3) показали что, на 1 кВт электрической мощности на привод насоса можно получить 0,72 – 0,85 кВт тепловой мощности с учетом потерь в окружающую среду и на нагрев металла оборудования.

*Заключение.*Разработанный способ получения теплоты вполне может конкурировать с высоко-форсированными АСО с топливным или электрическим нагревом теплоносителя, в которых коэффициент полезного действия достигает 90 %.С точки зрения экономической эффективности, в данном случае не требуется специальных систем подготовки воды и использования топлива, а отсутствие электронагрева делает установку более безопасной в эксплуатации. Созданный на основе полученного эффекта опытно-промышленный образец

Репозиторий КарГУ

тепло - генератора прошел успешные промышленные испытания в течение одного отопительного сезона.

Поддержание комфортной температуры в здании осуществлялось при помощи терморегулирующего датчика, и за счет применения импульсного режима включения и выключения электродвигателя центробежного насоса. За счет отказа от централизованного теплоснабжениясемимесячная эксплуатация установки позволила на 37 % снизить затраты на отопление здания площадью 507 м^2.

Литературы:

1. Фаворский О.Н., Леонтьев А.И., Федоров В.А., Мильман О.О. "Эффективные технологии производства электрической и тепловой энергии с использованием органического топлива". Теплоэнергетика, 2003, № 9, с. 19-21.
2. О мерах по совершенствованию топливной политики в энергетике на период до 2015 г. М.: РАО «ЕЭС России», 2000.
3. Андреев Г. Модернизация систем теплоснабжения. //Энер., Алматы, 2002, № 1, С.10 – 11
4. Макаров А.А., Фортов В.Е. Тенденции развития мировой энергетики и энергетическая стратегия России. // Вестник РАН, 2004, том 74, № 3, С. 195-208.
5. Булгаков А.Б., Преснов Г.В., Крестов В.Б. и др. Улучшение свойств жидких топлив гидромеханической обработкой в кавитационном поле. // Энергетик, 2002, № 7,С. 29 – 34.
6. Вайнштейн А.Г., Кузина Н.Н., Журина В.Е. и др. Применение гидродинамического кавитационного аппарата для улучшения качества жидкого топлива. // Энергетик, 2003, № 7, С. 16.
7. Кондратьев А.Д. Улучшение деаэрации подпиточной воды в отопительных котельных. Промышленная энергетика, 1992, № 1, С. 19-21
8. Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. - М.: Машиностроение, 1975, 345 с.
9. Кувшинов Г.И., Прохоренко П.П. Акустическая кавитация у твердых поверхностей. – Минск: Наука и техника, 1990 – 112 с.
10. Дюсенов К.М. Кавитационный теплообменник, Патент на изобретение№ 2003/0066.1 Республики Казахстан, Бюлл. РК Промышленная собственность №. 7, 2004.
11. Говорухин Л.Н., Дюсенов К.М., Сергиевский Э.Д. Кавитационный тепловой насос. Патент на полезную модель № 37548 Российской Федерации. Изобретения, Полезные модели, № 12, 2004.
12. Дюсенов К.М. Некоторые аспекты развития нетрадиционных и альтернативных источников энергии на основе кавитационных генераторов теплоты. // Вестник ПГУ, 2003, № 4, С. 100-105.
13. Нагиев Ф.Б., Хабеев Н.С. Эффекты теплообмена и фазовых переходов при колебаниях парогазовых пузырьков. // Акустический журнал, 1979, том XXV, вып. 2, С.271-279.

А.К. Ершина[1], У.К. Парманбеков[2], А.Н. Карымбай[3]

[1]д.ф.-м.н., профессор, Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан,123ainakul.yershina@gmail.com, Казахский национальный женский педагогический университет,[3]Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан, aigera_karla@mail.ru

Вертикально-осевой двухроторный ветроэнергетический агрегат НВІ-ротор

Действующая лабораторная модель и опытный вариант НВІ-ротора. Известно, что любая вращающаяся турбина создает на пути ветра загромождение и чем больше количество рабочих лопастей, тем больше сопротивление турбины, меньше съем энергии, ветер начинает обтекать загромождения, не передавая достаточно свою энергетическую мощность ВЭУ. На рис. 1 приведена экспериментальная зависимость изменения коэффициента использования энергии ветра ξ от быстроходности χ [1].

Как видно из графика, с уменьшением количества лопастей ветротурбины, величины коэффициентов ξ и χ возрастает. Наибольшим значением коэффициента ξ обладает

Репозиторий КарГУ

двухлопастное американское ветроколесо. Тенденция повышения коэффициента ξ с уменьшением количества рабочих лопастей привело даже к созданию однолопастного пропеллерного ВЭУ, рис. 2. Одинокий пропеллер был связан напрямую с валом турбины и для устойчивости работы снабжен балансиром

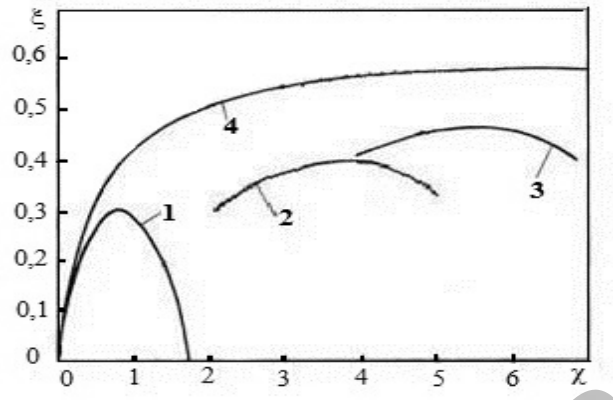


Рисунок1. Зависимости коэффициента ξ для различных типов и конструкций ветротурбин от степени их быстроходности χ: 1 – многолопастное американское ветроколесо, 2 – трехлопастное ветроколесо, 3 – быстроходное двухлопастное ветроколесо, 4 – идеальное крыльчатое ветроколесо



Рисунок 2. Однолопастная пропеллерная турбина (Германия)

Разработка и создание Бидарье-1 с двумя коаксиально расположенными автономно вращающимися валами подсказала следующее [2]. В случае использования системы Дарье, можно на одном валу (например, на центральном) установить полуразмах с одной рабочей лопастью, балансировка которой обеспечивается таким же полуразмахом с рабочей лопастью, но связанный с наружным валом.Коаксиальные валы вращения отделены друг от друга, как и в случае Бидарье-1 шарикоподшипниками. В результате, центральный вал со своим полуразмахом и рабочей лопастью обходя свою ометаемую площадь при вращении турбины передает вращательный момент своему электрогенератору, другой полуразмах с

Репозиторий КарГУ

противоположно расположенной рабочей лопастью, соединенный с наружным валом, передает свой вращательный момент второму генератору [2-9].

На рис. 3 показана принципиальная конструкция ветроагрегата HBI-ротора. Этот агрегат представляет собой двухлопастную систему. Система состоит из двух полуразмахов с одной рабочей лопастью каждый, один из полуразмахов связан с центральным валом вращения, а другой – с наружным. В результате, каждая рабочая лопасть, связанная с тем или другим полуразмахом, работает автономно, независимо от вращения другой лопасти. Загромождение на пути ветра уменьшается. Этот принцип был заложен в основу создания ВЭУ HBI-ротора и в этом заключается новизна и оригинальность предлагаемого ветроагрегата. Вращение обоих размахов должны происходить в одну и ту же сторону, с одинаковой угловой скоростью $\vec{\omega}$.

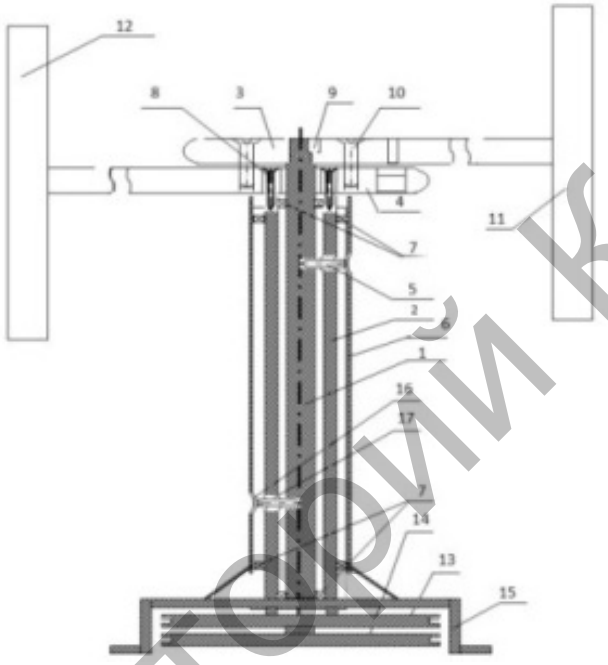


Рисунок 3. Принципиальная конструкция HBI-ротора

1) центральный вал; 2) внешний вал; 3) верхний размах с рабочей лопастью, связанный с центральным валом; 4) нижний размах, связанный с внешним валом; 5) пальцы для фиксирования угла между размахами; 6) внешний неподвижный корпус; 7) подшипники; 8) болты, связывающие размах 4 с внешним валом; 9) шпонка; 10) болты, связывающие размахи 3 и 4; 11) лопасть, связанная с верхним размахом; 12) лопасть, связанная с нижним размахом; 13) шкив, связанный с внешним валом 2; 14) шкив, связанный с центральным валом 1; 15) фигурная рамка для крепления; 16) и 17) отверстие для фиксирования угла между размахами 3 и 4.

Это приводит к увеличению ометаемой площади. Таким образом, каждый из двух рабочих лопастей с помощью полуразмах вращается самостоятельно по ометаемой площади в виде кольцевых поверхностей, равным диаметру ветротурбины и шириной – длине рабочих лопастей. Обе противоположно расположенные лопасти балансируют друг друга и независимы. Соответственно, вторая лопасть с полуразмахом вращает наружный вал и имеет ометаемую площадь таких же видов, как и лопасть связанная с центральным валом. Схематически ометаемые площади обеих лопастей показаны на рисунке 4. Видно, что общая ометаемая площадь получается в 2 раза больше, чем в обычной ветротурбине Дарье. В результате, количество энергии ветра, используемого ВЭУ HBI-ротором, должно возрасти в 2 раза при высокой культуре производства [5].

Репозиторий КарГУ

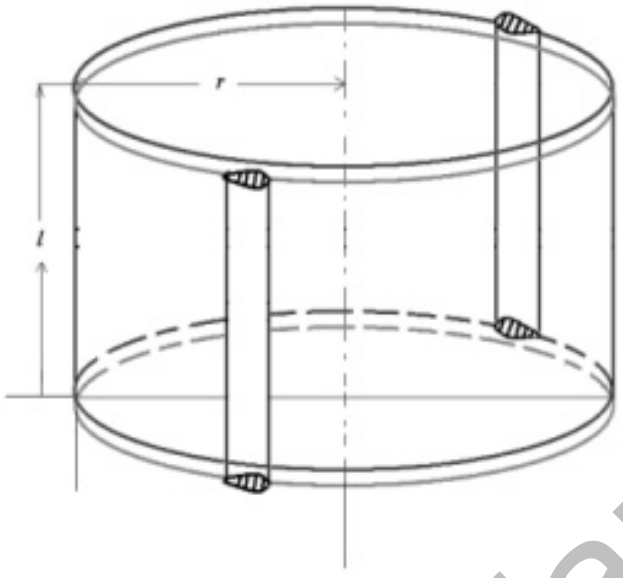


Рисунок 4. Форма ометаемых площадей обеих рабочих лопастей HBI-ротора

Разработаны и изготовлены действующий лабораторный и опытный варианты ветроагрегата HBI-ротор мощностью 5 кВт (фото на рис. 5 и 6). Габариты опытного варианта ВЭУ HBI-ротора: диаметр ветротурбины – 4 м, высота – 5 м. Использовались симметричные лопасти NASA 0021, длиной 2 м и хордой 0.5 м. Центральный вал связан с помощью полуразмаха с одной лопастью, наружный вал с полуразмахом со второй лопастью, которые расположены под углом 180° друг к другу. Такое положение поддерживается с помощью специального фиксатора. Автономность вращения валов обеспечивается разделяющими их шарикоподшипниками. Передача энергии турбины каждой рабочей лопастью к двум разным генераторам позволяет увеличить общую энергию, получаемую аппаратом.

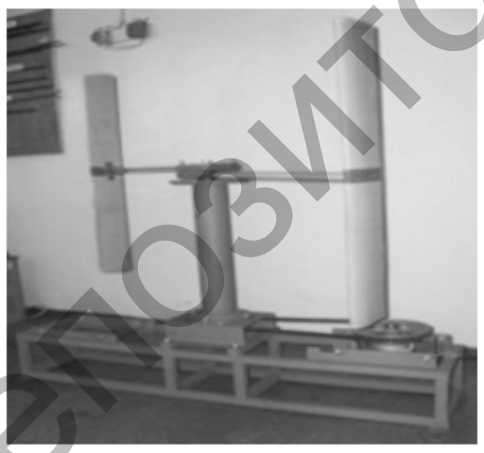


Рисунок 5а. Действующая лабораторная модель ВЭУ HBI-ротор.



Рисунок 5б. Расположение модели в рабочем участке аэродинамической трубы.

Вырабатываемые двумя электрогенераторами энергии суммируются, что приводит к существенному увеличению коэффициента ξ, чем обычное Дарье. Разработан полупромышленный ветроагрегат HBI с ротором мощностью 5 кВт, с последующим размещением на высоте за пределами приземного пограничного слоя, где скорости ветра бывают в 2-2,5 раза выше, чем средняя скорость ветра в приземном пограничном слое (см. рис. 7).

Репозиторий КарГУ



Рисунок 6. Опытный вариант двухроторного ветроагрегата HBI-ротор мощностью 5 кВт

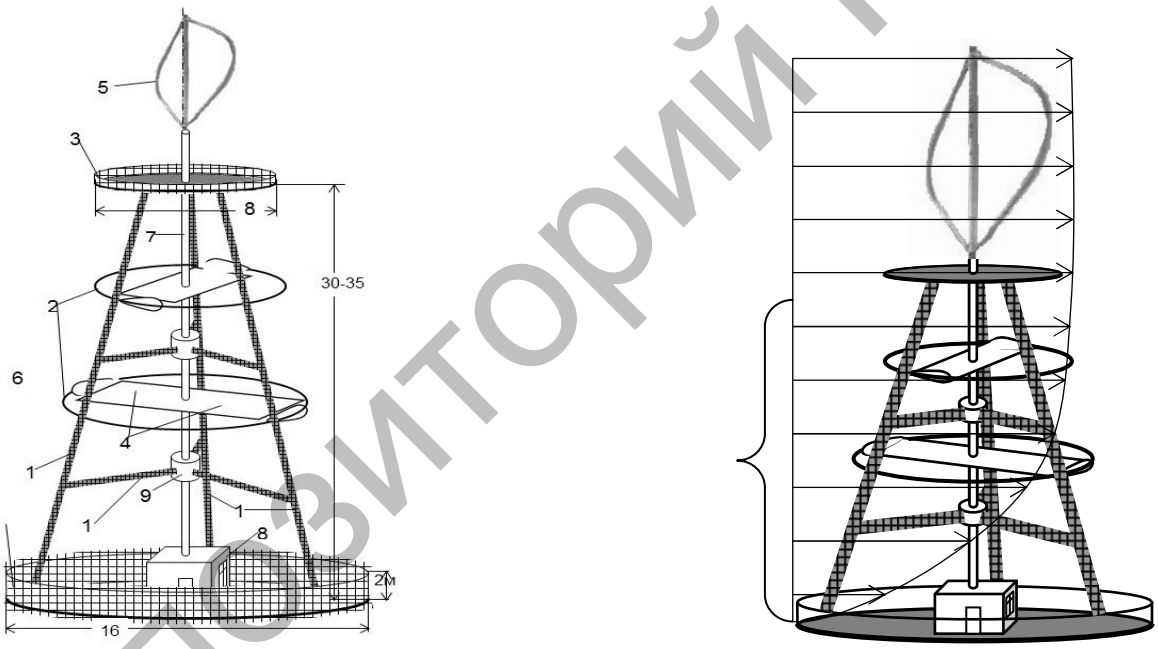


Рисунок **7.** Ветротурбина с вертикальной осью вращения системы тропоскино (Дарье с загнутыми лопастями): 1 – треножник, 2 – обручи, 3 – монтажная площадка, 4 – горизонтальные крыловые лопасти NASA для страгивания ВЭУ, 5 – ВЭУ, 6 – ограждение для установки и аккумуляторов, 7 – вал вращения, 8 – помещение для электрогенератора и аккумуляторов, 9 – подшипники

Ввиду кубической зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра, расположение ветроагрегата за пределами приземного пограничного слоя (20-30 м) приведет к несколько кратному увеличению мощности ветротурбины. Таким образом, есть основания предполагать, что предлагаемый вариант ветроагрегата 5 кВт позволит получать выходную мощность на уровне 40-50 кВт. При этом экономические показатели сооружения почти не повлияют на себестоимость аппарата. Для получения максимальной энергии ветра ветротурбина должна находиться выше приземного пограничного слоя, поэтому

Репозиторий КарГУ

ветротурбина будет установлена на высоте 30 метров с помощью легкого треножника (см. рис. 7). Треножник (1) собирается из нескольких двутавровых швеллеров, а также для прочности конструкции треножник скрепляется несколькими обручами (2). ВЭУ должна обеспечивать стабильность извлечения энергии ветра. Предполагается применение тормозных колодок, которые автоматически регулируют вращение вала, вплоть до его полной остановки при буревых скоростях ветра (см. рис. 6.7).

Одним из пунктов выполнения условий является разработка технологии последовательности сборки (разборки) монтажа и натурного испытания. Предусматривается, что эти ветротурбины будут выпускаться в зависимости от желания потребителей. К сожалению, из-за форс мажорных обстоятельств, пока не удалось провести лабораторные и натурные испытания этих агрегатов.

Литературы:

1. Безруких П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология. – М.: Колос, 2008. – 196 с.

2. Ершина А. К., Ершин Ш. А., Жапбасбаев У. К. Основы теории ветротурбины Дарье. - Алматы: КазгосИНТИ, 2001. – 104 с.

3. Предварительный патент №20748 РК, F032D 9/00 (2006/01). Вертикально-осевая составная ветротурбина карусельного типа (варианты)/ / Ершин Ш.А. Ершина А.К. и др. - № 2006/0165.1; заявлено 15.02.2006; опубл. 16.02.2009, бюл. № 2.

4. ShahbazYershin, AinakulYershina. Vertical-axial compound wind turbine of rotor-type. ASME – ATI – UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental lssues in Energy Systems. Sorrento, Italy, 2010. – P. 621-625.

5. Ершина А.К. Теория и практика использования возобновляемых источников энергии. Учебное пособие. – Алматы: издательство «Эверо», 2016. – 220 с.

6. Yershina A.K., YershinCh. Sh., Manatbayev R.K., Tulepbergenov A.K. Vertical-axial component wind turbine with a high coefficient using for wind energy. //Journal of International Scientific Publications:Materials, Methods & Technologies. Vol. 6, Part 3. 2012, European Union. ISSN 1313-2539, Published at: http://www. Science-journals.eu 2012 – P. 231-236.

7. Ершина А.К., Бижанова А.Т. Разработка и создание перспективных ветроагрегатов карусельного типа. Материалы восьмой всероссийской научной молодежной школы с международным участием «Возобновляемые источники энергии». – Москва, «Университетская книга» 2012. – С. 32-37.

8. YershinaA.K., YershinCh.Sh. Progressive innovations inapplying of wind energy. //Journal of International Scientific Publications:Materials, Methods & Technologies. Vol. 7, Part 3. 2013. ISSN 1313-2539 (Online), Published at: http://www. Scientific-publications.net 2013 –P. 4-12.

9. Ершина А.К., Копенбаева А.С. Новая перспективная версия ветроагрегата Дарье. Материалы всероссийской научной молодежной школы с международным участием «Возобновляемые источники энергии». – Москва, «Университетская книга» 2014. – С. 26-32.

G.A.Kaptagay[1], N.O.Koilyk[2], N.A.Sandibaeva[1], A.A.Utebaeva[1]

[1]Kazakh national women's teacher training university, Almaty, Kazakhstan,[2]National center of development of qualification «Orleu», Almaty, Kazakhstan E-mail: gulbanu.kaptagay@gmail.com, nurgali.koilyk@mail.ru, nazira.s@mail.ru, 5678arda@gmail.com

Energy efficiency of the nitrogen-doped co_3o_4 (100) surface for water dissociation

Introduction: Nowadays, we know that transition to "green" energy perspectival in ecological and economical view. Advantages of technologies of renewable energy make these problems priority for the scientifically research. So, its lead to intensive development of researches for alternative energy resources.

Репозиторий КарГУ

Today, all the talk about hydrogen energy or even a hydrogen economy is the use of hydrogen as the main energy source for various devices.

One of the methods for producing hydrogen is electrolysis. For this purpose forelectrode material of electrolyze process used different materials.Co_3O_4 is easily available and thermodynamic stable oxide in a wide interval of temperatures and conditions with rich concentration of oxygen. Also Co_3O_4among oxides of transition metals – useful materials for gas sensors [1,2], storage systems of energy and materials of anodes of lithium - ion batteries [3],zink-air batteries [4] and other energy applications.

Table 2. The binding energies of O, OH and OOH ($\Delta E_O, \Delta E_{OH}, \Delta E_{OOH}$ in eV) and bond length on the undoped and N-doped Co_3O_4(100) $Co_{0.5}$-terminated surfaces.d_x-is bond length in Å, * denotes adsorbate atom.

	ΔE_O	d_{Co-O}	ΔE_{OH}	$d_{Co-O(H)}$ $d_{O(*)-H}$	ΔE_{OOH}	d_{Co-O} $d_{O(*)-H}$ $d_{O(*)-O}$	ΔE_O	d_{Co-}	ΔE_{OH}	$d_{Co-O(H)}$ $d_{O(*)-H(*}$	ΔE_{OOH}	d_{Co-O} $d_{O(*)-H}$ $d_{O(*)-O}$
	Adsorption Center Co^T_{2c}						**Adsorption Center Co^O_{5c}**					
Un-doped	2.23	1.59	-0.11	1.78 0.97	3.03	1.81 0.98 1.47	2.29	1.86	-0.09	1.79 0.97	3.26	2.08 0.98 1.45
Conf. 1	1.65	1.6	0.25	1.77 0.97	2.69	1.79 0.96 1.48	2.69	1.85	0.15	1.80 0.97	3.33	2.09 0.98 1.47
Conf. 2	1.90	1.58	0.42	1.76 0.90	3.26	1.76 0.94 1.52	2.98	1.83	0.29	1.76 0.93	3.90	2.03 0.92 1.41
Conf. 3	1.56	1.48	0.41	1.70 0.92	2.76	1.79 0.90 1.43	2.87	1.78	0.40	1.82 0.91	2.55	1.98 0.93 1.39
Conf. 4	1.94	1.50	1.08	1.68 0.89	2.61	1.72 0.87 1.35	2.82	1.75	1.08	1.75 0.93	2.71	2.07 0.91 1.47

For enhancing energy efficiency of decomposition of water molecules oncobalt oxidesurfaces studied effect of various dopants. One of the promising doping materials for Co_3O_4 is nitrogen. Xu et.al in their experimental work discuss production of N-doped Co_3O_4 nanosheets [5].

2. Method and Surface Model. 2.1 Computational Methodology and Thermodynamic Description: The calculations have been performed using the *ab initio* plane wave computer code VASP using the the projector-augmented plane-wave (PAW) method in conjunction with PBE (Perdew – Burke - Ernzerhof) GGA exchange-correlation functional. The standard Monkhorst-Pack grid with the $4 \times 4 \times 4$ sampling mesh for the bulk calculations and the $2 \times 2 \times 2$ for the slab calculations was used along with the cutoff energy of 550eV and the Methfessel-Paxton smearing with σ=0.1 eV. In performed calculations for the periodic slab model (infinite in two dimensions) the positions of all ions were fully relaxed, to render the net forces acting upon the ions smaller than 1×10^{-2}eV·Å^{-1}. In order to avoid the interaction between periodically translated images along the direction normal to the surface, we used vacuum gap of 12 Å.

Results. Water adsorption: Oxygen atoms substituted with nitrogen atoms in four concentrations. There are four concentrations – 1, 2, 4 and 8 N per 32(O+N) atoms. Respectively, nitrogen-doped Co_3O_4(100) $Co_{0.5}$-terminated surfaces with four concentration of nitrogen denoted as Configuration 1 (configuration with 12,5% concentration), Configuration 2 (configuration with

Репозиторий КарГУ

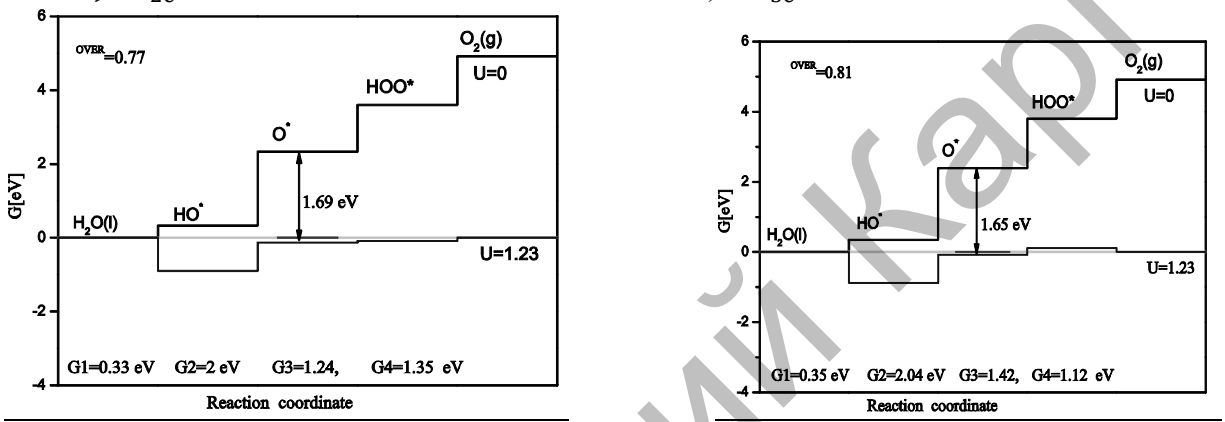
25% concentration), Configuration 3 (configuration with 50% concentration), Configuration 4 (nanorod).

The binding energies of O, OH and OOH (ΔE_O, ΔE_{OH}, ΔE_{OOH}) and the bond lengths on the pure and N-doped $Co_3O_4(100)$ $Co_{0.5}$-terminated surface are given in table 2. In table 2 given the binding energies of O, OH and OOH and bond length on the undoped and N-doped $Co_3O_4(100)$ surface.

Fig.3 presents the free energy changes of reactions of adsorption of water molecule and intermediate products of dissociation based on DFT+*U* calculations of adsorbed intermediates on the perfect and fluorine-doped $Co_3O_4(100)$ surface at 0.2ML water coverage.

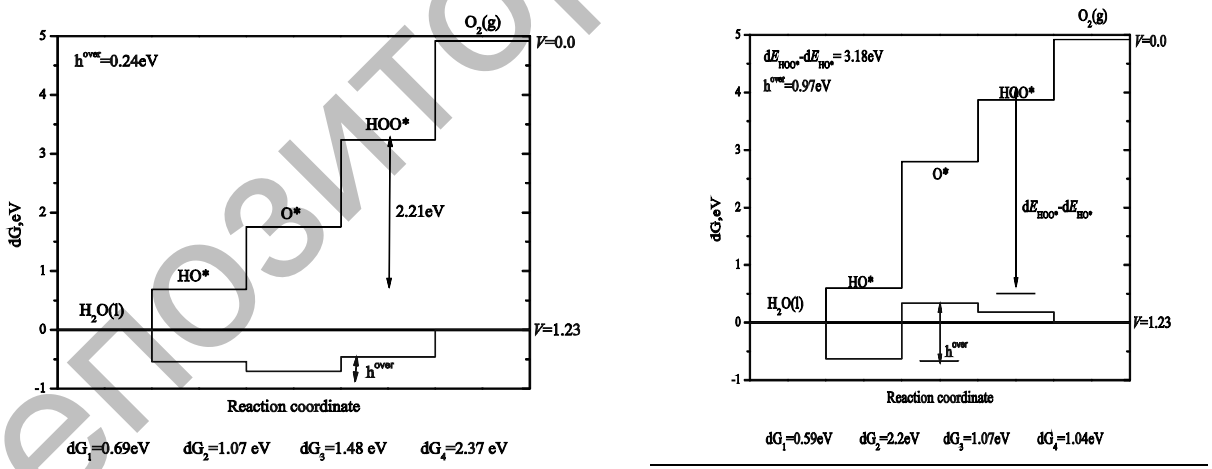
Undoped surface

a) Co^T_{2c}site b) Co^O_{5c} site



Configuration 1

c) Co^T_{2c}site d)Co^O_{5c} site



Configuration 2

e) Co^T_{2c}site f)Co^O_{5c} site

Репозиторий КарГУ

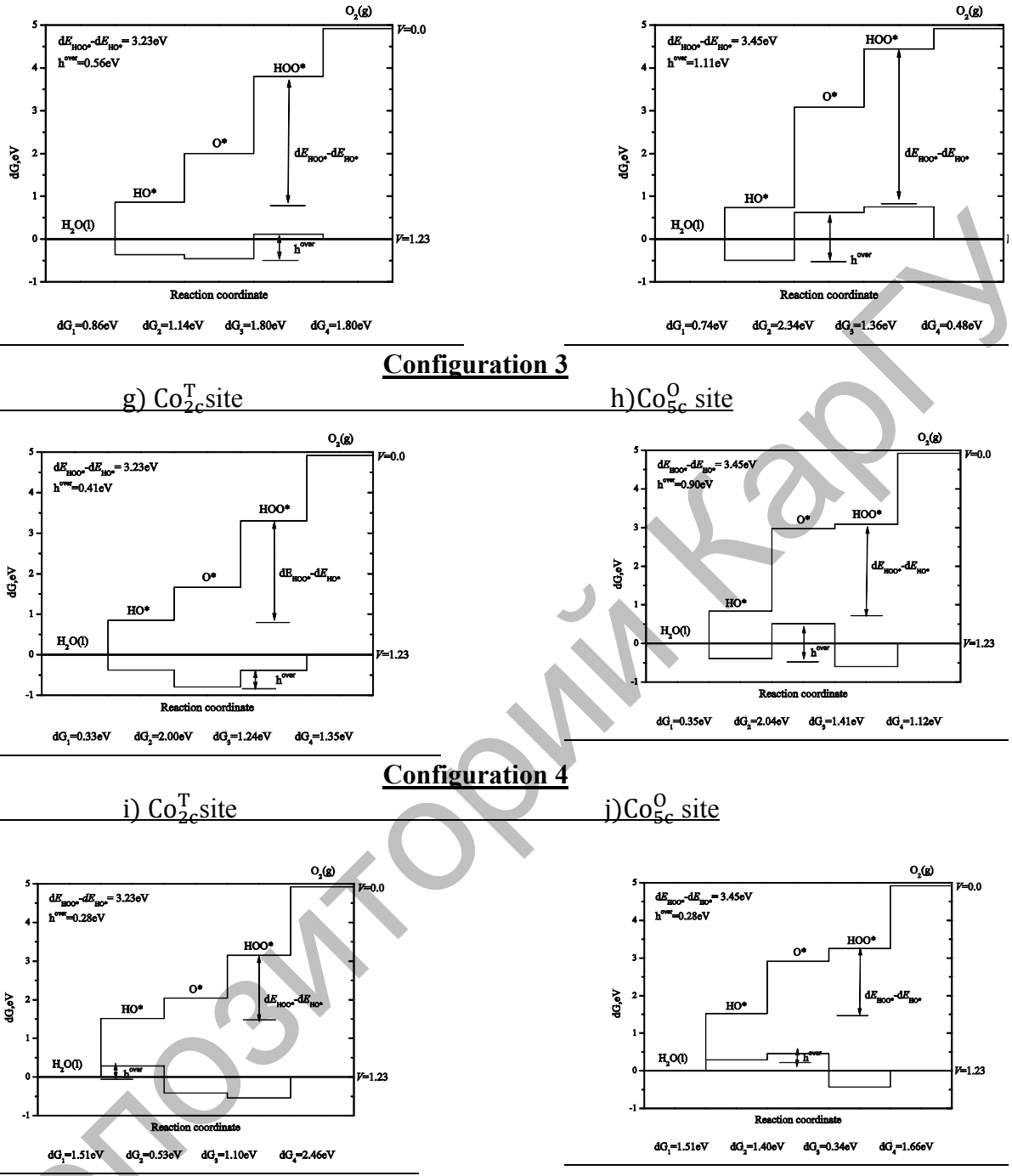


Figure 3. Free-energy diagram at pH=0 and T=298 K for the four steps of the OER at V=0 and V=1.23 V. Results for theCo_{2c}^{T} and Co_{5c}^{O} sites at 0.2ML water coverage for undoped and 4 Configurations of N-doped surfaces shown; For each case the highest free-energy change is indicated.

The calculations suggest that the theoretical overpotentials for water adsorption on the pure surface 0.77 and 0.81 V, respectively Co_{2c}^{T} and Co_{5c}^{O}sites. N-doped surfaces demonstrate at Co_{2c}^{T} site decreasing of overpotential (0.56-0.24 V) in comparisonCo_{2c}^{T}site in undoped Co_3O_4surface. For Co_{5c}^{O} site on doped surface values of overpotential exihibited are nearly the same values as on clean surface (0.90-1.11 V) except for Configuration 4 (0.28 V). In this case of Co_{2c}^{T} site on doped surface reduced values observed with the OOH^{*} formation as the determining step except Configuration 4.

Репозиторий КарГУ

References:

[1] Batzill M., Diebold U. Surface studies of gas sensing metal oxides // Phys. Chem. Chem. Phys. – Vol.9, №19. – 2007. – P.2307-2318. https://doi.org/10.1039/B617710G

[2] Sassykova L.R., Nalibayeva A. Technology of synthesis of effective catalysts for neutralization of waste gases of the vehiciles and industry // News of NAS RK. Series chemistry-technology. – Vol.1, №421. – 2017. – P.9-15. ISSN 2224-5286

[3] Zhigang Z., Lianlian G.,Yanfeng D., Jinping Z., Wu Z. Embedding Co_3O_4 nanoparticles into graphene nanoscrolls as anode for lithium ion batteries with superior capacity and outstanding cycling stability // Progress in Natural Science: Materials International. – Vol.28, №2. – 2018. – P.212-217. https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.02.005

Оспанова Д.А., Айтпаева З.К., Нургалиева Ж.Г., Несіпбек Ж.С.
Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды қ., Қазақстан, bota_didar@mail.ru

Гидроимпульстік процесс кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының динамикалық қасиеттерін зерттеу

Қазіргі кезде кез келген жылуэнергетика салаларында және де басқада өндірістік кәсіпорындарда күрделі формалы құбырлар көптеп колдануда. Сондықтан осындай құбырларда болатын процестердің заңдылықтарын анықтау бугінгі таңдағы мамандандырылған инженерлердің басты міндеті болып саналады.

Осыған орай қарастырылған ғылыми жұмыстың мақсаты айнымалы қималы құбырлардағы электрогидроимпульстік эффект кезіндегі газсұйықты ортаның динамикасын зерттеу болып табылады /1/.

Гетерогендік сұйықтағы соққы толқынның көзі ретінде жоғарывольтті электр ұшқыны қолданылады. Жоғарывольтті разрядтар кезіндегі газсұйықты ағынның динамикасын зерттеу үшін Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университетінің «Жылумассаалмасу және гидродинамика» зертханасында тәжірибелік қондырғы жасалынып іске қосылды (1-сурет).

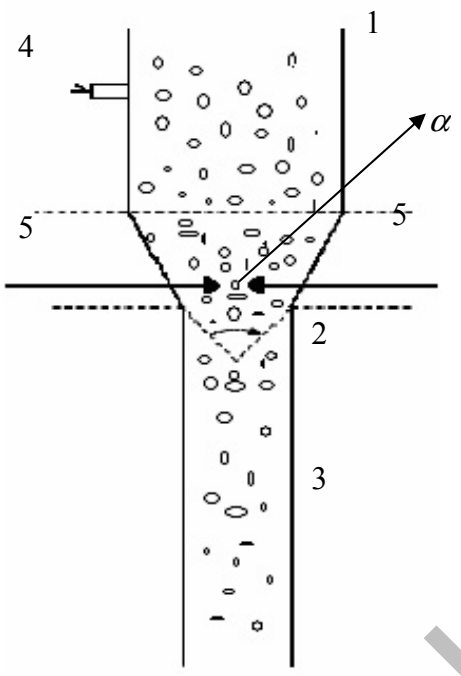
Қондырғының жұмыс істеу принципі келесі түрде жүзеге асады: электр энергиясын жинатын жинағышқа, басқару пульті бойынша импульсті кернеу генераторы жоғарывольтті кернеуді береді.

Содан кейін, белгілі бір уақыт ішінде электр энергиясы разряд арқылы тәжірибелік аймақта қарастырылған конфузордың ішінде орналасқан электродқа 5 беріледі. Жоғарғы кернеуге жеткеннен кейін сұйықта электр разряды жүреді. Сұйықта энергияның көп мөлшерде шығарылуының арқасында соққы толқындар пайда болады.

Құбыр ішіндегі синаглды пьезоэлементтегі датчик қабылдап, компьютерге жібереді. Компьютерге жіберілген сигнал арнай PCLab 2000 бағдарламасы арқылы PCS500 сандық осциллографының көмегімен қабылданып отырды. Сигналдың бейнелері комьютердің жадысында сақталып отырды. Ондағы қажетті жерлерді кесіп алу үшін арнайы маркерді қолданамыз.

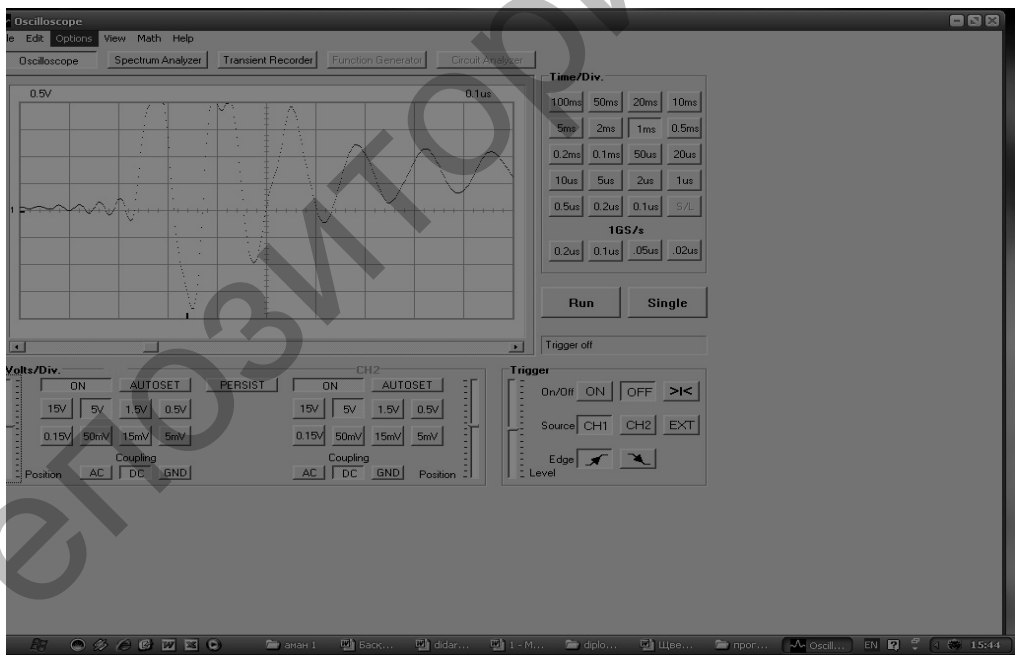
Сандық осциллографтың көмегімен әртүрлі электрод арақашықтығы кезіндегі айнымалы қимадағы құбыр бойымен қысымның газ құрамына тәуелділік заңдылықтарын талдаймыз (2-сурет) /2/.

Репозиторий КарГУ



Сурет 1. Құбырдың жалпы сызбасы

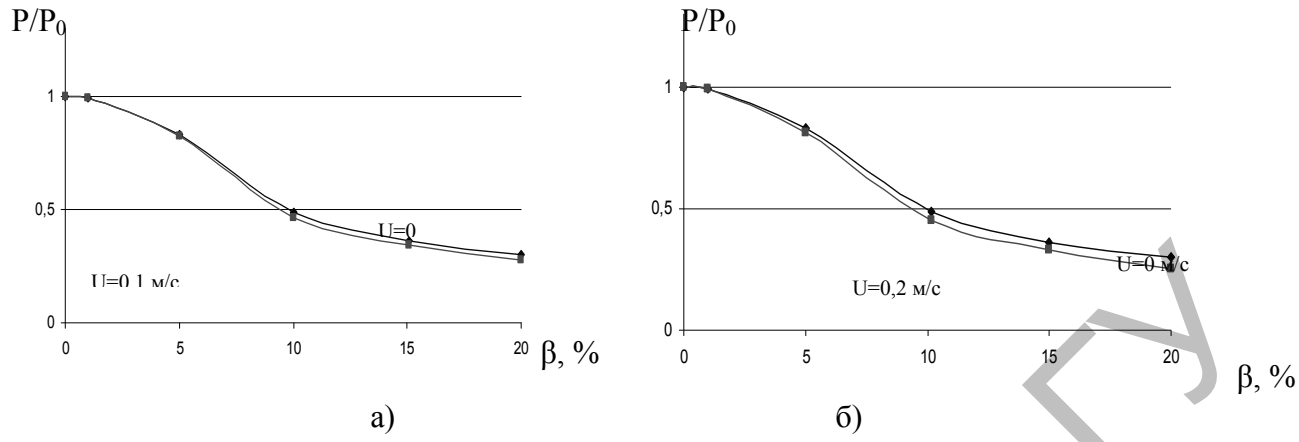
1-диаметрі 44 мм үлкен құбыр, 2- сығылу 30^0 айнымалы қима, 3-диаметрі 33 мм кіші құбыр, 4-қысым амплитудасын қабылдайтын датчик, 5- электр разрядтарын тудыратын электродтар



Сурет. 2. PCS500 сандық оссцилографының компьютер мониторындағы бейне суреті

Тәжірибе барысында алынған құбыр бойымен қысым амплитудаларының таралуын өңдей отырып, гетерогендік ортадағы қысымның газ құрамына байланысты тәуелділіктерді аламыз (3 а-сурет).

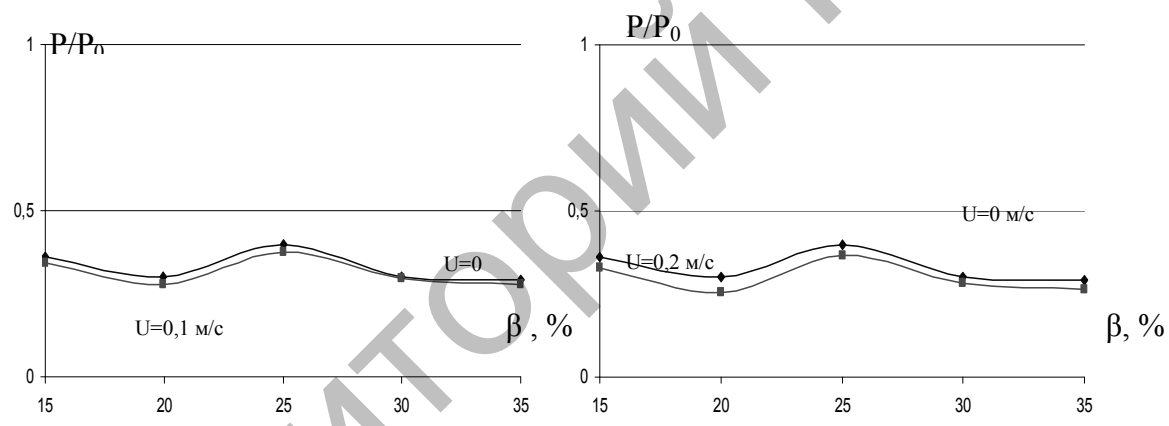
Репозиторий КарГУ



а) б)

Сурет 3. Газсұйықтың әртүрлі жылдамдығы кезіндегі құбыр бойымен таралған қысымдардың газ құрамына байланысты тәуелділігі: а) U=0,1м/с; б) U=0,2м/с

Мұндағы P/P_0 – қысымдардың қатынасы, P – газсұйықты ағындағы қысым, ал P_0- таза сұйықтағы қысым; β – газдың, яғни көміртегінің концентрациясы, %.



а) б)

Сурет 4. Сұйық пен газ бағыттары қарама-қарсы қозғалысы кезіндегі құбыр бойымен таралатын қысымның газ құрамына тәуелді графигі: а) U=0,1м/с; б) U=0,2м

3 а және б-суреттерінде ағын жылдамдығының әртүрлі кезіндегі құбырдағы қысымдардың газ құрамына байланысты таралуын көреміз. Бұдан байқайтынымз. судың ағынының жылдамдығы нөлге тең кездегі құбырдағы газ құрамы бірқалыпты таралғандықтан, ондағы қысымның таралуы да бірқалапты болады. Ал сұйықтың жылдамдығын арттырсақ (су мен газдың бағыттары бірдей), онда бастапқыда газ көпіршіктері құбырдың қабырғасына қарай ығысады. Сондықтан да ондағы қысымның таралуы құбырдың шетінде нашар болады, яғни қозғалыссыз тұрған газсұйықты ағындағы қысымның таралуы қозғалыстағы газсұйықты ағындағы қысымның таралуынан жоғары болады. Өйткені, газсұйықты ағын қозғалыста болған кезде газ көпіршіктері құбырдың қабырғасына қай орналасады /3/.

4 суреттегі тәуелділіктерден құбырдағы қысым газ құрамының 25 пайызында біршама өседі де, 30 пайызында қайтадан төмендейтінін байқаймыз. Оны физикалық тұрғыда былай түсіндіруге болады: бірінші жағдайды қарастырсақ, онда ағынның жылдамдығы тұрақты кезде газ құрамы артқан сайын, ағындағы көпіршіктердің диаметрі өседі, соның салдарынан

Репозиторий КарГУ

қоспадағы қысымның таралуы қандайда бір белгілі газ концентрациясы кезінде артады да, содан кейін біртіндеп төмендей бастайды.

Әдебиеттер:

1. Оспанова Д.А., Торегельдин М.М., Сельдюгаев О.Б., Шуюшбаева Н.Н. Экспериментальные исследования подводного электрического взрыва в каналах переменного сечения. Технические науки – от теории к практике: Сборник статей по материалам LVIII международной научно-практической конференции №5(53). Часть II. Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2016.-С.125-133.

2. Оспанова Д.А. Исследование распределения импульсного давления ударной волны газожидкостного потока. «Наука, Новые технологии и инновации Кыргызстана»: №2 Республиканский научно-теоретический журнал. Бишкек, 2017.-С.9-14.

3. Нусупбеков Б.Р., Сатыбалдин А.Ж., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А. Исследование влияния ударной волны на движение газожидкостного потока по каналам переменного сечения. Научный журнал Физика №2. Бишкек, 2016.-С.162-168.

К.М.Шаймерденова, Г.А.Булкаирова, Н.К. Ботпаев, Ж.Г. Нургалиева, А.С.Тусыпбаева, А. Сағынгалиева

Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті

Әр түрлі диапазондағы сәулелердің суда жұтылуына электроимпульстік разрядтың әсері

Дүниежүзілік су қорларының ластануы бүкіл адамзат қауымын алаңдатып отыр. Техниканың және халық демографиясының дамуы әсерінен таза және залалсыз суға деген қажеттілік жылдан жылға өсуде. Таза судың тапшы болу себебінен, өндірісте және тұрмыста қолданылып, жарамсыз болып қалған суды қайта қолдану үшін оны тазалап, залалсыздандыруға тура келеді.

Қазіргі кезде суды тазалаудың химиялық, физикалық, иондық, каогуляциялық және т.б. көптеген әдістері қолданылуда. Бұл әдістердің біреуі қымбат технологияны талап етсе, екіншісі орындалу жағынан күрделі.

Соңғы уақытта суды тазалауға арналған электр разряды технологиясын көптеген мемлекеттер зерттеу нысанына алуда.

Электрогидравликалық эффекттің негізінде жасалынған құралдар судың түбінде қатып қалған қақтардан құтылу, тастарды үгіту, металдар мен ерітінділерден тазарту, медициналық мақсатта бұрғылау, ал ауыл шаруашылығында жануарларға арналған су қорларын тазартып, залалсыздандыру мақсатында қолданылады [1-2].

Сұйықта электрогидравликалық эффектіні қолдануға негізделген импульстік технология келесі технологиялық үрдістерде кеңінен қолданыс тапты: энергетика, металлургиялық өндірістер, коммуналдық шаруашылық, машина құрастыру, жылу алмасу құбырларында пайда болған қақтарды тазарту, бағалы заттар алу үшін өндірістерде шыққан қалдықтарды өңдеу, минералды заттарды бөлшектеу және ауыл шаруашылығына қажетті су қорларын залалсыздандыру [3].

Жұмыстың мақсаты – әр түрлі диапазондағы сәулелердің суда жұтылуына электроимпулстік разрядтың әсерін талдау болып табылады.

Бұл жұмыста Нұра өзені, Ботақара көлі, Федоровка су қоймаларынан алынған су үлгілерінің физика-химиялық қасиеттеріне электроимпульсті разрядтың әсері зерттеліп, тәуелділіктер алынды. Зерттеу барысында электрогидроимпульстік қондырғының конденсатор сыйымдылығы 0,25, 0,5мкФ; ауалы разряд қалыптастырғыштағы арақашықтық 7мм, 10мм; электрод аралық арақашықтық 5мм; жоғары вольтті импульсті генератордың кернеуі 21-24кВ болды.

Репозиторий КарГУ

Табиғи сулар топырақ тәрізді көптеген микроағзалардың өмір сүріп, көбейе алатын және көміртегі, азот, күкірт, темір, т.б. элементтердің айналым үрдісіне қатыса алатын табиғи тіршілік ортасы болып табылады. Табиғи сулардағы микрофлораның саны және түрі бойынша құрамы алуан түрлі болып келеді.

Табиғи сулардағы элементтерге электр разрядының әсерін зерттеу жұмыстары Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті физика-техника факультетінің «Гетерогенді ортадағы импульсті құбылыстар» ғылыми зертханасында жүргізілді. Ал химия факультетінің инженерлік профильдегі «Зерттеудің физика – химиялық әдістері» зертханасында спектрофотометр Shimadzu UV-1800 және атомды-абсорбционды спектрометр Varian AA140/AA240 қондырғылар көмегімен сараптамалар жасалынды.

Көптеген нұсқамаларға автоматты түрде сараптамалар жасау үшін AA140/AA240 жүйелі қондырғысы сәйкес келеді. Windows, автосэмплер, SPS-5 және SIPS құрылғысын программалық бағдарламаларының алуан түрлілігіне сәйкес нұсқамалардың бірнеше қатарын сараптамадан өткізіп, сонымен қатар стандартты қоспалар қосып, жалғыз стандартты ерітіндіден толығымен автоматты түрде сараптамалар алуға болады [4].

Атомды-абсорбциялық Varian AA140/AA240 спектрометрлерінің сыртқы көрінісі 1 - суретте көрсетілген.

2 - суретте қос сәулелі Shimadzu UV-1800 спектрофотометрі көрсетілген. Бұл кез-келген сұйық және қатты денелердегі сандық талдауды жасауға арналған қазіргі заманауи қос сәулелі спектрофотометр. Талдау нәтижелері сұйық кристалды экранда бейнеленеді.

Shimadzu UV-1800 өзіне орнатылған бағдарламалар көмегімен бірнеше жұмыстар атқара алады: фотометриялық, спектрлық, кинетикалық, сандық. Кюветтік бөлімшелері өте қолайлы – кюветтерді еш қиындықсыз өзгерте беруге болады.



Сурет 1. Атомды-абсорбциялық Varian AA140/AA240 спектрометрлерінің сыртқы көрінісі



Сурет 2. Спектрофотометр Shimadzu UV-1800

Зерттеу барысында жоғарыда келтірілген қондырғылардың көмегімен әр түрлі су қоймаларынан алынған су үлгілерінің физика – химиялық қасиеттеріне ультракүлгіндік сәулелер, инфроқызыл сәулелер, көрінетін жарық және элементтік құрамы зерттеліп, электр разрядтар санынан тәуелділіктер алынды (3-11 суреттер).

Төменде Нұра өзенінен алынған су үлгісіндегі ультракүлгін сәуленің жұтылу дәрежесінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділігі көрсетілген (3-сурет).

3 - суретте ультракүлгін сәуленің судағы жұтылу коэффициенті электроимпульстік разрядтар саны 0-50-ге дейін өзгерген кезде 2,7-ден 2,38-ге дейін төмендеп, ал разрядтар саны 50-150 аралығында болғанда ультракүлгін сәуленің жұтылу көрсеткіштері өзгеріссіз

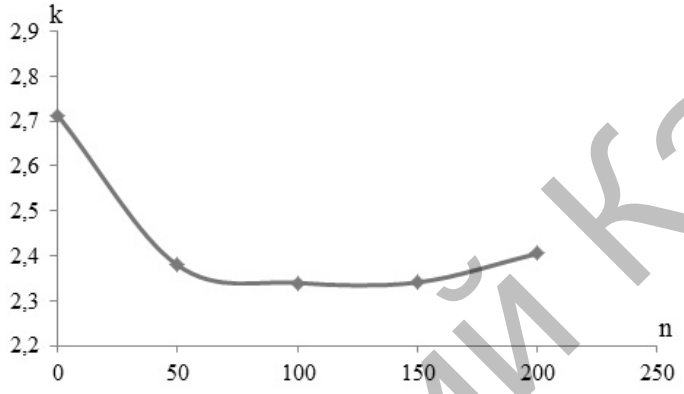
Репозиторий КарГУ

қалды. Электрлік разрядтар саны 150-200 дейін өзгертілгенде жұтылу көрсеткіші қайтадан өсе бастағанын көруге болады.

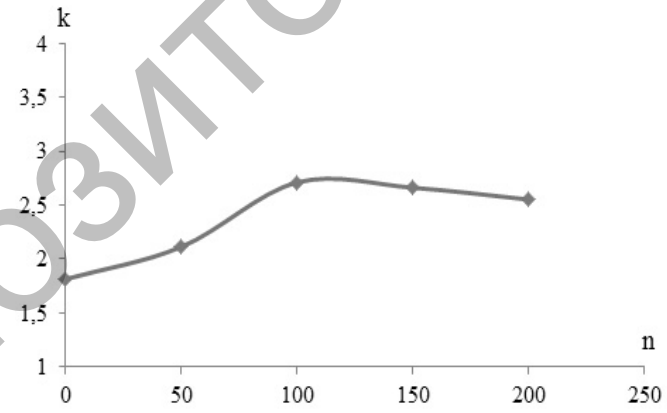
4 - суретте Ботақара көлінен алынған су үлгісінде ультракүлгіндік сәуленің жұтылу дәрежесінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділігі бейнеленген.

Жоғарыда көрсетілген 4 - суреттен ультракүлгін сәуленің судағы жұтылу коэффициенті электроимпульсті разрядтар саны 0-100-ге дейін өзгерген кезде 1,815-тен 2,713-ке дейін көтерілгендігін, ал разрядтар саны 100-200-ге өзгергенде ультракүлгін сәуленің жұтылу көрсеткіштері 2,713-тен 2,55-ке дейін төмендегенін байқауға болады.

5 - суретте Федоровка су қоймасынан алынған су үлгісіндегі ультракүлгін сәулесінің жұтылу дәрежесінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділік графигі тұрғызылды.



Сурет 3. Нұра өзенінен алынған су үлгісіндегі ультракүлгін сәуленің жұтылу дәрежесінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділігі



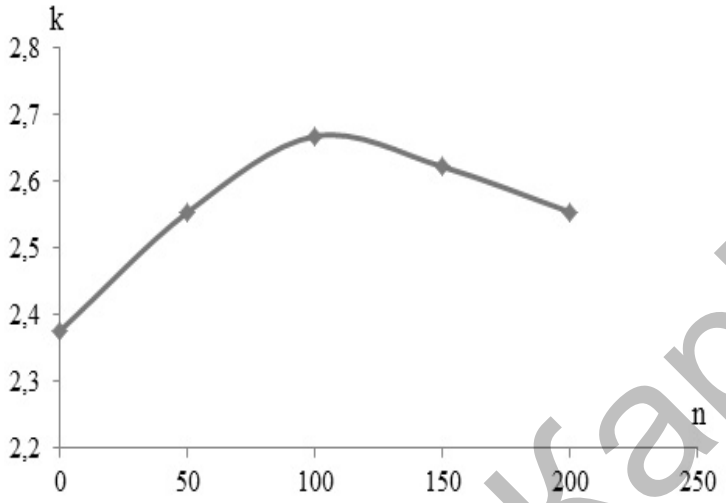
Сурет 4. Ботақара көлінен алынған су үлгісінде ультракүлгіндік сәуленің жұтылу дәрежесінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділігі

Бұл тәуелділікте ультракүлгін сәуленің судағы жұтылу коэфициенті электроимпульсті разряд саны 0-100-ге дейін өзгерген кезде 2,376-дан 2,668-ге дейін көтерілді. Ал разряд саны 100-200-ге өзгергенде ультракүлгін сәуленің жұтылу көрсеткіштері 2,668-ден 2,54-ке дейін төмендеді.

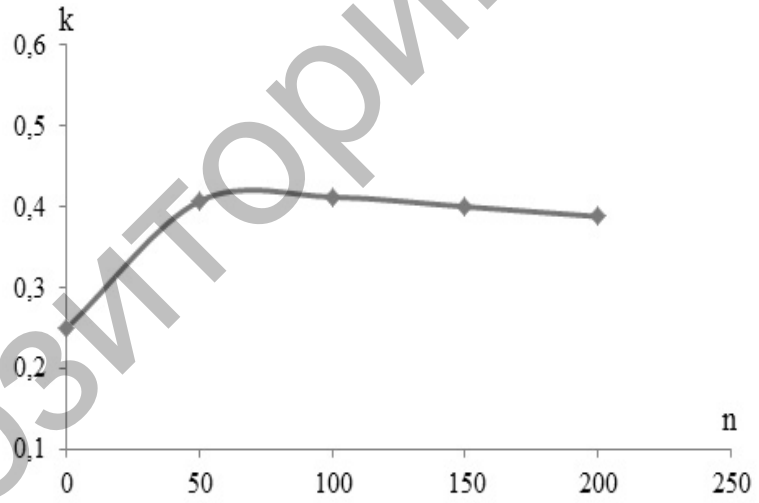
Төмендегі суреттерде Нұра өзені, Ботақара көлі, Федоровка су қоймасынан алынған су үлгілеріндегі инфрақызыл сәулелердің жұтылу дәрежелерінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділігі бейнеленген (6-8 суреттер).

Репозиторий КарГУ

Бұл графикте инфрақызыл сәуленің судағы жұтылу коэффициенті электроимпульсті разряд саны 0-50-ге дейін өзгерген кезде 0,25-тен 0,407-ге дейін жоғарлап, разряд саны 50-200-ге өзгергенде инфрақызыл сәуленің жұтылу көрсеткіштері төмендей бастады.



Сурет 5. Федоровка су қоймасынан алынған су үлгісіндегі ультракүлгін сәуленің жұтылу дәрежесінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділігі

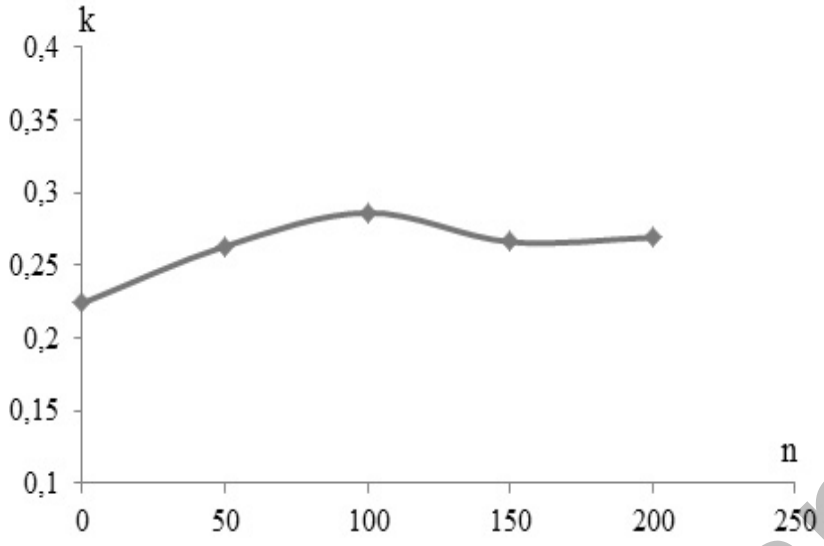


Сурет 6. Нұра өзенінен алынған су үлгісіндегі инфрақызыл сәуленің жұтылу дәрежесінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділігі

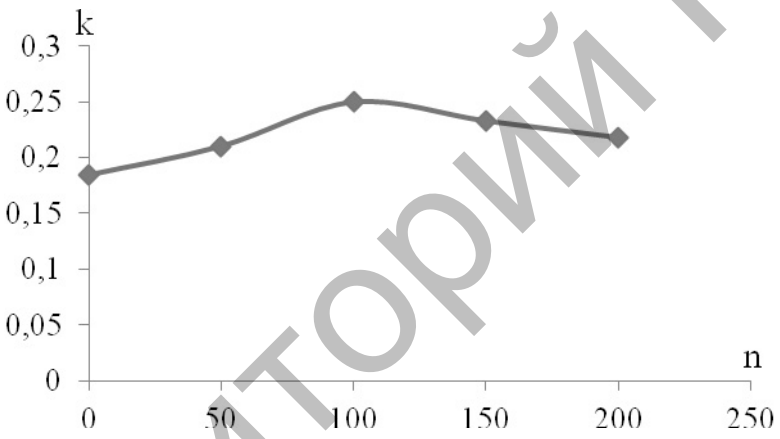
7 - суретте электроимпульстік разряд саны 0-100-ге дейін өзгерген кезде 0,224-тен 0,286-ға дейін жоғарылап, разряд саны 100-200 болғанда инфрақызыл сәуленің жұтылу көрсеткіштері 0,286-дан 0,266-ға төмендеді.

8 - суреттегі тәуелділіктен инфрақызыл сәуленің судағы электроимпульстік разряд саны 0-100-ге дейін өзгергенде 0,184-тен 0,25-ке дейін жоғарлағанын, ал разрядтар саны 150-200 кезіндегі инфрақызыл сәуленің жұтылу көрсеткіштері төмендегенін көруге болады.

Репозиторий КарГУ



Сурет 7. Ботақара көлінен алынған су үлгісіндегі инфрақызыл сәуленің жұтылу дәрежесінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділігі

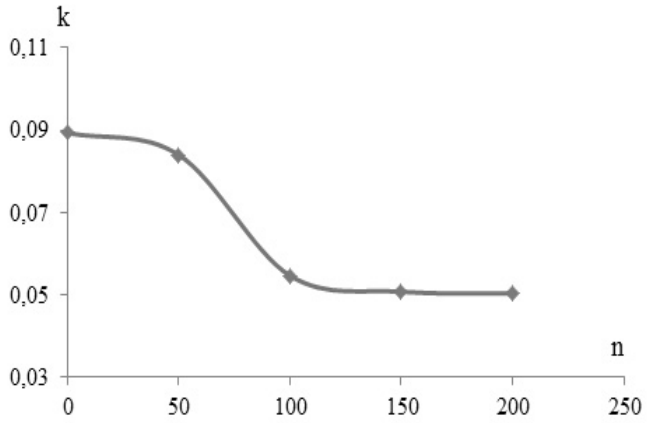


Сурет 8. Федоровка су қоймасындағы инфрақызыл сәуленің жұтылу дәрежесінің электроимпульстік разрядтар санына тәуелділігі

9-11 - суреттерде Нұра өзенінен, Ботақара көлінен және Федоровка су қоймасынан алынған су үлгілерінен көрінетін жарықтың суда жұтылу дәрежесінің электр разрядтар санына тәуелділік графиктері көрсетілген.

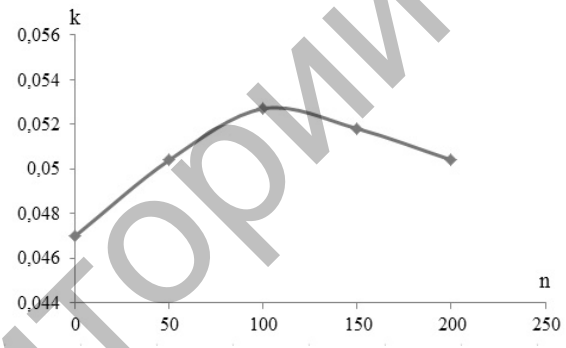
9 - суретте су үлгісіне 50 рет жоғары вольтті электроимпульсті разрядын берген кезде судағы көрінетін жарықтың жұтылу көрсеткіші 0,09 мәнінен 0,085 мәніне аз өзгеріспен төмендеді. 100 разряд берілген кезде 50 разряд бергенге қарағанда жұтылу көрсеткішінің төмендеу қарқыны жоғары болды, яғни көрсеткіш 0,085 – тен 0,055 – ге төмендеді. Келесі зерттеулер суға 150 және 200 рет электр разрядын берумен жүргізілді. Бұл жағдайда көрінетін жарықтың суда жұтылу дәрежесінің көрсеткіші суға 100 рет разряд берген кездегі мәніне жақын болды.

Репозиторий КарГУ

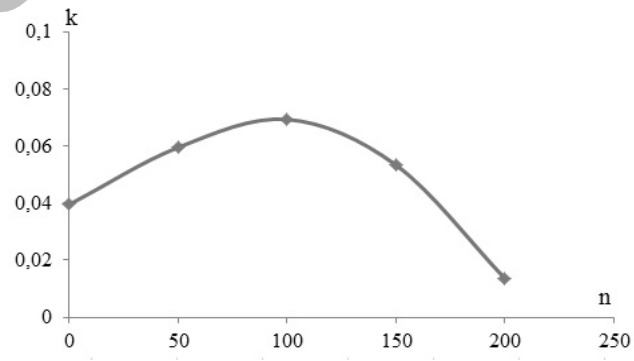


Сурет 9. Нұра өзенінен алынған су үлгісінде көрінетін жарықтың суда жұтылу дәрежесінің электр разрядтар санына тәуелділігі

10 - суреттегі қисықтан Ботақара көлінен алынған су үлгісінде жоғары вольтті электроимпульстік разрядтар саны 0-ден 100-ге артқанда көрінетін жарықтың суда жұтылу дәрежесі 0,047-ден 0,0527-ке дейін, ал электр разрядтар саны 100-200 аралығында көрінетін жарықтың суда жұтылу дәрежесі 0,0527-0,0504 мәндеріне дейін төмендеді.



Сурет 10. Ботақара көлінен алынған су үлгісінде көрінетін жарықтың суда жұтылу дәрежесінің электр разрядтар санына тәуелділігі



Сурет 11. Федоровка су қоймасынан алынған су үлгісінде көрінетін жарықтың суда жұтылу дәрежесінің электр разрядтар санына тәуелділігі

Бұл суреттен су үлгісіне берілген электроимпульстік разрядтар саны 0-100 болғанда көрінетін жарықтың суда жұтылу көрсеткіші 0,04-тен 0,0693 мәніне жоғарлап, ал суға

Репозиторий КарГУ

берілген разрядтар саны 100-ден 200-ге дейін жоғарлағанда судағы көрінетін жарықтың жұтылу көрсеткіші 0,0693-тен 0,0136-ға дейін төмендегенін байқауға болады.

Қазіргі күнге дейінгі белгілі болған суды тазалау және оның физика-химиялық сипаттамаларын жақсарту әдіснамаларына талдау жүргізілді. Судың элементтік құрамында қаттылықтың азайғандығын және судың жұмсарғандығын байкауға болады. Бұл графиктерден біз электр разрядттың су қаттылығын төмендетуге оң әсер еткендігін көреміз.

Су қоймаларынан алынған су үлгілеріне, жарық сәулерінің жұтылу дәрежесінің өзгерісіне электроимпульстік разрядтар санының әсерін зерттеу нәтижелерін ауыл шаруашылығын және өнеркәсіптерді таза сумен қамтамасыз ету мәселелерін шешуде қолдануға болады.

Әдебиеттер:

1 *Юткин Л.А*. Электрогидравлический эффект и его применение в плеромышленности // Санкт-Петербург: 1986. – 246с.

2 *Кусаиынов К*. Электрогидроимпульсная технология очистки труб и пучков труб теплообменников / г.Караганда: 2016. - 88с.

3 *Рябчиков Б.Е*. – Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования // Дели принт.-2004.- 328с.

4*Сулейменова С.Е., Кабдиева А.У., Төлеуқайыр Т.Е*. Электроимпульстік технологияның судың физикалық параметрлеріне әсерін талдау // «Бөкетов оқулары –2016» магистранттар мен студенттердің аймақтық ғылыми-тәжірибелік конференциясы материалдары – Қарағанды, 2016. – 194-196.

Kazhikenova S.Sh.[1], Nussupbekov B.R.[2], Shaltakov S.N.[2]
[1]E.A.Buketov Karaganda State Technical University, [2]Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan. sauleshka555@mail.ru

Copper melt's flow numerical modeling into account design of liquid metals

Computer simulation of melts' motion, which are widely used in metallurgy in the production of ferrous and non-ferrous metals, is impossible without considering mathematical aspects of solving the hydrodynamics' equations [1-6]. In order to describe a melts' motion in given book the continuity equation and the Navier-Stokes equations are considered, which are a consequence of applying conservation of mass and momentum to the elementary volume of liquid. Only way to check what Navier-Stokes equations actually provide for describing melt motions is, first of all, to conduct a rigorous mathematical analysis of the boundary value problems' solvability posed for them in hydrodynamics. Now consider melt's flow in an inclined chute. Equations general view is given in work [1]. For a particular design, you can interpret and write them as follows. Direct axis Oz by chute axis, assuming that chute's design is infinitely, and the melt's flow is directed along chute's axis so that three velocity components u, υ, w, is left only one w, therefore $u = 0$, $\upsilon = 0$. Let melt's flow be isothermal, then density ρ and viscosity coefficient $\mu = const$.

Hence, the Navier – Stokes equations are written in the form:

$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = 0,$$
$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} = 0, \qquad (1)$$
$$w\frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} + \gamma\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right),$$

Репозиторий КарГУ

$$\frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$

Thus, as can be seen from the system of equations (1), velocity w, represents a function of only coordinates x, y, besides that, pressure function p is a function of z. In other words, if we conduct normal to the axis of the chute section, then the velocity in all such distributions sections are same. The pressure changes only from section to section, keeping the same value in this section. Such movements are called established.

Based on (1) we obtain equation:

$$\frac{dp}{dz} = \mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right). \tag{2}$$

The right side of (2) represents a function of x, y, then the left side is a function z. When coordinates are independent of each other, this can be observed only in the case when the left and right sides of the equation are constant separately. From the hydrodynamics main provisions follows:

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{\Delta p}{\ell},$$

where $\Delta p -$ pressure dropping in an arbitrarily selected area, $\ell -$ chute's length. Besides that due to the melt's free surface presence in the chute, pressure is equal to atmospheric. Since chute is inclined to the horizon at a certain angle α, then a volume force arises, a projection of which onto the axis Oz is equal to $F_z = g\sin\alpha = \frac{\Delta p}{\ell}$. Then the motion equation (2) in the direction Oz takes the form:

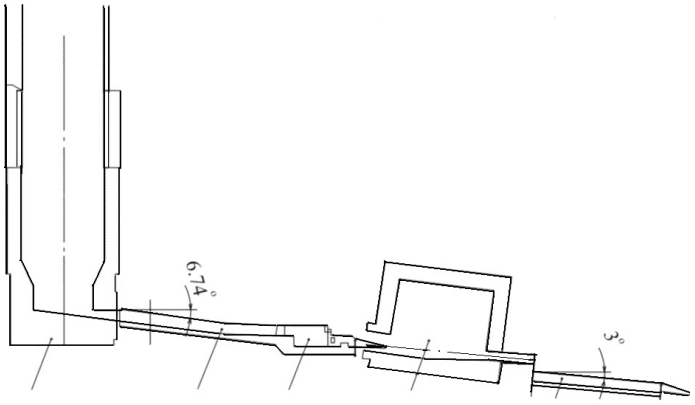
$$\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) + \rho g \sin\alpha = 0. \tag{3}$$

To solve obtained equation, boundary conditions are necessary. These conditions will be determined by melt's sticking to the chute's bottom and the friction's absence on the melt's free surface. Let us denote the flow's depth through h_1, and the width through h_2. Then the problem's boundary conditions are written as follows:

$$\begin{aligned} &w = 0 \quad \text{at} \quad y = 0, \\ &\frac{\partial w}{\partial y} = 0 \quad \text{at} \quad y = h_1, \\ &\frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad \text{at} \quad x = h_2. \end{aligned} \tag{4}$$

Репозиторий КарГУ

Thus, the equation 3) with boundary conditions (4) will describe a melt's flow process in concrete designs of chute's type. This model is built for melting equipment of the SCR – 2000 line, sketch of which is presented in correspondence with Picture 1.



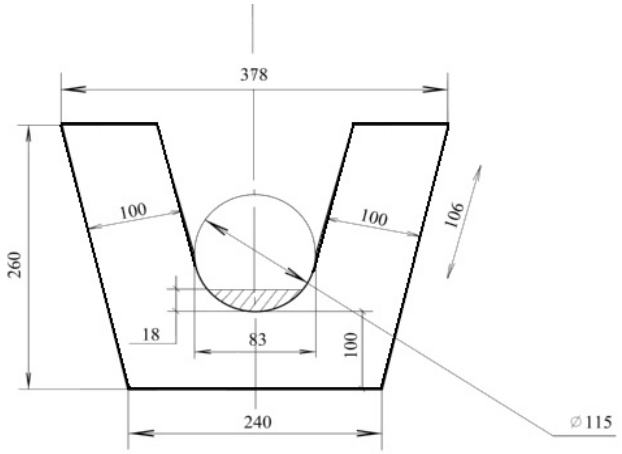
Picture 1 - Sketch of the melting equipment SCR – 2000 line's location

Calculations are made for the lower chute with an inclination angle of 3º. Cross section of the lower chute is presented in correspondence with Picture 2 and shows the melt's level in it.

Numerical parameters are determined by following calculations: the segment's area is $S = \frac{[lr - a(r-h)]}{2}$, where $l -$ arc length, $a -$ chord, $h -$ segment arrow: $a = 83\,мм$, $h = 18\,мм$, $l \approx \sqrt{a^2 + (16h^2/3)} = \sqrt{83^2 + (16 \cdot 18^2/3)} = 92{,}8\,мм$.

Hence $S = \frac{\left[92{,}8 \cdot \frac{115}{2} - 83\left(\frac{115}{2} - 18\right)\right]}{2} = 1029\,мм^2$.

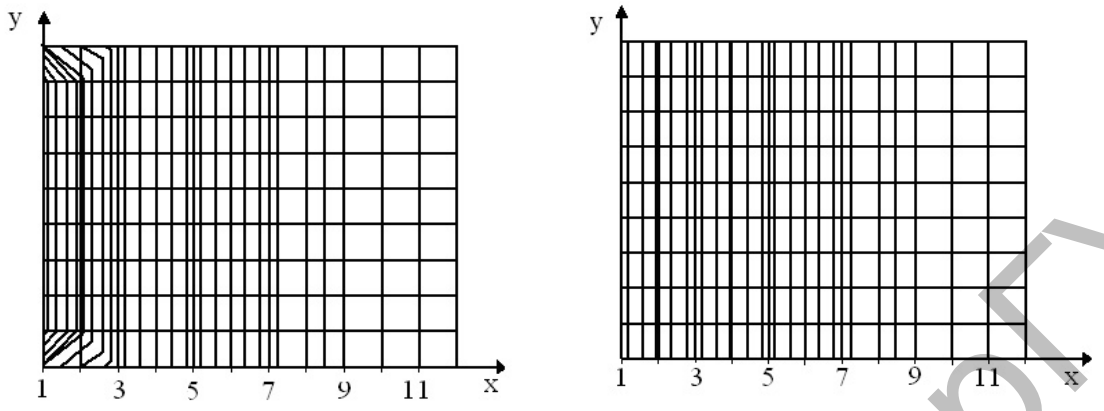
Then second melt's flow velocity is $Q = 3{,}61\,\frac{кг}{с}$. With this taken into account it is possible to determine average melt's flow velocity, which is equal to $\upsilon_{ср} = 0{,}45\frac{м}{с}$. Constant step sizes $\Delta x = \Delta y = 0{,}02$. were used in the calculations. Time step in the calculations was chosen to be equal to $\Delta t = 0{,}001$.



Picture 2 - Section of lower chute

Репозиторий КарГУ

Established results for the velocities profiles υ and u melt's flow profiles in the flat channel are presented in correspondence with Picture 3.



a) b)

Picture 3 - Profiles a) - transverse υ and b) longitudinal u velocities

Established flow attainment required 3000 steps. Analysis of obtained results shows following facts regarding accuracy of applied numerical calculations. Firstly, when calculating the flow in input cell of lattice, calculation error leads to a mass loss of 8-9%. As soon as we reduce cell size by 10 times, the mass loss is reduced to 4-6%. When calculating with great accuracy taking into account boundary conditions peculiarities, it was necessary to use a special numerical scheme. Secondly, the maximum velocity on the current's centerline is equal to $0{,}63\frac{м}{c}$. Which is approximately on 15% higher than experimental value. Obtained results show that proposed computational scheme is quite economical and without special problems it can be used for calculating the flow at sufficiently small Reynolds numbers.

References:

[1] Kazhikenova, S.Sh., Shaltakov, S.N., Isagulov, A.Z. (2010). Fiziko-himicheskie aspekty teorii metallurgicheskih processov [Physico-chemical aspects of the theory of metallurgical processes]. Karaganda: KSTU Publishing House [in Russian].

[2] R. N. Nurdillayeva, A. B. Bayeshov, G. S. Serik (2018) The Elaboration of Copper Bromide Synthesis by Electrochemical Method // Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. ISSN 1991-3494. Volume 1, Number 371, 73 – 80

[3] M. M. Matayev, S. M. Saksena, G. S. Patrin, Zh. Y. Tursinova, M. R. Abdraimova, M. A. Nurbekova, Zh. D. Batyrbekova (2018) The Composition and Structure of Bismuth-Doped Dysprosium Manganite // Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. ISSN 1991-3494. Volume 6, Number 376, 134 – 138. DOI: https://doi.org/10.32014/2018.2518-1467.36

[4] M. K. Kasymova, A. B. Bayeshov, G. N. Zhylysbayeva, A. K. Mamyrbekova, O. N. Chechina (2018) Kinetic Researches and Electrochemical Behaviour of Lead at Polarization Alternating Current // Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. ISSN 1991-3494. Volume 6, Number 376, 139 – 146. DOI: https://doi.org/10.32014/2018.2518-1467.37

[5] S.Sh. Kazhikenova, V.P. Malyshev, A. M. Turdukozhaeva (2009) A Qualitative and Quantitative Evaluation of the Technological Processes in the Metallurgy of Nonferrous Metals // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. Springer NY, 2009. Vol. 50. No. 4. pp. 335–337. http://link.springer.com/article/10.3103/S106782120904004X

[6] Yu. G Dorofeyev, V. Yu. Dorofeyev, A. V. Babets (2018) Contact Interaction Peculiarities at the Boundary of Layers of Structural Steel-High-Speed Steel Hot-Forged Powder Bimetal // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. Vol. 59. No. 6. pp. 643-652. DOI: 10.3103/S1067821218060044

Репозиторий КарГУ

Жуков А. С., Толынбеков А. Б.
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия
E-mail: a.tolynbekov@gmail.com

Фильтрационное горение хрома в азоте в спутном потоке свс

Введение: Традиционно фильтрационное горение металлов в азоте и самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) нитридов экспериментально исследуются в условиях естественной фильтрации [1-3]. Такое горение является саморегулируемым. В результате непрерывного поглощения газообразного окислителя твердым реагентом в горящем образце и окружающем его объеме постоянно поддерживается перепад давления, за счет которого реакционный газ поступает в зону горения. Другой тип фильтрационного горения металлов, когда газообразный реагент принудительно нагнетается в зону реакции [4], экспериментально изучен мало, несмотря на подробные теоретические исследования горения различных систем при принудительном продуве их реакционном газом.

В настоящей работе представлена оригинальная установка для исследования горения металлов и сплавов в режиме спутной фильтрации газа, а также приведены результаты экспериментального ее опробования при изучении горения порошков хрома, титана и карбида бора в спутном потоке азотсодержащего газа. При этом решалась задача, создания такой установки, которая позволяла ла бы визуально наблюдать за процессом горения и фиксировать следующие параметры процесса: расход и давление газа на входе и выходе из системы, скорость горения, а также измерять температуру синтеза.

Установка «Лабораторный проточный СВС реактор» и методика эксперимента: Принципиальная схема установки представлена на рис. 1. Установка состоит из 3-х основных узлов: камера горения (1-9), система подачи газа (10-18) и система регистрации параметров горения (19-21). Установка позволяет исследовать горение в слое порошка диаметром 10—30·10^{-3} m и высотой до 0,2 m при давлении на входе до 0,2 MPa и максимальном расходе газа до 0,83·10^{-3} m^3/s в диапазоне температур до 2000 ℃.

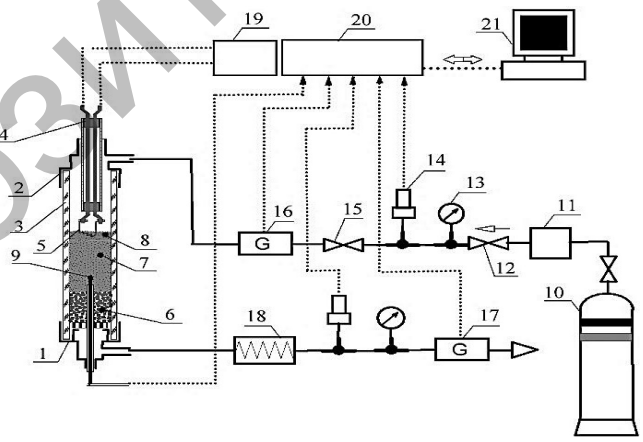


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки «Лабораторный проточный СВС реактор»

Апробация созданной в настоящей работе установки осуществлялась для проведения исследований по горению в режиме спутной фильтрации порошков хрома гидридно-кальциевого марки ПХ1С (ТУ 14-1-1474-75) дисперсностью менее 80 μm, титана марки ПТС (ТУ 14-22-57-92) дисперсностью менее 280 μm, и карбида бора (ТУ 3988-002-64050283-2013)

Репозиторий КарГУ

дисперсностью менее 10 μm. Размер образцов был постоянен: диаметр $1{,}6\cdot10^{-2}$ m, высота 0,04 m. Содержание *C*, *N* и *O* определялись на установках CS744 и TC600 фирмы LECO. Фазовый состав исходных порошков и продуктов горения определялся на дифрактометре Shimadzu XRD-600.

Навеска исходного порошка (7) засыпается в кварцевую трубку (3). Верхняя часть порошка приводится в контакт с электрической спиралью (5). Кварцевая трубка герметизируется. В нижнюю часть кварцевой трубки предварительно засыпается слой порошка оксида алюминия (6), который служит для охлаждения отходящих газов. С помощью редуктора реакционный газ в кварцевую трубку подается из баллона, в котором предварительно готовится смесь газов заданного состава. Подачей электрического импульса на спираль в поверхностном слое инициируется экзотермическая реакция. Формируется плоский фронт горения, который начинает распространяться вдоль образца. Расход газа регулируется редуктором (11). Контроль давления производится по показаниям манометра (13) и датчика давления (14). Расход газа на входе в реактор и на его выходе осуществляется электронными микрорасходомерами (16) и (17) термоанемометрического типа “Red-y”. До подачи электрического тока на инициирующую спираль (5) показания обоих расходомеров (16) и (17) одинаковы, т.к. отсутствует поглощение газовой компоненты дисперсной средой, которая находится в реакторе. Поглощение реагирующей компоненты газовой смеси начинается после инициирования реакции. Расход газа на выходе из реактора уменьшается, что фиксируется приборами, установленными на выходе установки. Температура реакции измеряется W/Re термопарой ВР5/20 (9), сигнал которой подается через усилитель на записывающее устройство. Холодильник (18) служит для охлаждения газообразных продуктов реакции перед входом в оконечный электронный расходомер (17). Параметры процесса фиксируются многоканальным измерителем-регулятором «ТРМ-138» (20) с последующей обработкой и архивированием программой для регистрации OWEN MANAGER ORM v.1, загруженной в компьютер (21).

Результаты эксперимента: Первые опыты показали, что порошки в состоянии поставки обладают низкой пористостью, затрудняющей процесс горения. Поэтому мелкую фракцию в порошках *Cr* и *Ti* отсеивали, а порошок B_4C гранулировали. В дальнейшем в экспериментах использовали порошки *Cr* и *Ti* с размером частиц $\delta=63\div80$ μm и гранулы B_4C размером менее 10^3 μm. Пористость образцов порошков хрома, титана и карбида бора составляла 80 %, 77 % и 75 % соответственно. Во всех случаях после инициирования процесса с помощью раскаленной вольфрамовой спирали формировался плоский фронт горения, который с постоянной скоростью распространялся вдоль образца. При этом расходомер, установленный на выходе установки, фиксировал резкое уменьшение расхода газа. На рис. 2 представлена типичная фоторегистрограмма распространения стационарного фронта горения в режиме спутной фильтрации.

Горение хрома. Хром азотировался в потоке смеси азота с 12,8 % масс. аргона. При росте объемного расхода смеси на входе в реактор $G_{вх}$ с $5{,}5\cdot10^{-5}$ m^3/s до $1{,}1\cdot10^{-4}$ m^3/s скорость горения возросла незначительно с $2{,}0\cdot10^{-3}$ m/s до $2{,}3\cdot10^{-3}$ m/s. При этом степень азотирования немного снизилась с 8,4 % до 8,0 %. Температура горения была при этом порядка 1470 ^{0}C. Продукты горения порошка хрома представляют собой легко разрушаемые спеки серого цвета. Результаты химического анализа синтезированных образцов нитрида хрома (при $G_{вх} = 5{,}5\cdot10^{-5}$ m^3/s) показали, что массовые доли элементов *C*, *N* и *O* соответственно равны 0,021—0,048 %; 7,2—8,0 % и 0,3 %. Продукты горения были однофазными и состояли из полунитрида хрома Cr_2N.

Репозиторий КарГУ

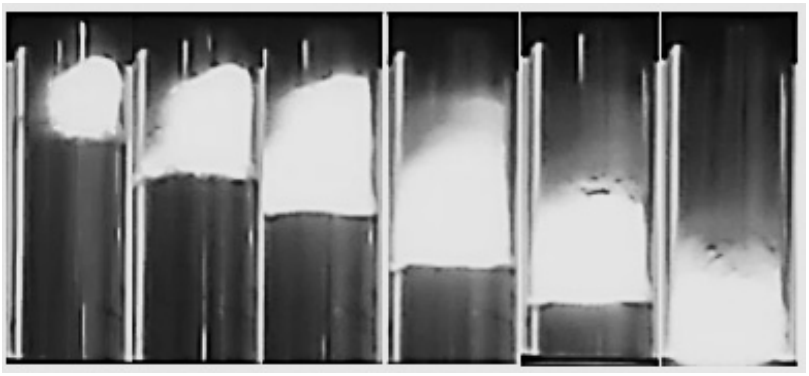


Рисунок 2. Распространение фронта горения в режиме спутной фильтрации

Обсуждение результатов: Стехиометрическое содержание азота в нитриде хрома 21,2 %. Согласно химическому анализу, приведенному выше, в полученных образцах содержится только около 8 % N_2. Следовательно, горение происходит в режиме неполного превращения.

Таким образом, установлено, что не догорание хрома превышает 60 %. В тоже время, видимо, весь азот, поступающий в зону реакции, полностью взаимодействует с хромом. В пользу этого свидетельствуют данные, фиксируемые расходомерами на входе и выходе реактора. В этом случае при горении должно сохраняться равновесие между скоростями доставки азота в зону горения и его поглощения.

Перед воспламенением, расход смеси на входе в реактор равен расходу смеси на выходе из реактора $G_{вх}=G_{вых}$. В момент горения расход на входе в реактор равен сумме расхода аргона на выходе и потребления азота, т.е. $G_{вх}=G_{вых\text{-разб.}} + G_{реаг.}$ Датчик расхода на входе в реактор показал, что в случае горения хрома, расход азота равнялся $5\cdot10^{-5}$ kg/s.

С другой стороны, зная измеренную скорость горения ($2\cdot10^{-3}$ m/s), была рассчитана скорость поглощения азота (т.к. $m_{поглощ.}=\rho\cdot(1-\varepsilon)\cdot\pi d^2\omega/4$), равная $4{,}6\cdot10^{-5}$ kg/s. Здесь ρ – плотность порошка, ε –пористость порошка, *d*- внутренний диаметр кварцевой трубки, ω – массовая доля азота. Таким образом, расход азота, измеренный датчиком на входе в реакционную зону, приблизительно равен потребленному азоту, рассчитанному по скорости горения.

Таким образом, разработанная установка «Лабораторный проточный СВС реактор» позволяет исследовать процесс горения порошков систем хром-азот в спутном потоке смесей газов. Фиксируемые параметры горения адекватно отражают данные по скорости горения, расходу газа, а также химическому и фазовому составу продуктов горения. При этом режим принудительной фильтрации позволяет синтезировать нестехиометрический полунитрид хрома Cr_2N различного состава.

Представленная оригинальная установка позволяет осуществлять исследования по горению металлов и соединений в среде азотосодержащего газа в режиме спутной фильтрации в широком диапазоне изменения исходных параметров.

Результаты исследования получены при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

Литературы

1. Мержанов А. Г., Боровинская И. П., Володин Ю. Е. В механизме горения пористых металлических образцов в азоте // Докл. АН СССР. — 1972. — Т. 206, № 4. — С. 905–908.

2. Ziatdinov M. Combustion Synthesis of Composition Ferroalloys / M. Ziatdinov, A. Zhukov, V. Promakhov //Materials.– 2018. –11,2117.

3. Ziatdinov, M.K. SHS Technology for Composite Ferroalloys. 1. Metallurgical SHS: Nitrides of Ferrovanadium and Ferrochromium / Ziatdinov, M.K., Shatokhin, I.M., Leont'ev, L.I. // Steel in Translation . – 2018. – V. 48(5). – P. 269–276.

Репозиторий КарГУ

4. Сеплярский Б. С., Вадченко С. Г., Костин С. В., Брауэр Г. Б. Закономерности горения смесей Ti + 0.5C и Ti + C насыпной плотности в спутном потоке инертного газа // Физика горения и взрыва. — 2009. — Т. 45, № 1. —С. 30–37.

Z.A. Satbayeva[1], B.K. Rakhadilov[1], L.B. Bayatanova[2], R.S. Kozhanova[1], K.A. Kalibayev[1], A.B. Kenesbekov[2], K.K. Kombayev[2]

[1]S.Amanzholov East Kazakhstan State University, Ust-Kamenogorsk, the Republic of Kazakhstan, [2]D.Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, the Republic of Kazakhstan, E-mail: satbaeva.z@mail.ru

Impact of electrolyte-plasma surface hardening on microhardness and microstructure of steels 40HN, 34HN1M

Introduction: One of the relevant tasks of modern science and technology is developing of new methods of impact on the surface to give it the necessary operational properties. The operation of machines and mechanisms depends on the wear resistance of parts, which often have a high impact loads. Details must have high strength and hardness of the surface layer in combination with sufficient ductility of the core for longevity of work. This can be achieved by using various methods of surface hardening. One of such methods is electrolytic-plasma treatment of metals.

Currently the significant interest in the electrolyte-plasma treatment based on electric discharge phenomena in the "metal-electrolyte" system are carried out. Electrolyte-plasma method of processing is largely devoid of disadvantages inherent in traditional methods of metal surface treatment, and additionally saves material resources. The essence of electrolytic plasma treatment process consist of follows. Under the low voltages in an electrochemical cell containing an watery electrolyte solution, a classical electrochemical process is observed. Under the voltage increases, intense electrode gas release begins, which leads to the formation of a near-electrode gas-liquid layer. As the voltage increases, the packing density of gas bubbles in the near-electrode gas-liquid layer increases, and the total cross-sectional area of the electrolyte bridges between them decreases. As a result of heat release, the electrolyte temperature in these bridges reaches the boiling point. In the transition from bubble to film boiling mode around the product immersed in the electrolyte there is a thin (50–100 μm) steam-gas shell consisting of water vapor activated OH^-, H^+ and the ions that included the electrolyte. Micro-discharges flowing through the vapor-gas shell migrate along the surface of the product and transmit significant portions of energy (hundreds of KJ/mol) to the localized areas. In the steam-gas shell procced a difficult complex: film boiling in an electric field; heat transfer; vapor ionization; movement of electric charges [1-3].

The formation of a stable continuous vapor-gas shell around the active electrode is a necessary condition for the implementation of electrolyte-plasma hardening. The formation of a stable continuous vapor-gas shell is influenced not only by the parameters of the electric circuit, but also by the molecular properties of the liquid, which depend on the electrolyte composition and its concentration [5,6]. In addition to, the main quality indicators of electrolyte-plasma treatment, which include hardness, thickness of the modified layer and wear resistance, depend on a number of factors: electrolyte composition, current density, voltage, electrolyte temperature, processing time. Among these factors, the most important role belongs to the composition of the electrolyte. For surface hardening of steels the most widely used waterly solutions of sodium carbonate [7]. As you know [8,9], for the cathode process, the most optimal component providing a stable discharge is sodium carbonate. In this regard, an electrolyte based on sodium carbonate was chosen for surface hardening. In order to prevent the process of decarburization, urea was added to the electrolyte. The choice of urea is due to the fact that this substance is a source of carbon, and is characterized by low cost and environmental safety. It is also important to note that urea is highly soluble in water: at 20°C the solubility of urea 51,83 % (mass) [10]. In addition, sodium carbonate interacts well with

Репозиторий КарГУ

urea. In this regard, sodium carbonate was selected as the component providing the optimal value of the electrolyte conductivity, and carbamide was selected in order to prevent decarburization of the surface. The aim of this work was to determine the optimal composition of the electrolyte on the example of steel grade 40HN and investigation of structural-phase state of steels 40HN, 34HN1M before and after EPH.

Material and research metod: Structural alloy steels were chosen as the object of research 40HN (3135), 34HN1M (2541). Table 1 presents the chemical composition of the steels under study.

Table 1. Chemical composition of steels GOST 4543-71

Steel name	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
40HN	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	1-1,4	до 0,035	до 0,035	0,45-0,75	до 0,3
34HN1M	0,3-0,4	0,17-0,37	0,5-0,8	1,3-1,7	до 0,035	до 0,03	1,3-1,7	0,2-0,3

EPH samples of steels were performed at the installation UEPOM-M, which is designed and manufactured by the authors in scientific-research center "Engineering surface and tribology» of S.Amanzholova EKSU. The process of EPH carried out in an electrolyte from an aqueous solution containing 20% sodium carbonate and 20% urea in the following regime: applied voltage between anode and sample – 320V, current density 25 A/см2, plasma exposure time – 2 c. In this regime, the samples were heated to ~850-900 °C. Microhardness of samples was measured by indentation of diamond indenter on the device PMT-3in accordance with ГОСТ 9450-76, at a load of 100 g and the time under load 10s. Investigation the phase composition of the samples was performed by x-ray diffraction on the diffractometer X' PertPro using CuKα radiation. Surface morphology of samples treated EPH, it was studied on an optical microscope «ALTAMI-MET-1M». To identify the microstructure was used chemical etching of thin sections in 4% alcohol solution of nitric acid (etching time 10-15 seconds).

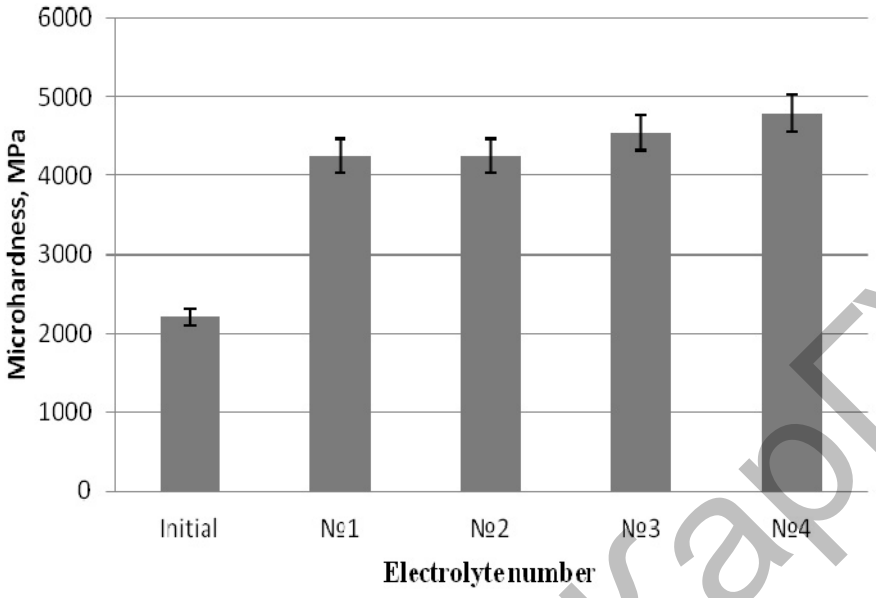
Results and discussion: The optimal electrolyte composition was selected based on the measurement of the microhardness of steel 40HN after EPH with 2 s. One of the most important properties of the surface layer is microhardness. We selected the following electrolytes containing urea and sodium carbonate with different concentrations for EPH (table 2).

In this work [11] we researched the change of microhardness and wear resistance of steel 40HN depending on the electrolyte composition at the duration of EPH 3s. The results showed that the concentrations of sodium carbonate electrolytes 10 % urea 15 % and 2 % show the same value of microhardness for the duration of EPH 2s и 3s. The duration of EPH to 2s was reduced by increasing the concentration of sodium carbonate and urea. EPH carried out by impact of electrolytic plasma with following cooling in the flowing electrolyte. The electrolyte temperature was ≈ 40 °C. It was found that the microhardness of steels increases with increasing urea concentration in the electrolyte (picture 1).

Table 2. Electrolyte structure

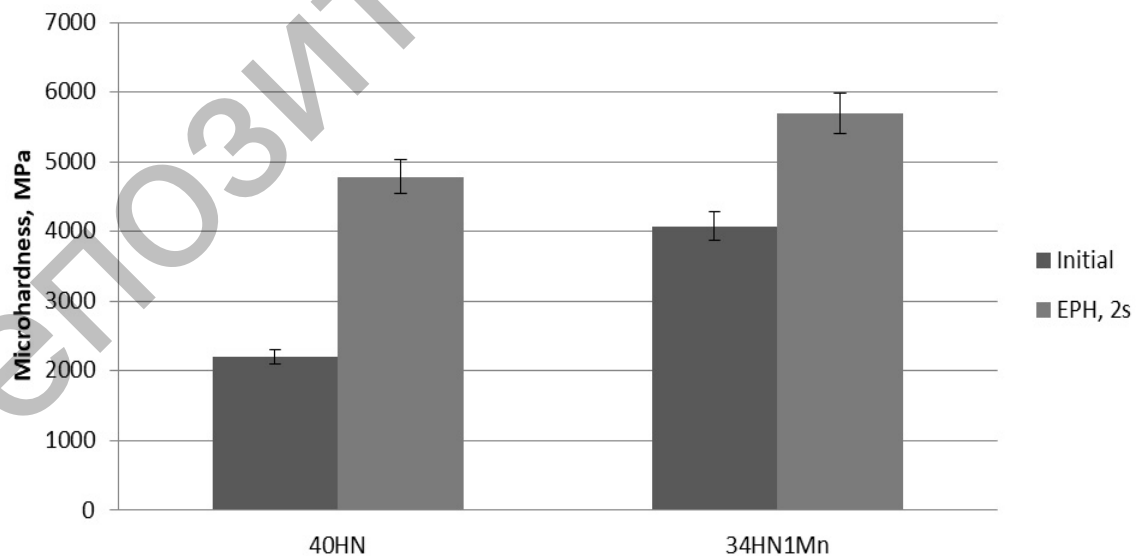
№ Electrolyte	Sodium carbonate, Na_2CO_3, %	Carbamide $(NH_2)_2CO$, %	Water, H_2O,%
1	10	15	75
2	10	20	70
3	10	25	65
4	15	20	65
5	20	20	60

Репозиторий КарГУ



Picture 1. Microhardness of steel 40HN depending on the composition of the electrolyte

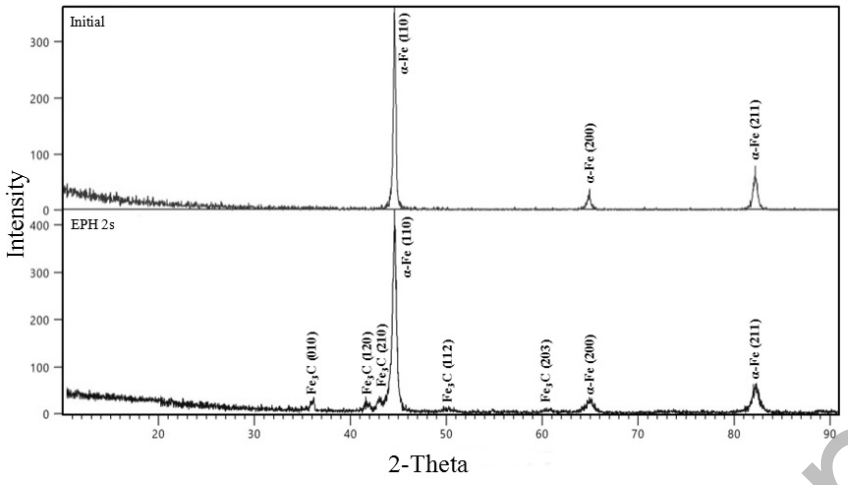
High microhardness is observed in samples treated in electrolytes containing 20 % sodium carbonate and 20 % urea. The samples which was treated in electrolytes contain 15 % urea and 10 % sodium carbonate and showed the lowest hardness. This may be due to a decrease in the solubility of carbon in the surface of the steel sample. Thus, we obtained the most optimal electrolyte composition for electrolytic-plasma surface hardening of steels. Under using electrolyte: 20 % sodium carbonate, 20 % urea formed stable discharge.On the picture 2 the change of microhardness of steels is given 40HN, 34HN1M before and after EPH during 2 seconds in the electrolyte composition of 20 % sodium carbonate, 20 % urea and 60 % water.



Picture 2. Microhardness of steels before and after EPH, 2s

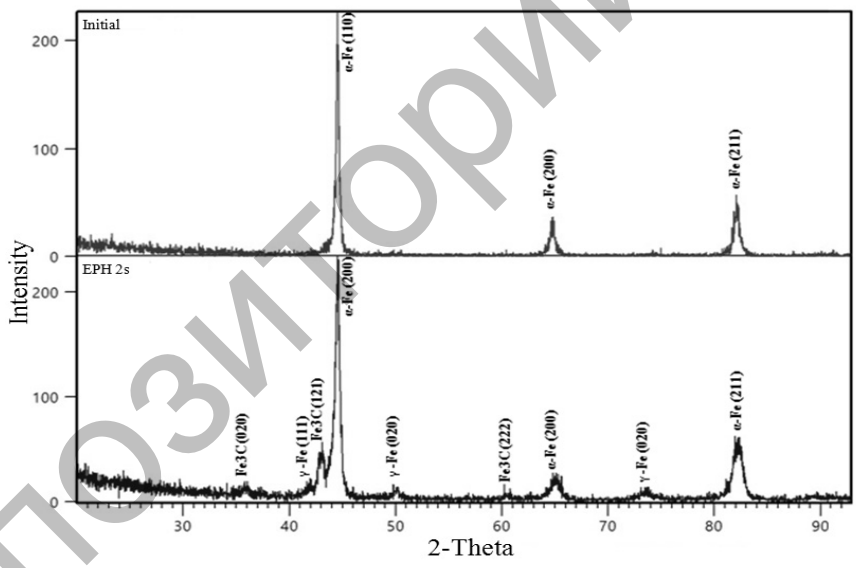
The structural and phase states of the hardened surface layers in comparison with the initial ones were studied for clarifying the features that impact the microhardness of steels,. Picture 3 introduced x-ray diffractograms of steel 40HN before and after EPH with a duration of 2s. Initial condition lines were registered in the initial state α-Fe, but after EPH was found formation Fe_3C.

Репозиторий КарГУ



Picture 3. X-ray diffractograms of steel 40HN

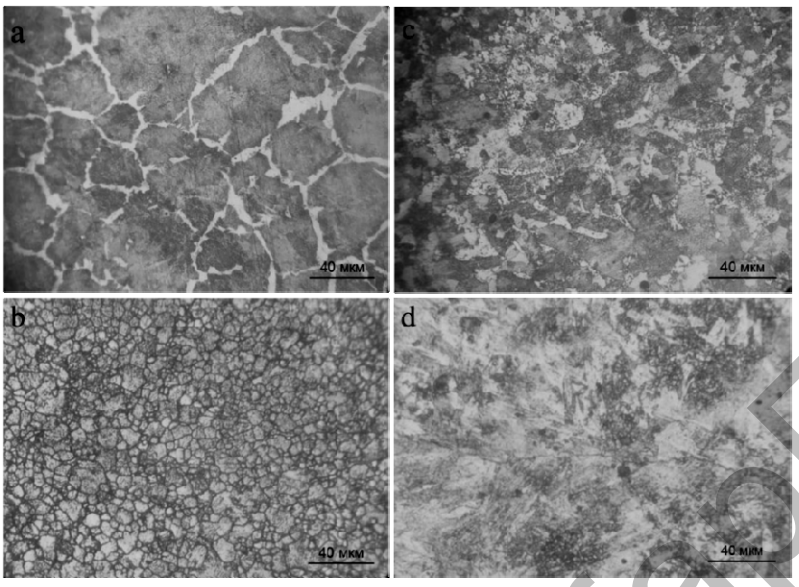
Picture 4 introduced X-ray diffractograms of steel 34HN1M before and after EPH with a duration 2s. Initial condition lines were registered in the initial state α-Fe, but after EPH was found formation Fe_3C and γ-Fe. The presence of γ-phase is due to the presence of manganese in the alloy, which stabilizes austenite.



Picture 4. X-ray diffractograms of steel 34HN1M

Picture 5 presents the microstructure of steels 40HN and 34HN1M before and after EPH. Metallographic analysis showed that the steels in the initial state have a ferrite-perlite structure. Perlite is ~10 % of the total volume. After EPH steel's surface 40HN have structure of fine-grained ferrite with carbide particles, steel's surface 34HN1M has an austenitic structure with carbide particles.

Репозиторий КарГУ



a – 40HN initial condition; b – 40HN after EPH 2s; c – 34HN1M initial condition; d – 34HN1M after EPH 2s

Picture 5. Microstructure of steels before and after EPH with a duration of 2s

Thus, main advantage of EPH is possible to obtain a modified layer on the surface of steel with increased microhardness. Microhardness of steel 40HN increase in 2,2 times, the steel 34HN1M in 1,4 times. The basis of the material doesn't change, it consists of a ferrite-perlite structure. The existence of carbide particles in the surface layers has a positive effect on the performance properties of parts, as small carbides keep the product from abrasion.

*Conclusion:*1. Determined the optimal electrolyte composition for EPH of sleel 40HN, 34HN1M with containing of 20 % sodium carbonate and 20 % urea, which improves the microhardness of steel 40HN in 2,2 times, and steels 34HN1M in 1,4 times during the time of 2s processings. 2. Increase of steels microhardness is conditioned by Fe_3C formation and changes in the structure of the surface layers after EPH. After EPH steel's surface 40HN has the structure of fine-grained ferrite with carbide particles, the surface of steel 34HN1M.

Acknowledgments: This paper was performed within the grant financing of scientific research for 2018-2020 of Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. Grant BR05236748.

References:

1. Niss V.S., Alekseev V.G., Parshuto A.E., Korolev A.Yu., Fomikhina I.V. Investigation of the influence of electrolyte-plasma treatment on the structure and properties of the surface layer of metallic materials // "Surface Engineering. New powder composites. Welding. "Part 2. Materials of the international. Symposium, GNPO PM NAS of Belarus, Minsk, March 22-25, 2011 - P. 70-73.

2. Handbook of Hard Coatings. Deposition Technolgies, Properties and Applications. Edited by Rointan F. Bunshah. University of California, Los Angeles, USA. - 2001. - 538 p.

3. Method for surface hardening of steel products: Patent for the invention of the Republic of Kazakhstan; IPC C21D 1/09 /; Rakhadilov B.K., Skakov M.K., Sagdoldina Zh.B., Kenesbekov A.B. 06/04/2018, Bull. Number 20.

4. ASTM G133 - 95 Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear.

5. Suminov I.V., Belkin P.N., Epelfeld A.V. et al. Plasma-electrolytic surface modification of metals and alloys / ed. I.V. Suminova; in 2 volumes - M: Technosphere, 2011. - Vol. 1. - 464 p.

6. Yerokhin A.L., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowey S.J. Plasma electrolysis for surface engineering // Surface and Coatings Technology. - 1999. - Vol. 122. P. 73–93.

Репозиторий КарГУ

7. Belkin P.N. Anodic electrochemical-thermal modification of metals and alloys // Electronic processing of materials. - 2010.V.46 (6). - S. 29-41.

8. Duraji V. N., Parsadanyan A. S. Heating of metals in electrolyte plasma. Chisinau: - Shtiintsa, 1988 .- 216 p.

9. Tyurin Y. N., Pogrebnyak A. D., Electric Heating Using a Liquid Electrode, Surface and Coatings Technology, 142–144, 2001. – P. 293-299.

10. A.A. Sokolovsky, E.V. Yashke. The technology of mineral fertilizers and acids: a textbook for chemical engineering colleges: add. M-vom higher. and wednesday specialist. Education of the USSR / - 2nd ed., Rev. and add. - Moscow: Chemistry, 1979.- 384 p.

11. Rahadilov B., Zhurerova L., Sagdoldina Zh. Applying Surface Plasma Hardening for Improving the Tribological Characteristics of Steel Parts // Tribologia, 1/2019, P. 49-55.

Шрагер Э.Р.[1], Якович А.[2] Сакипова С.Е.[3], Кусаиынова А.К.[3]
[1]Томский государственный университет, Томск, Россия [2]Университет Латвии, Рига, Латвия, [3]Карагандинский государственний университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

Проблемы и перспективы использования альтернативных источников энергии с учетом условий местного климата

Введение: В последние годы особую актуальность приобретают проблемы экономного и чистого энергопотребления, поиска и использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Несомненно, энергия – главная движущая сила во всем мире и объемы ее потребления неудержимо растут. Быстрый экономический рост в последнее десятилетие обуславливает увеличение потребления энергии и особенно растущий спрос на электроэнергию. Но до сих пор выработка необходимой энергии обеспечивается в основном за счет добычи и переработки угля и других традиционных источников энергии. Централизация электроснабжения на базе крупных угольных электростанциях с передачей электроэнергии в энерго-дефицитные регионы продолжает играть доминирующую роль в электроэнергетической отрасли, что предопределяет увеличение потерь электроэнергии при транспортировке и загрязнение окружающей среды. Выбросы вредных веществ в атмосферу только от угольных электростанций составляют около 900 тыс. тонн в год, из которых 45% составляют выбросы парниковых газов [1-6]. Поэтому разработка методов и технологий с использованием возобновляемых источников являются важными и актуальными не только в Казахстане, но и во всем мире.

Рассмотрим некоторые аспекты проблем и перспектив развития альтернативной энергетики с целью выявления возможного использования ветрогенераторов и других источников энергии, адаптированных к условиям местного климата.

«Пассивные» или энергосберегающие здания. Перспективным является разработка зданий с почти «нулевым потреблением энергии» и использование местных возобновляемых источников энергии, к примеру, посредством сочетания низкотемпературного геотермального тепла в системах централизованного теплоснабжения, энергии ветра, солнца и биомассы и др. [6-7]. В этом случае особое внимание уделяется сценарию использования низкотемпературного геотермального тепла в системах централизованного теплоснабжения.

По определению “пассивный” или энергосберегающий — это здание, основной особенностью которого является отсутствие необходимости отопления или малое энергопотребление — в среднем около 10 % от удельной энергии, потребляемой большинством современных зданий [7]. В развитых странах существуют собственные требования к стандарту пассивного дома. Как правило, показатель энерго-эффективности объекта определяется по величине потерь тепловой энергии с квадратного метра в течение

Репозиторий КарГУ

года или в отопительный период, что в среднем составляет $(100 \div 120) kW \cdot h / m^2$. Здание считается энергосберегающим, если этот показатель ниже $40 kW \cdot h / m^2$, в ряде европейских стран этот показатель ниже — $10 kW \cdot h / m^2$. В [7, 8] приведены сведения об исследованиях по проектам ERAF and ESF, проводимых в Лаборатории VTPMML Университета Латвии с 2011 года, в которых на испытательных стендах изучаются теплофизические свойства популярных местных строительных материалов.

В идеале, пассивный дом должен быть независимой энергосистемой, вообще не требующей расходов на поддержание комфортной температуры. При необходимости дополнительного «активного» обогрева, желательным является использование альтернативных источников энергии, как правило, это солнечные панели. Но в климатических условиях, где температура в зимний период меняется в диапазоне $-(15-25)°C$, в зимнее время наблюдается 40-45 солнечных дней, для обеспечения нормальной жизнедеятельности человека необходим дополнительный источник энергии для отопления и обеспечения электричеством. Здесь наиболее подходящим альтернативным источником энергии является ветер, что подтверждается современным темпом роста мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ) в мире, который в последние годы на порядок превышает темп роста мощностей всех других видов.

Разработка ветрогенераторов малой и средней мощности и перспективы использования комбинированных систем.: Согласно официальному статистическому отчету Всемирной ассоциации ветроэнергетики (WWEA) от 4 июня 2019 года, общая мощность всех установленных в мире ветряных турбин в конце 2018 года достигла 597 ГВт, что составляет 6% мирового спроса на электроэнергию [2]. Следует отметить, что ветровая энергия не загрязняет окружающую среду и способна производить чистую, неиссякаемую энергию в локальных местностях или объектах, отдаленных от централизованных электросетей. Рост и внедрение ветроэнергетических станций наблюдается также и в Казахстане, что помимо роста цен на электричество и теплоснабжение обусловлено тем, что энергия ветра является наиболее доступной и относительно дешевой в реализации, имеющимся сильным износом оборудования тепловых электростанций и соответственно, большим объемом их вредных выбросов в атмосферу. Наконец тем, что Казахстан имеет обязательства по сокращению выбросов парниковых газов на 25% к 2050 году [3, 4]. Несмотря на все преимущества, использование ветровой энергии в Казахстане составляет только 0.4% в общем объеме производства электроэнергии. С одной стороны, это связано с тем, что на большей территории Казахстана расположены зоны с низкими значениями среднегодовых скоростей ветра, при которых использование промышленно-выпускаемых ветродвигателей экономически невыгодно. Поэтому, создание ВЭУ, эффективно работающих в условиях низких среднегодовых скоростей ветра актуально и соответствует приоритетам в развитии энергетики в Казахстане.

Выполненные под руководством профессора Кусаиынова К. исследования аэродинамики различных тел сложной формы, совершающих вращательно-колебательные движения в турбулентном потоке, использованы при разработке и создании ВЭУ для низких скоростей ветра. Изготовлены различные макеты многолопастных ветротурбин малой мощности: парусного типа, с лопастями в виде вращающихся цилиндров, комбинированного типа и др.[9, 10]

Все виды производства энергии носят нерегулярный характер, с возобновляемыми источниками энергии, случается чаще. Прерывистость скорости ветра понятна, более предсказуема и гораздо «безопаснее», чем утечка радиации при неисправности АЭС или выбросы оксидов азота и серы на ТЭЦ [2]. Гораздо легче предсказать погодные условия, чем внезапное отключение АЭС. Изменчивость, свойственная ветру не несёт за собой таких опасных, негативных последствий для окружающей среды, как при нарушении герметизации энергоблоков АЭС. Как ранее упоминалось, наиболее эффективным являются гибридные

Репозиторий КарГУ

системы, в которых альтернативные источники как бы дополняют друг друга. В результате многочисленных аэродинамических испытаний была разработана и создана автономная гибридная ветроэлектростанция с номинальной мощностью 3.5 кВт, рис.1. В комбинированной системе основным источником энергии является ветротурбина с лопастями динамически изменяемой формы поверхности, на случай безветренной погоды служит набор из солнечных панелей. Система состоит из ветротурбины, гибридного контроллера, 2-х солнечных контроллеров, инвертора, системы электрощиты с установленными 4-мя автоматами, 4-х дополнительных солнечных панелей, 6-ти аккумуляторов и т.д. Ветрогенератор вырабатывает три фазы переменного тока, контроллер обеспечивает постоянное напряжение для заряда аккумуляторов, которое затем с помощью инвертора преобразуется в переменное. В среднем за месяц на станции вырабатывается 625 кВт×ч, что обеспечивает работу в нормальном режиме электроприборов и освещение лабораторий, общей площадью 158 кв.м.

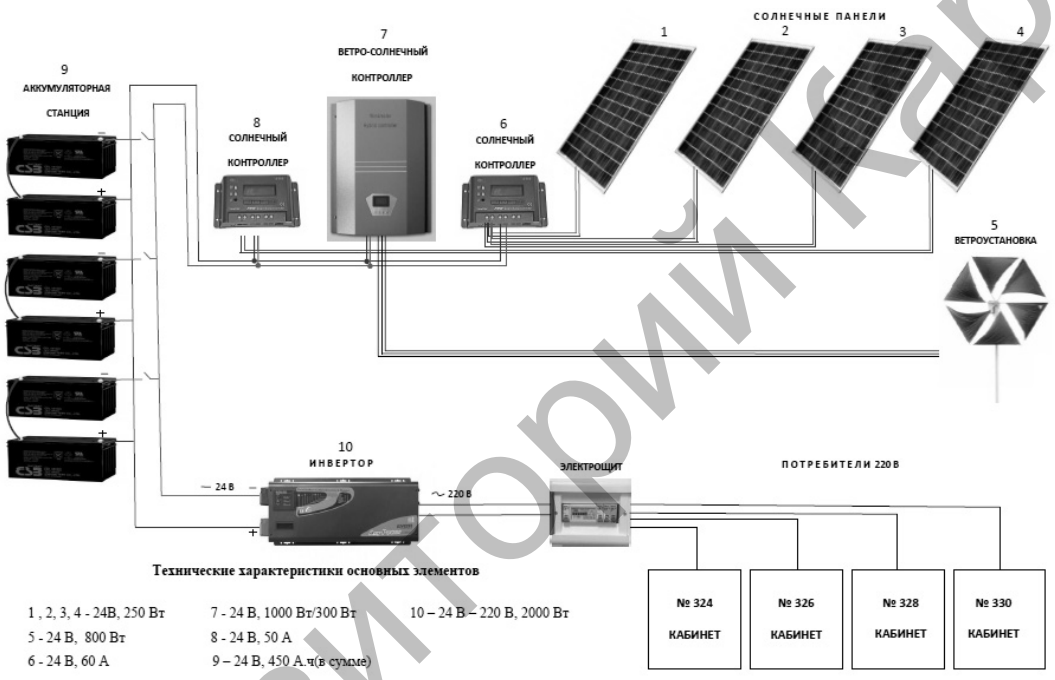


Рисунок 1. Схема автономной ветро-солнечной станции физико-технического факультета

Эксперименты показали, что ветротурбина парусного типа обладает оптимальными аэродинамическими характеристиками, проявляет себя как самоорганизованное устройство, эффективно преобразующее энергию ветра в энергию вращательного движения. При усилении ветра для уменьшения рабочей площади ветроколеса парусные лопасти закручиваются вокруг каркасных стержней ветроколеса. Испытания показывают, что при изменении направления ветра на противоположное, направление вращения оси ветроколеса не изменяется, рис.2. Из графика следует, что изменение момента силы тяги практически совпадают при противоположных направлениях воздушного потока.

Репозиторий КарГУ

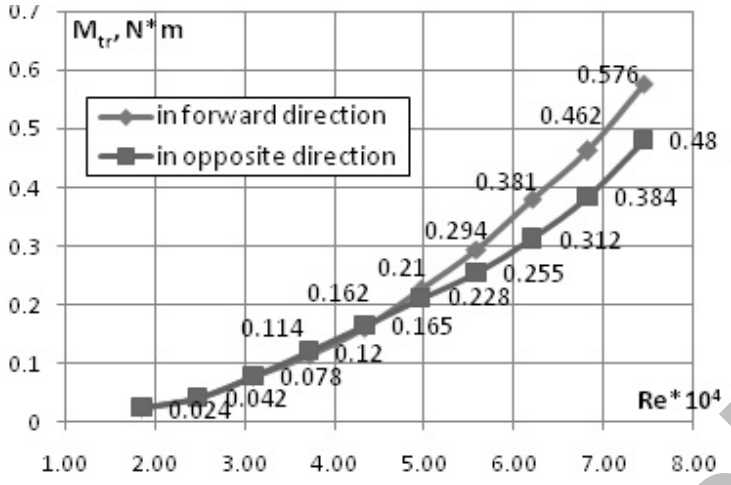


Рисунок 2. Зависимость момента силы тяги от скорости при различных направлениях потока ветра

Данный эффект обусловлен тем, что парусная лопасть с подвижным концом при изменении направления ветра «надувается» и перекидывается в другую сторону каркаса, тем самым обеспечивает сохранение первоначального направления вращения оси ветротурбины. Ветротурбина парусного типа сохраняет работоспособность в широком диапазоне изменения направления ветра, что также является положительным фактором при эксплуатации. Планируется определить величину коэффициента использования энергии ветра в зависимости от качества и быстроходности ветротурбины. Кроме того, разработаны ВЭУ с вращающимися цилиндрическими лопастями, которые могут служить как запускающее устройство при низкой скорости ветра [10]. В такой ВЭУ используется дополнительно сила - эффект Магнуса, возникающая при обтекании вращающегося тела потоком жидкости или газа

Заключение.

Возрастание потребности человечества в энергетических ресурсах приводит к необходимости поисков источников энергообеспечения. В качестве важного фактора устойчивого развития и конкурентоспособности экономики повсеместно развиваются технологии преобразования возобновляемых источников энергии. В отличие от ископаемого топлива, энергия ветра практически неисчерпаема, повсеместно доступна и более экологична. Для решения проблем, связанных с непостоянством ветровых потоков используется интеллектуальное управление распределением электроэнергии. Объем инвестиций в ветроэнергетику будет возрастать благодаря таким важным социальным и экономическим преимуществам таких как экологическая безопасность и сокращение выбросов в окружающую среду, снижение зависимости государства от импортируемых нефти и газа, создание рабочих мест, развитие новых технологий. Тем более, что появляются новые технологии и комбинированные системы, эффективно преобразующие энергию не только для получения электрической энергии, но и для отопления помещений и подогрева воды.

Литература:

1. Wind Power Capacity Worldwide Reaches 597 GW. June 4, 2018, https://wwindea.org/blog/2019/02/25/ wind-power-capacity-worldwide-reaches-600-gw/

2. Strategic Development Plan of the Republic of Kazakhstan up to 2020. Official website of the President of Republic of Kazakhstan. http://www. akorda.kz/en/category/gosprogrammirazvitiya

3. Абдрахманов Р.С., Якимов Ф.В. Эффективность использования источников энергии ветра с ограниченными скоростями ветра. - Известия РАН. Энергия, 2010, № 5. – С. 54-57.

Репозиторий КарГУ

4. Karatayev M., Clarke M. A review of current energy systems and green energy potential in Kazakhstan. Re*newable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 55, March 2016, pp.491–504.

5. *Martin O. L. Hansen L.* Aerodynamics of Wind Turbines, London: Sterling,VA:Earthscan, 2008, 208 p.

6. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В. Ветроэнергетические установки в системах автономного электроснабжения. - Ставрополь. - 2008. - 152 с.

7. Sakipova S.E., Jakovics A. Sail - type wind turbine for autonomous power supply: possible use in Latvia. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2014, No. 6, pp.13-25.

8. Sakipova S.E., Jakovich A. Gendelis St. Kambarova Zh.T., Kussaiynov Ye.K. Development a sail type wind turbine for autonomous energy supply according climate conditions. // Eurasian Physical Technical Journal. – Karaganda, 2014, Vol.11, No.2 (22). – P.11-19.

9. Кусаиынов К., Сакипова С.Е., Камбарова Ж.Т., Танашева Н.К. и др. Ветротурбина для малых скоростей ветра Инновационный патент РК на изобретение № 30829. Опубл. 25.12.2015.

10. Сакипова С.Е., Танашева Н.К., Шрагер Э.Р., Дюсембаева А.Н. и др. Исследование аэро-динамических характеристик ветрогенератора на основе эффекта Магнуса. // Вестник КарГУ. Серия Физика, 2017, №3(87). - С. 60-64.

Репозиторий КарГУ

4–ШІ СЕКЦИЯ. *БЕЙСЫЗЫҚ ФИЗИКА ЖӘНЕ ЖАҢА ТЕХНОЛОГИЯЛАР КЕЛЕСІ БАҒЫТТАР БОЙЫНША: жылу энергетика және көлік; радиофизика, электроника және телекоммуникациялар; ақпараттық жүйелер; педагогика және инновациялық білім беру.*

SECTION 4: *NONLINEAR PHYSICS AND NEW TECHNOLOGIES OF: power system and transport; radio physics, electronics and telecommunications; information systems; pedagogy and innovative education*

СЕКЦИЯ 4. *НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЗИКА И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: теплоэнергетики и транспорта; радиофизики, электроники и телекоммуникаций; информационных систем; педагогики и инновационного образования.*

Репозиторий КарГУ

Секция 4.1 *Жылу энергетика және көлік; радиофизика, электроника және телекоммуникациялар; ақпараттық жүйелер.*
Nonlinear physics and new technologies of: power system and transport; radio physics, electronics and telecommunications; information system.
Теплоэнергетики и транспорта; радиофизики, электроники и телекоммуникаций; информационных систем; педагогики и инновационного образования.

Н.К.Бекалай, Ж.Болысова
Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, г.Алматы, Республика Казахстан (bekalaynuripa@mail.ru)

Комбинированная система отопления с солнечными коллекторами

Введение: На заре XX века человечество все больше добывало природных ресурсов, что масштабы сжигания их привели к «экологической катастрофе». Этот фактор заставляет задуматься мировое сообщество о том, что когда-нибудь запасы мировых ресурсов будут исчерпаны. В 2017 году в городе Астана прошло «EXPO», темой которой была добыча энергии за счет нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Сорок восемь стран продемонстрировали свои наработки на международной арене мировых достижений и прорывов в сфере энергетики. В Казахстане поднят вопрос развития альтернативной энергии, так называемой «Зеленой энергии». Республика Казахстан известна тем, что в недрах земли хранится практически вся таблица Менделеева. Казахстан богат нефтью и газом, тем не менее, стоит вопрос транспортировки этого топлива, что трудно осуществляемо и не экономично на данный момент времени. Следовательно, местные возобновляемые источники энергии играют огромную роль в развитии экономики страны. По оценкам экспертов потенциал возобновляемых источников энергии в десятки раз превосходит энергопотребление в стране.

Солнечные коллекторы – это установки способные максимально эффективно использовать энергию Солнца. К примеру, эффективность солнечных коллекторов равна 70÷85%, от поступающего солнечного излучения. Солнечный коллектор максимально улавливает поток солнечной энергии, и направляет теплоноситель на нужды человека.

Необходимость комбинирования системы отопления и солнечных коллекторов заключается в том, что в холодное время года интенсивность солнечной радиации уменьшается в связи с климатическими условиями. Но при этом процентная составляющая покрывания расходов солнечными коллекторами составляет порядка 30÷40%, что в целом позволяет экономить на расходуемом топливе. Это выгодно и экологически, т.к. количество выбросов сводится к минимуму. Комбинированный вид системы отопления необходим так же для непрерывности работы системы, для предохранения от непредвиденных аварийных ситуаций связанных, как и с котлами, так и с солнечными коллекторами. Иначе говоря, устанавливается «Дублер», который компенсирует недостающую нам энергию на нагрев теплоносителя. К данной системе часто добавляют и тепловой насос.

Расчет тепловых нагрузок для жилых объектов: Отопление помещения выполняет функцию поддержания внутренней теплоты с заданной температурой в помещении на определенном уровне. Эффективное поддержание заданной температуры включает в себя баланс между теплопотерями сооружения и тепловым притоком. Условия теплового баланса определяется по следующей формуле:

$$Q = Q_T + Q_{II} = Q_O + Q_{TB}, \quad (1)$$

Репозиторий КарГУ

где

Q – суммарные тепловые потери здания;

$Q_Т$ – теплопотери через наружные ограждения;

$Q_И$ – теплопотери инфильтрацией связанные с поступлением холодного воздуха, через не плотности наружных ограждений;

$Q_О$ – подвод теплоты в помещение через систему отопления;

$Q_{ТВ}$ – внутренние тепловыделения.

Теплопотери – это количество уходящего тепла наружу сквозь стены помещения. В основном теплопотери помещения зависят от потерь наружных ограждений. В некоторых случаях для удобства расчета теплопотерь используют следующую формулу:

$$Q = Q_T \cdot (1 + \mu), \quad \mu = {}^{Q_T}/_{Q_И} \tag{2}$$

где

μ – коэффициент инфильтрации, представляющий собой отношение теплопотерь теплопередачей через наружные ограждения к теплопотерям инфильтрацией.

В целях установки действующего температурного режима, не зависимо от типа сооружения и его предназначения, устанавливается температурный и гидравлический режим тепловой сети. Стоит отметить что установка происходит по наиболее невыгодным условиям, другими словами по режиму отопления помещений, где $Q_{ТВ}=0$, то есть с нулевыми тепловыделениями [1].

В основу расчета теплопотерь входят следующие оценки анализа условий:

- Климатические условия (наружную температуру воздуха);
- Географическое расположение;
- Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха ниже (равной) 8°С;
- Средняя температура;
- Расчетная температура внутреннего воздуха.

Градусосутки отопительного периода (ГСОП), °С·сут определяется по формуле:

$$ГСОП=(t_в- t_{от.пер})\cdot Z_{от.пер}, \ ^\circ С\cdot сут \tag{3}$$

$$ГСОП=(t_в- t_{от.пер})\cdot Z_{от.пер}= (23 - (-1,2))\cdot 167=4042\ ^\circ С\cdot сут.$$

Так, как значение ГОСП=4042°С·сут для Алматы лежит в промежутке от 4000÷6000, то наиболее верным и точным будет нахождение значений $R^{тр}_{о}$, м$^2\cdot{}^\circ$С/Вт по формуле линейной интерполяции [2]. Для быстрого и более точного решения был использован онлайн калькулятор линейной интерполяции. После чего, была составлена дополнительная таблица для конкретно взятого объекта, а именно для жилого помещения (табл. 1).

Расчет площади поверхности солнечного коллектора (СК): Годовой расход тепла на горячее водоснабжение (ГВС) определяется по формуле:

$$Q_{гвс}=n\cdot M\cdot C\cdot(t_{гв} – t_{хв}^{л})\cdot Z_л+n\cdot M\cdot C_р\cdot(t_{гв} – t_{хв}^{з})\cdot Z_з, \text{ Гкал/год}, \tag{4}$$

где

M – суточный расход горячей воды на 1-го жителя, 120 л/сут;

n – количество проживающих человек, 4 чел.;

C – удельная теплоемкость воды, 1 ккал/кг;

$t_{гв}$ – температура горячей воды, 65 ^{0}С;

$t_{хв.л.}$ – температура холодной воды в летний период, 15 ^{0}С;

$t_{хв.з.}$ – температура холодной воды в зимний период, 5 ^{0}С;

$z_л$ – число суток использования горячей воды в летний период, сут;

Репозиторий КарГУ

$z_з$ – число суток использования горячей воды в зимний период, сут;

Таблица 1. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Здания и помещения	Градусосут-ки Отопитель-ного периода, °С·сут	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R^{mp}_o, м^2·°С/Вт, не менее				
		Стен	Покрытий и перекрытий над проездами	Покрытий чердачных, над холодными подпольями и подвалами	Окон и болкон-ных дверей	Фона-рей
Жилые помещения	4042	2,81	4,22	3,71	0,453	0,351

Расчет показал, что годовой расход на ГВС для нашего объекта составляет 33,4 ГДж.

Для эффективного подбора количества солнечных коллекторов (плоских) производится расчет солнечных установок, рассчитанный на круглогодичную эксплуатацию [3]. Так как жилое помещение находится в Алматы (φ=44 с.ш.), доля покрытий тепловых нагрузок в течении года на ГВС и отопление составляет f=0,92. Тепловая нагрузка на ГВС в течение года составляет $Q_{гвс}$=33,4 ГДж, на отопление составляет $Q_{от}$=81,9 ГДж.

Стоит отметить, что все данные по строительным материалами и конструкциям, а так же климатических условий были взяты из СНиП РК 2.04-03-2002 «Строительная теплотехника» [4], СНиП РК 2.04-01-2001 «Строительная климатология» [5].

Находим годовое распределение излучения солнечной энергии на горизонтальную поверхность: $E_л$=5,23 ГДж/м. Коэффициент пересчета солнечной радиации равен R = 1.1. Следовательно, годовой поток солнечной энергии на поверхность солнечного коллектора:

$E_к=E_л \cdot R=5,23 \cdot 1,1=5,7$ ГДж/м^2·сут.

Площадь поверхности СК: на ГВС: $A=\theta \cdot Q_{гвс}/E_к=1,9 \cdot 33,5/5,7=11$ м^2,

на отопление: $A=\theta \cdot Q_{от.гвс}/E_к=1,9 \cdot 70,2/5,7=23$ м^2.

Отметим, что $Q_{от}$=70,2 ГДж составляет лишь 30% от системы отопления.

В отношении покрытий тепловых нагрузок, доля покрытий солнечными коллекторами ГВС составляет 100%, а доля покрытия отопления составляет 35%. Итого, суммарная площадь коллекторов A=34м^2.

Разработка принципиальной схемы с учетом основного и вспомогательного оборудования, запорной арматуры: Процесс работы котельной всегда начинается с подготовки воды, т. к. вода является теплоносителем. Данный процесс предназначен для очистки воды от веществ, способные вызвать коррозию труб, которая в свою очередь снижает эксплуатационные показатели не только трубопроводов, но и котлового агрегата в целом. Так же в процессе химической водоочистки, стоит вопрос, касающийся антибактериальной очистки воды, так как котельная предназначена для ГВС жилого помещения. Одним из вариантов очистки воды является система «DUPLEX (Дуплекс)», включающая в себя процесс обессоливания, обезжелезивания воды, уничтожение бактерий и ее умягчения. Дополнительно, на усмотрения жильцов, так же устанавливается ультрафиолетовая очистка воды. Многие современные компании в целях достижения наилучшего качества ГВ устанавливают очистительные приборы и баки ГВС. Прежде чем вода проходит через оборудование хим.очистки, всегда устанавливается сетчатый фильтр,

Репозиторий КарГУ

который в свою очередь улавливает крупные частицы (песок и т.д), проникающие вместе с грунтовой водой.

Разработанная принципиальная схема системы комбинированного отопления и горячего водоснабжения с учетом основного и вспомогательного оборудования, запорной арматуры приведена на рисунке 1.

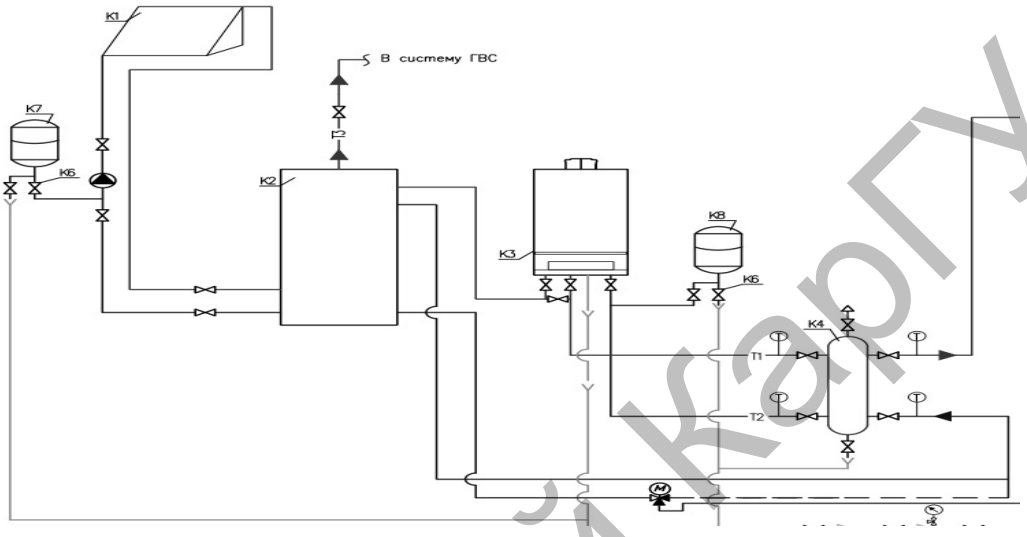


Рисунок 1. Основное и вспомогательное оборудование системы комбинированного отопления и горячего водоснабжения, контуры подачи и обратной линии

На рисунке 1 под позициями К1, К2, К3, К4, К7, К8 находится основное и вспомогательное оборудование водогрейной котельной: К1 – солнечный коллектор; К2 – бак-аккумулятор; К3 – газовый котел; К4 – гидравлическая стрелка; К7, К8 – расширительные мембранные баки.

Подача воды через распределительный коллектор обратной линии запитывает котел и бак-аккумулятор. Вода с бака аккумулятора за счет насоса рециркуляции пропускает воду проточным способом по солнечным коллекторам. В данной схеме бак-аккумулятор является распределителем между котлом и солнечными коллекторами. На схеме не указан процесс рециркуляции ГВС, так как бак-аккумулятор поддерживает одну температуру и не дает остыть воде в трубопроводе. Процесс подачи теплоносителя от солнечных коллекторов до распределительного коллектора протекает через котел, как оговаривалось ранее, в данном жилом помещении в роли дублера является именно газовый котел. Схема отображает прямую взаимосвязь СК и газового котла. На системе СК и котлового агрегата установлены расширительные мембранные баки. Мембранный расширительный бак устанавливается в целях компенсации критических перепадов объема воды, возникающие в связи с нагревом. Каждое оборудование имеет дренажный слив отдельными трубопроводами через запорный клапан. Гидравлическая стрелка устанавливается с целью регулирования давления и температуры, тем самым обеспечивает безопасность и постоянную стабильную работу в системе. Установка гидравлической стрелки необходима в случаях, если система отопления имеет от двух и более контуров. Необходимо акцентировать внимание на то, что термометры установлены до и после гидравлической стрелки. На самой гидравлической стрелке установлено два сбросника, верхний сбросник предназначен для воздуха, нижний для скопившейся грязи и ржавчины в трубопроводах.

Теплоноситель распределяется по контурам за счет коллекторов подачи и обратной линии. Коллектор подачи является главным аспектом разделяющий теплоноситель от источников потребления. На коллекторе устанавливаются дополнительно измерительные

Репозиторий КарГУ

приборы (термометр, манометр). На схеме указаны два основных контура: контур системы отопления и контур системы теплых полов.

Контур системы отопления включает в себя циркуляционный насос, манометр, сетчатый фильтр, обратный клапан и термометр. Основной целью контура системы отопления является доведения теплоносителя до источников потребления (радиаторы, тепловые завесы и конвектора).

Контур системы теплых полов также включает в себя циркуляционный насос, манометр, сетчатый фильтр, обратный клапан и термометр. В целях безопасной работы системы устанавливается дополнительный циркуляционный насос на байпасной линии, так же между линией подачи и обратки устанавливается трехходовой кран. Стоит отметить, что для теплых полов устанавливается так же дополнительная распределительная гребенка (коллектор).

После того как теплоноситель прошел через источники потребления тепла, не зависимо от двухтрубного или однотрубного систем отопления, теплоноситель попадает на коллектор обратной линии. Где происходит процесс смешивания с питательной водой (от необходимости) и поступает снова на котел. На коллекторе обратной линии предусмотрен расширительный мембранный бак, помимо него установлены измерительные приборы такие как: манометр и термометр. Для того чтобы установить манометр необходимо учесть следующий порядок: форсунка, трехходовой кран, трубка пито, манометр. Данная последовательность защищает манометр от гидравлического удара.

Заключение: Подводя итоги, нужно отметить, что использование солнечных коллекторов в системе отопления и ГВС выгодно в плане экологии и экономичности системы. Основной источник энергии (Солнце) имеет безграничный потенциал, что указывает на перспективу развития данной отрасли энергетики.

Литературы:

1. Солнечная энергетика: учеб. Пособие для ВУЗОВ / В.И. Илларионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Малинин; под ред. В.И. Виссарионова. – М.: МЭИ, 2008. – 207 с.

2. Батухтин С.Г. Методика оптимизации состава оборудования в комбинированных системах теплоснабжения / М.С. Басс, А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин // Промышленная энергетика. – 2012. - № 10. С. 49-52.

3. Сибикин Ю.Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин .- 2-е изд., стер. — Москва : КноРус, 2012 .- 228 с.

4. СНиП РК 2.04-03-2002 «Строительная теплотехника»

5. СНиП РК 2.04-01-2010 «Строительная климатология»

А.С. Кенжебек[1], А.Г. Дюсембина[1], А.Г. Дюсембин[1]
[1]*Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан*
aksaulek@mail.ru, aiko_d.g@mail.ru,dyussembin_ayan@mail.ru

Электр энергетикада магнитті гидродинамикалық генераторды пайдаланудың тиімділігі

Бұл мақалада ионизациялық кинетиканың әзірленген моделін пайдалана отырып алынған нәтижелер сипатталады. Оң бағананың контракциясын тесттік үлгілеудің нәтижелері алынды, газ қабатының алғашқы әлсіз иондалуын құру сәтінен плазмалық қабатты инициациялау процесімен МГД-генератор каналындағы ағысты модельдеу.Жұмыстың ғылыми жаңалығы-ионизациялық-рекомбинациялық процестер кинетикасының жаңа моделін жасау.Көлденең магнит өрісінде қозғалатын біртекті емес газ плазмалық ағындағы процестер сипатталады. Оның көмегімен алынған МГД-генератор арнасындағы процестерді сандық модельдеу нәтижелері көрсетіледі.

Репозиторий КарГУ

XXI ғасырдағы өркениет тұрақтылығының бірі энергетикалық саланы дамыту болып табылады. Бұл дамудың маңызды факторы электр энергиясын өндірудің айтарлықтай өсуі. Электр энергиясын өндірудің негізгі бағыттарының бірі – МГД-генераторын пайдалану. МГД-генераторының ерекшелігі – жұмыс сұйықтығының температурасында жұмыс істеу мүмкіндігі. Энергияны түрлендірудің тиімділігін жоғарылату мүмкіндігін тудыратын бұл жағдай МГД-генераторларына бастапқы қызығушылықты тудырды [1].

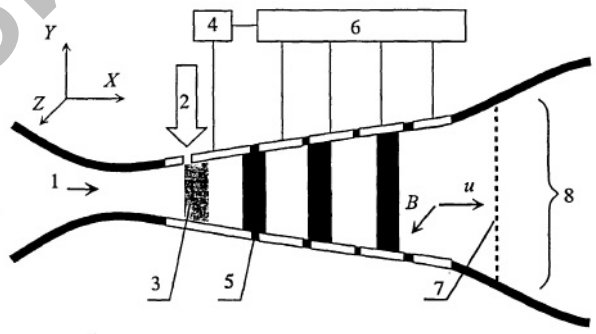
Мақаланың негізінде жүргізілген жұмыстың мақсаты -МГД-генераторының магниттік өрісіндегі жұмысшы дене ретінде төмен температуралы плазманы алу, оның негізінде генерациялау процесінің тиімділігін интегралдық параметрлерін анықтайтын МГД процестерін есептеу.

МГД-генератордағы сандық процестердің алынған нәтижелері ұқсас генераторлардың эксперименттік модельдерін жобалау үшін пайдаланылуы мүмкін. Біртекті емес плазма қабаттарымен біртексіз газ ағыны қолданылатын МГД-генераторының принципиалды схемасы 1 суретте көрсетілген. Схемада осы жұмыста қабылданған координаталық жүйесі келтірілген: *OX* өсі – газ ағынының бағыты бойынша бағытталған, *OY* –магнит өрісімен газ ағынында туындаған ЭМК бағытына қарсы, *OZ* –магнит өрісінің бағыты бойынша. Алдын-ала зерттеудің негізгі міндеті ионизация-рекомбинация процестерінің әсерінен плазма қабатының Біртекті емес ионизациясының эволюциясын және бірнеше плазмалық қабаттардың ағынының тежелуінің әсерінен туындайтын ағынның сипатын ескеру болып табылады.

Зерттеу біртекті емес плазма қабатына тән жағдайларда ионизация-рекомбинация процестерін және электронды тасымалдау процестерін егжей-тегжейлі қарастыруды қамтиды [2,3].

Модельдеу нәтижелері: Бұрын талқыланған МГД-қондырғыға жалпы талаптарға сәйкес негізгі параметрлер ретінде келесілер таңдалды:

МГД-арнасының ұзындығы	2 м
Тежеу қысым	10 атм
Тежеу температурасы	2500 K
Максималды магнит өрісі	5 Тл
Арна ашылу дәрежесі	5



Сурет 1. Мөлшерленбейтін плазма қабаттары бар МГД-генераторының сұлбасы:
1 – инертті газ ағыны, 2 – импульстік электронды пучка, 3 – нашар иондалған плазма буыны, 4 – импульстік разрядты электр қуаты, 5 – плазмалық қабат, 6 – жүктеме жүйесі, 7 – соққы толқыны, 8 – диффузор.

Сонымен қатар жоғары иондалған қабаттың импульстік бастамасы үшін шарттар бір-біріне ұқсас емес параметрлер ретінде қабылданды. Бастамашылық процесінің сандық модельдеуі нәтижесінде алынған жоғары иондалған қабаттағы электрондардың

Репозиторий КарГУ

концентрациясы мен газ температурасының тарату плазма қабаттарының бастапқы шарттары ретінде алынды [4].

Қондырғының жұмыс режимін анықтайтын айнымалы параметрлер - арна кірісінде Маха саны, бастапқы қозудың басталу актілері арасындағы кезең, плазмалық қабаттардың басталу бөлігіндегі өрісті қолдаушы кернеулік және магниттік өріс индукциясының таралуы және МГД-арнадағы жүктеме коэффициенті арасындағы кезең. Төменде келтірілген нәтижелердің көпшілігі үшін кірісте Маха саны 1,5, плазмалық қабаттардың басталу жиілігі 4 мс болды.

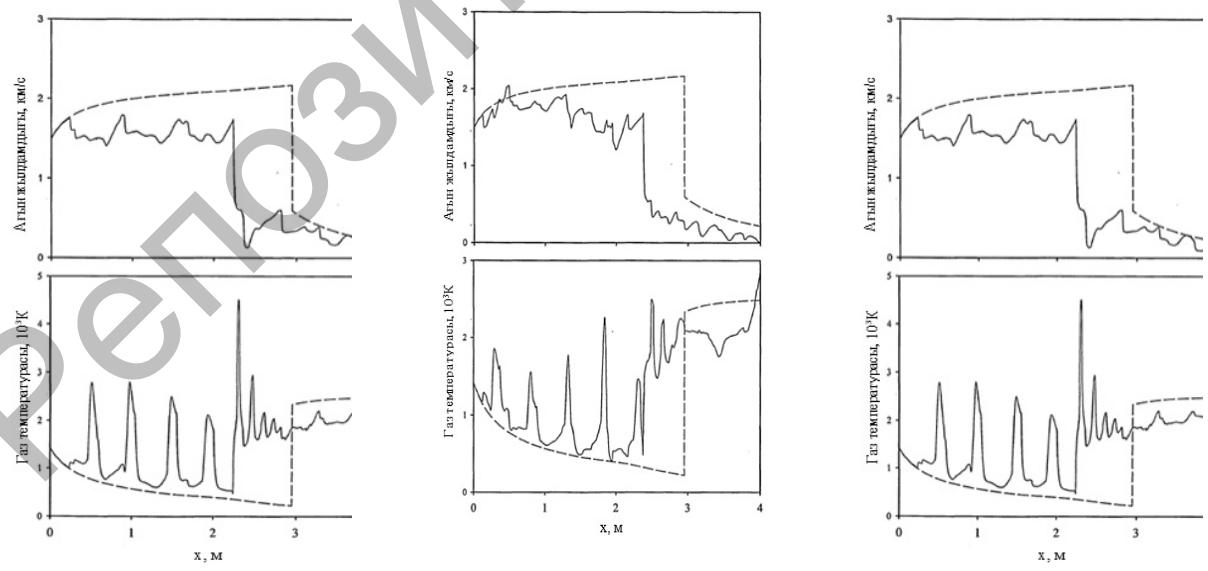
Төменде МГД-қондырғының бес режимі үшін есептеу нәтижелерін келтіреміз. Режимдердің сипаттамалары және есептеулердің нәтижелері 1 кестеде және 2-3 суреттерде келтірілген.

Кесте 1. МГД процесінің режимінің параметрлері және тиімділік көрсеткіштері

№	Сәйкес электр өрісі.	Жүктеме коэффициенті	Қосымша жағдайлар	η_N
1	3.3 кВ/м	0.8	-	0.2
2	3.3 кВ/м	0.75	Плазма қабаттарыныңбасталуперіоды 0.3мс	0.31
3	6.2 кВ/м	0.82	Кірісіндегі Маха саны 1.2	0.42

Бұл нәтижелер, тұтастай алғанда, МГД-арнасындағы процестердің жоғарыда келтірілген режимнің айнымалы параметрлеріне тәуелділігін білдіреді.

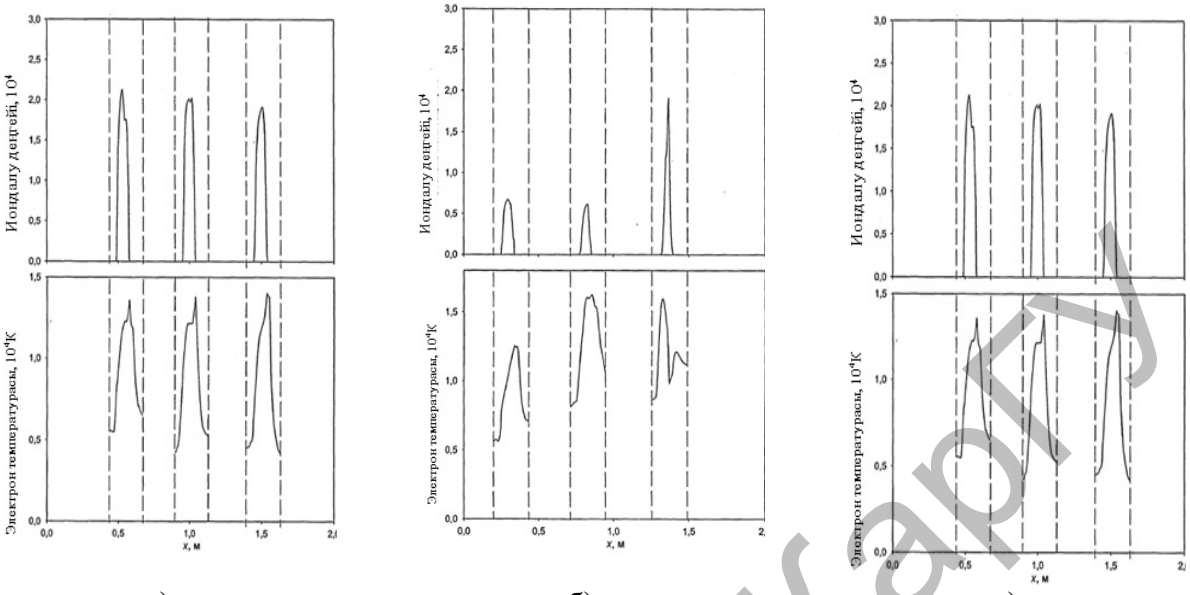
1 және 2 режимдерінде энтальпия түрлендіру дәрежесі сәйкесінше 0,2 және 0,31 мәндеріне жетеді. 2 режимдегі конверсияның жоғары дәрежесі қабаттардың жоғары басталу жиілігіне және жүктеме коэффициентінің азаюына байланысты, бұл плазмалық қабаттардағы ағым ұлғаюына алып келді. 3-режимде қол жеткізілген энтальпия түрлендіру дәрежесін одан әрі арттыру үшін плазмалық қабаттардағы газдың температурасын 5000-6000К дейін арттыру қажет болды.



а) б) в)

Сурет 2. (а, б, в) –1 кестеде көрсетілген әр түрлі параметрле сәйкес тұрақты мерзімдегі ағын жылдамдығы мен температурасының лездік таралуы (тұтас сызық) және өзара МГД байланысы жоқ ағынның бастапқы таралуы (үзік сызық)

Репозиторий КарГУ



а) б) в)

Сурет 3. (а, б, в) – 1 кестеде көрсетілген әр түрлі параметрле сәйкес тұрақты мерзімдегі иондалу деңгейі мен электрондардың температурасы (тұтас сызық) Үзік сызықтар n_e теңдеуінің есептелу аумағының лездік жағдайын білдіреді

Бұл 3000-4000К жеткілікті болатын «мұздатылған иондалу» режимін сақтау қажеттілігінен емес, плазмалық қабаттардың электр өткізгіштігін одан әрі арттыру қажеттілігіне байланысты [5]. Бұл температураның жоғарылауы нәтижесінде плазмалық қабаттардағы газ тығыздығын азайту есебінен қол жеткізіледі. Бұл режимде МГД-өзара әрекеттестігінің күшейген қарқындылығы арнадағы ағынмен тасымалданатын әлсіз соққы толқындарының пайда болуына әкеледі. Соққы толқындарының қарқындылығын арнаның кірісіндегі Маха санын азайту арқылы азайтуға болады, соның салдарынан ағымға кеңеюші қабырғалармен жеделдету әсері артты. 3 режимде 0,41-ге тең энтальпия түрлендіру дәрежесі қол жеткізілді. Сонымен қатар, плазма қабаттарын құруға уақыт бойынша орташа алғанда энтальпия кіріс ағымынан шамамен 0,08 құрайтын энергияны тұтынады; жүктемеге орташа алғанда энтальпия кіріс ағымынан 0.49 бөлінеді [6].

Ағын МГД-арнасында дыбыстыққа дейінгіге өтпейтін диффузияның шығысындағы максималды қысым шамасы 1,65 атм құрады. Тиісінше,3 режимнің адиабаталық тиімділігі 0,79 болды. Бұл режимнің сипаттамалары ғарыштық энергия қондырғысында энергияны МГД-түрлендірудің тиімділігіне қойылатын талаптарды қанағаттандырады.

Әдебиеттер:

1. Славин, В.С., Данилов, В.В., Краев, М.В. Энергодвигательная установка для пилотируемых межпланетных полетов. // Полет, 2001, N. 6, с. 9-17.

2. Бреев В.В., Губарев А.В., Панченко В.П. Сверхзвуковые МГД-генераторы. — М.: Энергоатомиздат, 1988.

3. Догадаев Р. В., Королева Л. А., Панченко В. П. и др. Экспериментальные и численные исследования импульсного твердотопливного диагонального МГД-генератора типа "Памир-06"//12 Инт. Конф. о МГД-производстве электроэнергии, С. 61-70, Иокогама, 1996.4. Р.В. Васильева, А.Л. Генкин, В.Л. Горячев, А.В. Ерофеев. Низкотемпературная плазма инертного газа с неравновесной ионизацией и МГД-генераторы. 1991.

Репозиторий КарГУ

5. Капителли М., Ciliberto R., Claudine G., Longo S., Paniccia F. связь кинетики возбужденного состояния и уравнения Больцмана в неравновесной плазме. // Японский журнал прикладной физики, т. 33, Часть 1, выпуск № 7Б, стр. 4258-4265, 1994.

6. Matsumura S., Teii S. влияние молекулярных ионов на параметры плазмы в среде давления редкого газа радиочастотного разряда положительного столба. // Журнал прикладной физики, V. 72, 7, C. 2632-2637, 1992.

Рысбиева А.К, Башкеев К.У., Данлыбаева А.К.
әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, жылуфизика және техникалық физика кафедрасы, Алматы қаласы, Қазақстан,

Жылу электр орталықтарынан бөлінетін ауаны ластауша зиянды қалдықтарды азайту жолдарын талдау

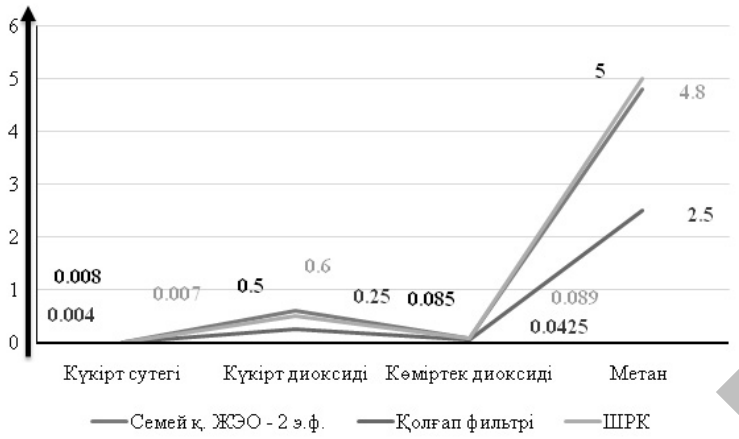
Нормативті талапқа сәйкес: көміртегі оксиді- 5 мг/м^3; азот диоксиді NO_2 – 0,085 мг/м^3; күкірт диоксиді – 0,5 мг/м^3; күкіртсутегі – 0,008 мг/м^3. Өлшеу нәтижелерінің және әдістерінің дәлдігі стандартты өлшеу әдісінің қайталанушылығының және жаңғыртушылығының негізгі анықтау әдісі ҚР СТ 2.269-2012 стандартын қолдану арқылы жүргізілді [1]. Ең жоғары SO_2 концентрациясыЖЭО аумағында – 0,6 мг/м^3; NO_2 концентрациясыЖЭО аумағында - 0,089 мг/м^3; SO_2 , NO_2 концентрациялары нормалық талаптағы шекті аумақтан асып тұр. Теориялық мәліметтерге сүйенсек «қаражыра көмірін» жаққанда бұндай жағдайлар байқалмауы керек болатын. Осындай тіркеу жұмыстары ЖЭО мамандарымен үнемі жүргізіліп тұрады. Сондай ауытқу тек бір рет, жел жоқ кезде, отқа көмір салынғаннан соң 5 минуттың ішінде жүргізілген тіркеу нәтижесінде алынды. Ең жақын үй ауласы H_2S- 0,004 мг/м^3 (ШРК-0,008 мг/м^3), SO_2 - 0,005 мг/м^3 (ШРК-0,5 мг/м^3), NO_2- 0,023 мг/м^3 (ШРК-0,085 мг/м^3), CO- 2,9 мг/м^3 (ШРК-5,0 мг/м^3). Саябақ H_2S- 0,001 мг/м^3 (ШРК-0,008 мг/м^3), SO_2 - 0,019 мг/м^3 (ШРК-0,5 мг/м^3), NO_2- 0,027 мг/м^3 (ШРК-0,085 мг/м^3), CO - 2,1мг/м^3 (ШРК-5,0 мг/м^3). Жақын орналасқан мектеп ауласында H_2S- 0,005 мг/м^3 (ШРК-0,008 мг/м^3), SO_2 - 0,2 мг/м^3 (ШРК-0,5 мг/м^3), NO_2- 0,045 мг/м^3 (ШРК-0,085 мг/м^3), CO - 2,7 мг/м^3 (ШРК-5,0 мг/м^3). Көріп отырғанымыздый шекті рұқсат мәннен тек ЖЭО аумағында ауытқу болды.

Мектеп пен ЖЭО ең жақын орналасқан аумақта шекті мәннен аспаса да H_2S, SO_2, NO_2, CO мөлшерлерін азайтқан жөн болар еді. Сол себептен «Қолғап фильтр» қолдану мүмкіндіктері қарастырылды. Ауа атмосферасын тазартуға қойылған талаптардың өте жоғары деңгейде болуы мақсатын қанағаттандыру үшін әлемде және Қазақстанда «қолғап» (мата) фильтрлер қолданыс табуда. Қолғап фильтрлердің қолданылуы тазартылған газдағы соңғы шаң концентрациясы 50 мг/м^3 төмен деңгейге дейін апарады. Осындай фильтрлердің болашақта қолданылу мүмкіндігі жоғары. Қолғап фильтрлерді Қазақстанда металлургиялық өндірісте қолданып жүр.

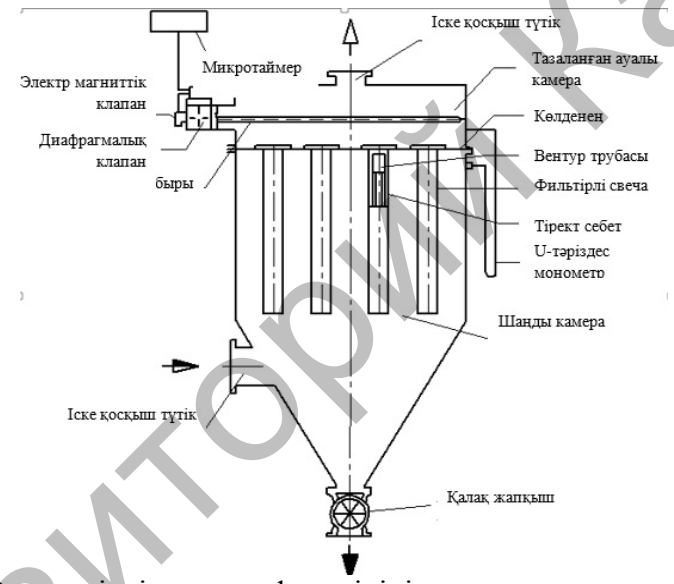
Қолғап фильтрімен салыстыру 1 суретте және өнеркәсіптік қолғап фильтірінің конструкциясының сызбасы 2 суреттерде көрсетілді. Ауаны ластаушы зиянды қалдықтардың шығуын төмендету үшін «қолғап фильтрі» қолданылуы. Түтін газындағы рұқсат етілетін салмақтық концентрация тазартудан кейін 300 мг/м^3 -тан 200 мг/м^3 азаяды. Жалпы европалық нормаға сай – 50 мг/м^3 болуы керек [2].

Дымқыл тазалауды салыстыру 3 суретте көрсетілді. Ауаны ластаушы зиянды қалдықтардың шығуын төмендету үшін «дымқыл тазалау» қолданылуы. Түтін газындағы рұқсат етілетін салмақтық концентрация тазартудан кейін 300 мг/м^3 -тан 150 мг/м^3 азаяды.

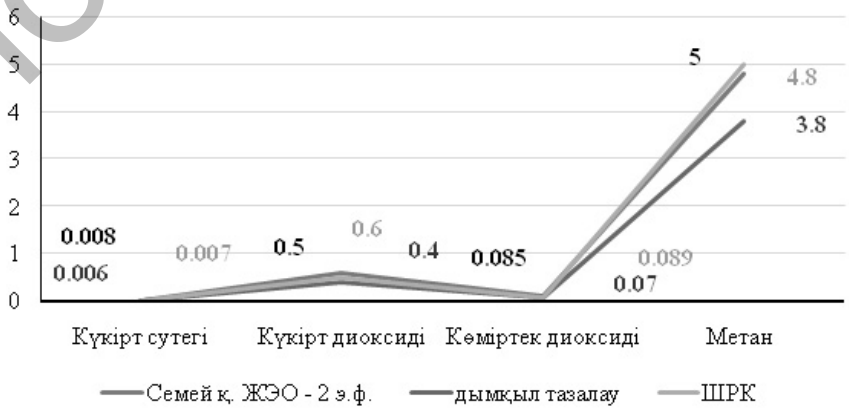
Репозиторий КарГУ



Сурет 1. Қолғап фильтрімен салыстыру

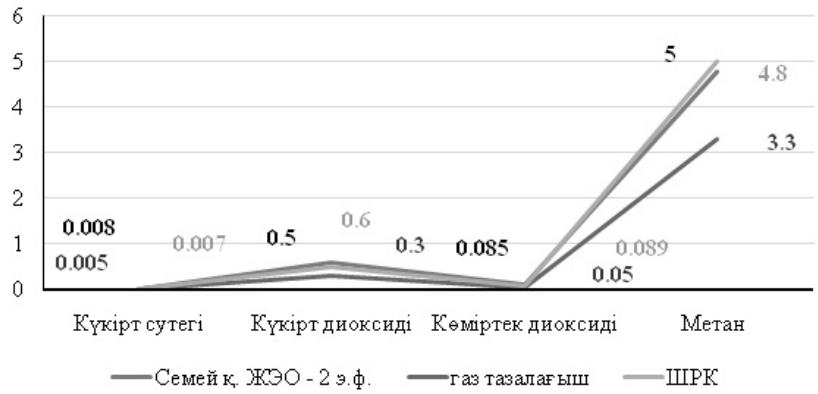


Сурет 2. Өнеркәсіптік қолғап фильтірінің конструкциясының сызбасы



Сурет 3. Дымқыл тазалау

Репозиторий КарГУ



Сурет 4. Газ тазалау

Газ тазалағышты салыстыру 4 суретте көрсетілді. Ауаны ластаушы зиянды қалдықтардың шығуын төмендету үшін «газ тазалағыш» құрылғыларын қолдануда түтін газындағы рұқсат етілетін салмақтық концентрация тазартудан кейін 300 мг/м^3 -тан 220 мг/м^3 азаяды. Қазіргі кезде Қазақстан Республикасындағы жылуэнергетиканың қарқынды даму салаларында жылулық және электрлік энергияны өндіру мен оларды үздіксіз қолдану үшін қондырғылардың жылулық сүлбелері мен жаңа түрлерін бейнелеу, сонымен қатар жабдықтардың таңдалуы мен электр станцияларының принципиалды сүлбелерін есептеу әдістерін қарастыру маңызды болып табылады. Қазақстан Республикасында электр энергиясының 85% жылу электр орталықтарында өндіріледі (ЖЭО) [3, 4]. Олардың негізгі бөлігі қазандықты қондырғылар болып табылады, бұлар турбогенератор үшін бу шығарады. Жылу электр станцияларының негізгі ерекшеліктерінің бірі - үнемділік болып табылады. Егер бу турбиналарының шығыны көп болса, онда жылу электр станцияларындағы жұмыстық процестердің тәртіптерін орнату күрделенеді.

Әдебиеттер:

1. Большаков В.Н. Экология / В.Н. Большаков, В.В. Качак, В.Г. Коберниченко и др. / Под. ред. Г.В. Тягумова, Ю.Г. Ярошенко. – М.: Логос, 2005. – 504 с.

2. Колумбаева С. Ж., Білдебаева Р. М., Шәріпова М. Ә.Экологияжәнетұрақты даму: оқукұралы.- Алматы: Қазақуниверситеті 2012.-130 б.

3. Жакатаева Б. Т. Антропогенные составляющие атмосферного загрязнения в Центральном Казахстане // Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию Е.А.Букетова, 23-24 марта. Т. 3. — Караганда, 2005.- 265 с.

4. Орлов Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие/Орлов Д.С, Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. М.: Высшая школа, 2002. - 506 с.

Ұ.П. Сүйінжанова, Э.Қ. Қожабекова, Ф.Б. Серікбаева, Г.К. Медетбекова
ОҚМПУ, Шымкент, Қазақстан (only_kh@mail.ru)

Жану камерасына бүркілген сұйық отынның жануы туралы есептің физикалық моделі

Энергетикада қолданылатын отынды әр түрлі температураларға сәйкес мұнайды өңдеу барысында алады. Алынатын отындардың ішінде карбюратор отынының маңызы ерекше, өйткені, жану жылуы жоғары, булану қасиеті жақсы болады және детонацияға тұрақты. Отынның негізгі көрсеткіші ретінде октан санын айтамыз. Бұл сан эталондық отын құрамындағы октанның мөлшерін көрсетеді. Эталондық отынды октаннан C_8H_8 жасайды, оның октан саны 1 немесе 100-ге тең. Сонымен қатар кейде эталондық отын ретінде қалыпты

Репозиторий КарГУ

гептан да C_7H_{16} қолданылады. Осы екі құраушылардың пайыздық қатынасы нақты отыны бар тәжірибелік қозғалтқыштарда сынақтан өтеді.

Жұмысшы қоспаның жоғарғы қысымдарында дизельдік отын қолданылады. Отын жоғары қысым кезіндегі жану камерасының ішіндегі жоғары температураның есебінен тұтанады. Осының салдарынан дизельдік қозғалтқыштардың бір ерекшелігі отынды тұтату жүйесінің жоқтығы деп айтуға болады. Цетан саны дизельдік отынның негізгі сипаттамасы болып табылады. Ол эталондық отын қоспасындағы цетанның пайыздық мөлшерін білдіреді. Дизельдік отын компоненті ретінде додекан $C_{12}H_{26}$, ал цетан ретінде гексадекан $C_{16}H_{34}$ қолданылады.[1]

Көмірсутектерді отын ретінде қолданудағы басты химиялық қасиетіне жану реакциясын жатқызуға болады. Оттегінің мөлшері жетпеген жағдайда көмірқышқыл газының орнына улы газ немесе күйе түзіледі. Жалпы жағдайда кез келген көмірсутегі C_xH_y үшін жану реакциясы теңдеуін мына түрде жазуға болады:

$$C_xH_y + (x + 0,25y)O_2 \rightarrow xCO_2 + 0,5yH_2O.$$

Бұл жұмыста екі сұйық отын түрлері қолданылды: октан (C_8H_{18}) және синтин $(C_{10}H_{16})$. Осы екі отын түрі үшін химиялық реакция теңдеулері төменде келтірілген:

$$2C_8H_{18} + 25O_2 = 16CO_2 + 18H_2O,$$
$$2C_{10}H_{16} + 28O_2 = 20CO_2 + 16H_2O.$$

Октан – алкандар класына жататын органикалық қосылыс. Ерекше иісі бар түссіз сұйық. Изооктан және өзге изомерлерімен қоса мұнайдың, тікелей қуалау арқылы алынатын бензиннің, сонымен қатар көп мөлшерде синтетикалық бензиннің құрамында кездеседі. Өнеркәсіпте октанды ректификация арқылы алады, ал содан кейін оны молекулалық елеуіштің көмегімен тазалайды. Сутегі болған кезде октан ароматты көмірсутектерге айналады. Бұл дегидроциклдеу реакциясы деп аталады. Ол каталитикалық риформинг процестеріндегі негізгі кезең болып саналады. Риформингтің негізгі мақсаты – бензиндердің октан санын арттыру, ароматты көмірсутектерді алу [2].

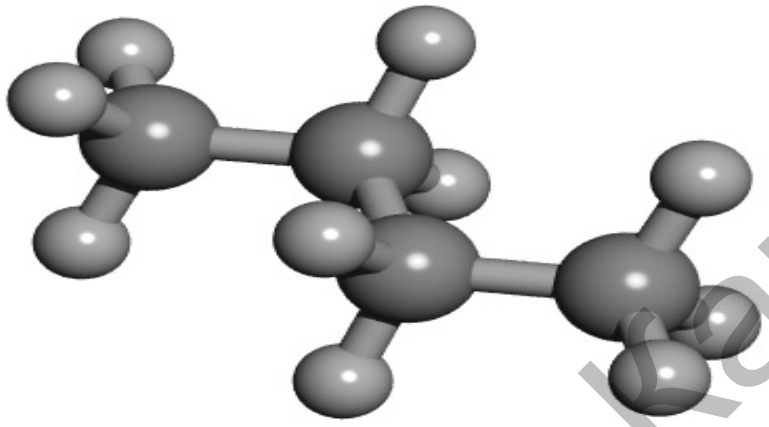
Кесте 1. Октанның физикалық және термиялық қасиеттері

Атауы	Октан
Химиялық формуласы	C_8H_{18}
Молярлық массасы	114,2285 г/моль
Заттың тығыздығы	0,703 г/см^3
Балқу температурасы	57 ^{0}C (330,15 K)
Қайнау температурасы	125,52 ^{0}C (398,67 K)
Ұшқын температурасы	74 ^{0}C (347,15 K)

Синтин – КСРО-да жасалған синтетикалық жоғары энергетикалық көмірсутектік ракеталық отын. Синтинді қолдану керосин қолдануына ұқсас. Химиялық формуласы – 1-метил-1,2- дициклопропилциклопропан ($C_{10}H_{16}$). Синтиннің қайнау температурасы 158 ^{0}C тең. Синтин қиын алу технологиясымен ерекшеленеді, сондықтан қымбат және кең ауқымда қолданылмайды. Жалғыз қолданылатын түрінің бірі – пайдалы жүктемені көбейту үшін

Репозиторий КарГУ

«ДМ» үдеткіш блогында «синтиндік» модификацияда пайдалану. Сондай-ақ синтин «Союз-У2» тасығыш-зымыранында және қанатты зымырандарда пайдаланылған. Ақыры синтин көпретті пайдалынатын «Буран» ғарыштық зымыранының біріккен қозғалтқыш қондырғысында қолданылды. Синтин басқа жоғары тиімді көмірсутектік отындарға қарағанда, химиялық тұрақты және ұзақ уақытқа дейін сақтала алады. Өте сұйық [3].



Сурет 1. Октанның молекулалық құрамы

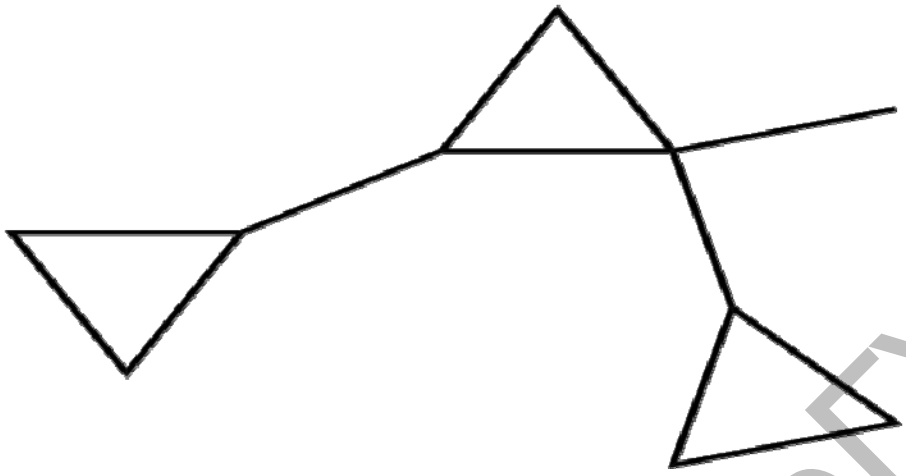
2013 жылдың 31 тамызы күні Байқоңыр ғарыш аймағынан «Зенит» тасығыш зымыранында «Амос-4» байланыс спутнигі ұшырылған болатын. «ДМ-SLБ» үдеткіш блогы осы синтин отынымен жанармайланған болатын [4].

Кесте 2. Синтиннің физикалық және термиялық қасиеттері

Атауы	Синтин
Химиялық формуласы	$C_{10}H_{16}$
Молярлық массасы	136,23г/моль
Заттың тығыздығы	0,851г/см^3
Энтальпия пайда болуы	133 кДж/моль
Қайнау температурасы	158^{0}С
Улылығы	Улы емес

Жану камерасында өтетін процестерді ұйымдастыру шарттары. Сұйық отынның жану процесі камераның төменгі бөлігінде центрде орналасқан форсункасы бар модельдік жану камерасында жүзеге асырылады (3 сурет). Камераның пішіні цилиндр формалы, биіктігі 15 см, радиусы 2 см. Жану камерасының жалпы түрі 11 суретте бейнеленген. Бақылаушы ұяшықтардың саны – 600. Жану камерасының қабырғаларының температурасы 353 К құрайды. Сұйық отын 900 К температурада бүркіледі. Бүркілетін тамшылардың бастапқы радиусы 3 мкм. Инжектор соплосының ауданы $2\cdot10^{-4}\,см^2$ тең. Тамшыларды бүрку бұрышы 10^0. Отын 4 мс жанып кетеді. Жану камерасындағы қысым $4\cdot10^6$ Па тең.

Репозиторий КарГУ

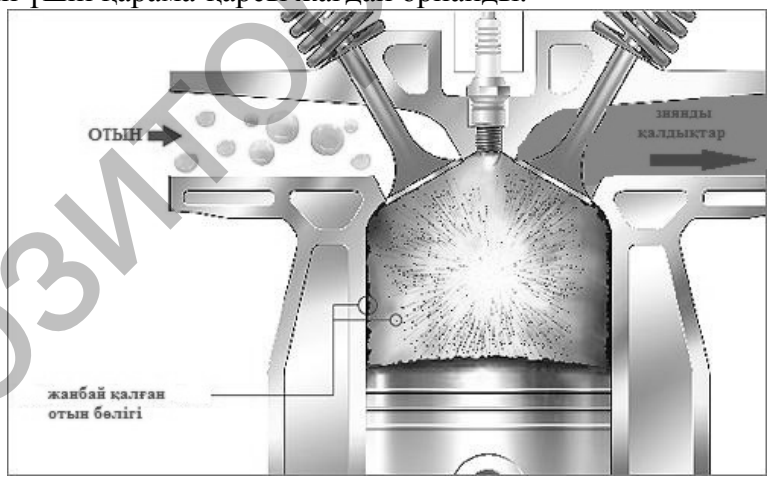


Сурет 2. Синтиннің химиялық құрылымы

Жұмыс барысында октан мен синтин үшін әр түрлі бастапқы шарттардағы жану процестері сандық зерттелінді. Камер ішіне сұйық отын әр түрлі қысым мәндерінде бүркіліп отырды. Қысым 80, 100, 120, 140 Бар мәндеріндегі сұйық отынның жану динамикасын зерттеу жүргіздік. Сұйық отынның өзі тұрақты 300 К температурада бүркіледі. Осылайша тиімді жану режимдері анықталды.

Бұл модель еркін ағыстар үшін кеңінен қолданылады. Алайда, қабырғаға жақын ағыстарды нашар бейнелейді.

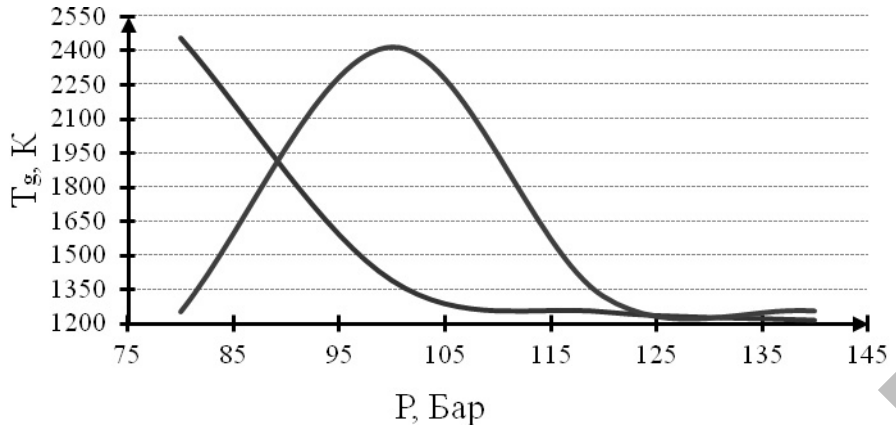
Төмендегі 4 суретте жану камерасында жану процесі барысында орнайтын максимал температураның қысымға қатысты өзгерісі бейнеленген. Қысым артқан кезде жану камерасында қос отын үшін қарама-қарсы жағдай орнайды.



Сурет 3. Жану процесін ұйымдастыру шарттары

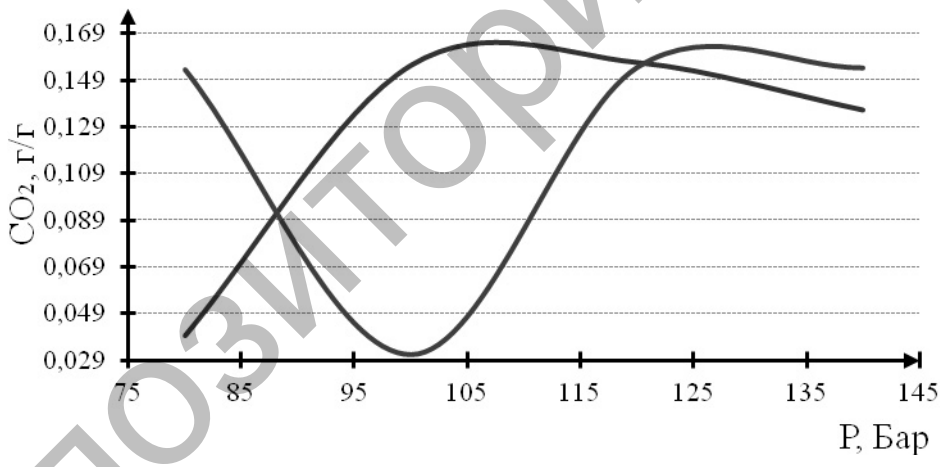
Синтиннің жануы барысында жану камерасындағы максимал температура мәні қысым артқан сайын кеми түседі, Р=140 бар қысымда температураның минимумы 1214,94 К байқалады. Ал октан үшін алғашқы екі қысымда температура артатын болса, керісінше соңғы қысым мәндерінде кемиді. Октанның жануы кезіндегі максимал температура мәні 100 бар қысымда 2418,31 К, ал синтин үшін 80 бар қысымда 2459,27 К максимал мәніне жетеді.[5]

Репозиторий КарГУ



Сурет 4. Әр түрлі қысым мәндеріндегі жану камерасындағы максимал температураның таралуы: көк сызық – синтин, қызыл сызық - октан

5 суретте жану камерасында сұйық отынның жануы нәтижесінде бөлінетін жану өнімдерінің бірі – көмірқышқыл газының CO_2 концентрациясының қысымға қатысты таралуы бейнеленген. Ал октанның жануы кезінде керісінше жағдай байқалды. 80, 120, 140 бар қысымдарда CO_2 мәні шамамен бірдей болса, 100 Бар қысымда оның мәні ең төмен 0,031419 г/г көрсетті.20 суретте октан мен синтиннің жануы нәтижесінде бөлінетін күйенің концентрациясының камера биіктігі бойымен таралуы келтірілген. Күйенің концентрациясының максимал мәні синтин үшін 120 Барда 54,3497 г/г, ал октан үшін 80 барда 60,8137 г/г құрады. [6]



Сурет 5. Әр түрлі қысым мәндеріндегі жану камерасындағы максимал көмірқышқыл газы CO_2 концентрациясының таралуы: көк сызық – синтин, қызыл сызық - октан

Әдебиеттер:

1. Ярин Л.П., Сухов Г.С. Основы теории горения двухфазных сред. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 240б

2. Основы практической теории горения. Под ред. В.В. Померанцева. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Л.: Энергия, 1973 г. - 264 б.

3. Вулис Л.А., Ярин Л.П. Аэродинамика факела. Л.: Энергия, 1978. – 320б.

4. Хитрин Л.Н. Физика горения и взрыва.- М.: Изд.-во МГУ, 1957. – 428б

5. Сполдинг Д.Б. Горение и массообмен. - М.: Машиностроение, 1985. - 240 б.

6. Зайцев С.А., Кузнецов В.Р., Кунцев Г.М. Влияние прогрева и испарения жидкого топлива на горение в модельной камере сгорания // ФГВ. - 1991 Т.27, № 6. -45б

Репозиторий КарГУ

А.Р. Хажидинова[1], О.А. Степанова[1], М.В. Ермоленко[1], А.С. Хажидинов[2]
[1]ГУ имени Шакарима города Семей, г. Семей, Республика Казахстан, nadyrova.akbota@mail.ru, tehfiz@mail.ru, aug11@mail.ru [2]Филиал Институт атомной энергии НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан, khazhidinov@mail.ru

Анализ влияния загрязненности воздухоподогревателя на эффективность работы котлоагрегата

Казахстан входит в десятку стран с самыми большими залежами угля в мире, поэтому в качестве основного топлива используется уголь различного качества. В республике большую часть выработки тепловой и электрической энергии обеспечивают котельные и теплоэлектроцентрали [1]. Наиболее прибыльные месторождения угля в Казахстане находятся в центральной и северной части страны. Также интенсивно разрабатываются новые месторождения, одним из которых является разрез Каражыра Восточно-Казахстанской области. Несмотря на многочисленные исследования, а также большой опыт проектирования и эксплуатации котельного оборудования актуальным остается вопрос о загрязнении поверхности нагрева котельных агрегатов [2]. Загрязнение рабочих поверхностей котла приводит к уменьшению коэффициента теплопередачи, коэффициента полезного действия (КПД) и тепловой мощности. Отложения дымовых газов в трактах котла увеличивают аэродинамическое сопротивление и как следствие, увеличивается расход электроэнергии дымососами [3]. На сегодняшний день в основном рассматриваются процессы теплообмена в топочных устройствах, поэтому актуальным остается исследование теплообмена в хвостовых поверхностях нагрева.

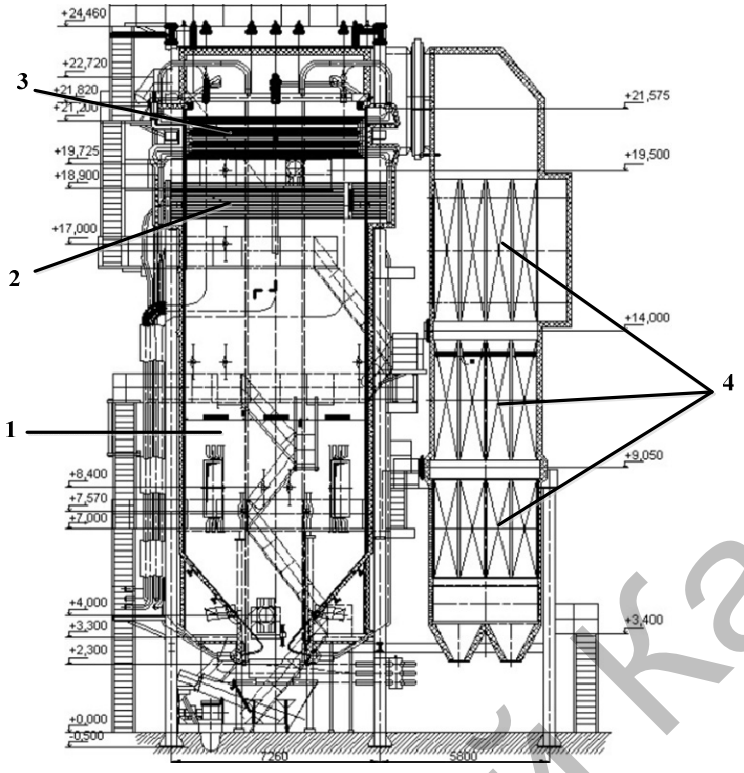
Формирование отложений дымовых газов в большой степени зависит от температуры поверхности теплообмена, диаметра и расположения труб (коридорное или шахматное) а также скорости потока. Температура поверхности влияет на количество выпадающего конденсата раствора серной кислоты и паров воды, усиливающих золовой занос. Меньшее влияние оказывает направление потока дымовых газов. Концентрация осаждений в газовом потоке оказывает существенное влияние лишь на время образования установившегося слоя загрязнения. Вне зависимости от зольности топлива рост отложений стабилизируется на определенном уровне, различным будет лишь время его образования. Следовательно, существует необходимость очистки поверхностей нагрева, как при сжигании малозольных топлив, так и топлив с большим содержанием золы [4].

Целью работы является исследование теплообмена в воздухоподогревателе котельного арегата для выявления оптимальных характеристик работы оборудования.

Исследование выполнялось на водогрейном котле КВ-Т-116,3-150, когда под котлом сжигался каменный уголь марки Д разреза Каражыра с $A^r = 17{,}2\%$, $S^r = 0{,}344\%$, $W^r = 14\%$ и избытке воздуха в конце топочной камеры 1,15. На рисунке 1 представлен продольный разрез котла.

Котел выполнен в П-образной компоновке, хвостовыми поверхностями нагрева которого является поверхность газового воздухоподогревателя (ВЗП). Агрегат работал на номинальной теплопроизводительности 116,3 МДж/с (100 Гкал/ч), минимальной 58,15 МДж/с (50 Гкал/ч). Согласно показаниям контрольно-измерительных приборов котла скорость дымовых газов при минимальной и номинальной теплопроизводительностях составила 8,2 и 12 м/с соответственно. Концентрация золовых частиц в газовом потоке составила 65 ÷ 70 г/м^3. Воздухоподогреватель состоит из двух ступеней трубчатого теплообменника, расположенного в вынесенном опускном газоходе. Трубы ВЗП диаметром 40×1,5 мм расположены в шахматном порядке.

Репозиторий КарГУ



1 – топка; 2 – водогрейные ширмы; 3 – змеевики конвективной поверхности нагрева; 4 – кубы трубчатого воздухоподогревателя

Рисунок 1. Продольный разрез котла КВ-Т-116,3-150

Дымовые газы проходят внутри труб, а нагреваемый воздух омывает их снаружи поперечным током. Воздух подается в ВЗП, предварительно подогретый в калориферах до 30 °С. На рисунке 2 представлена трехмерная модель ВЗП котла. Модель выполнена в программном комплексе ANSYS.

Влияние заноса газового потока на работоспособность поверхности нагрева оценивалось по величине и составу образующихся в разных температурных зонах отложений золы. Осмотр поверхности ВЗП на остановленном котле показал, что в области входа дымовых газов скапливается меньшее количество отложений в сравнении с местом выхода газов из ВЗП. В области входа газового потока температура стенки t_{cm} выше температуры росы серной кислоты $t_p^{H_2SO_4} = 75 + 80°C$ для обеих теплопроизводительностей. По температуре поверхности эта зона соответствует образованию сыпучих отложений, которые легко уносятся высокими скоростями потока. Благодаря этому поверхность ВЗП остается практически чистой [4, 5]. В начальный период эксплуатации количество отложений незначительно, с течением времени их толщина монотонно растет, достигая максимального значения спустя 16-18 часов эксплуатации котельного агрегата (рисунок 3).

В области выхода газового потока температура стенки t_{cm} достигает минимального значения. Отложения этой зоны плотно связываются с поверхностью ВЗП, их удельная термическая проводимость существенно ниже проводимости стенок труб, что приводит к падению коэффициента теплопередачи. Падение коэффициента теплопередачи, в свою очередь ведет как к перерасходу топлива, так и уменьшению КПД. Следовательно, периодичность включения аппаратов очистки ВЗП составляет 1 раз в 16 ÷ 18 часов работы котла. Поддержание конвективных поверхностей нагрева в эксплуатационно чистом состоянии является одним из необходимых условий надежной работы котельного агрегата в рабочем диапазоне нагрузок.

Репозиторий КарГУ

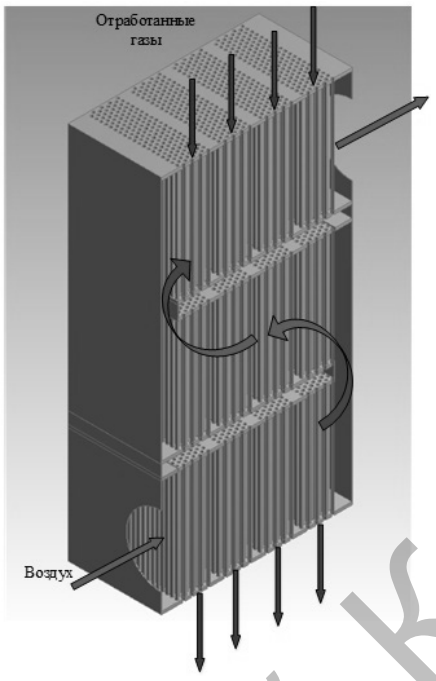


Рисунок 2. Трехмерная модель ВЗП котла

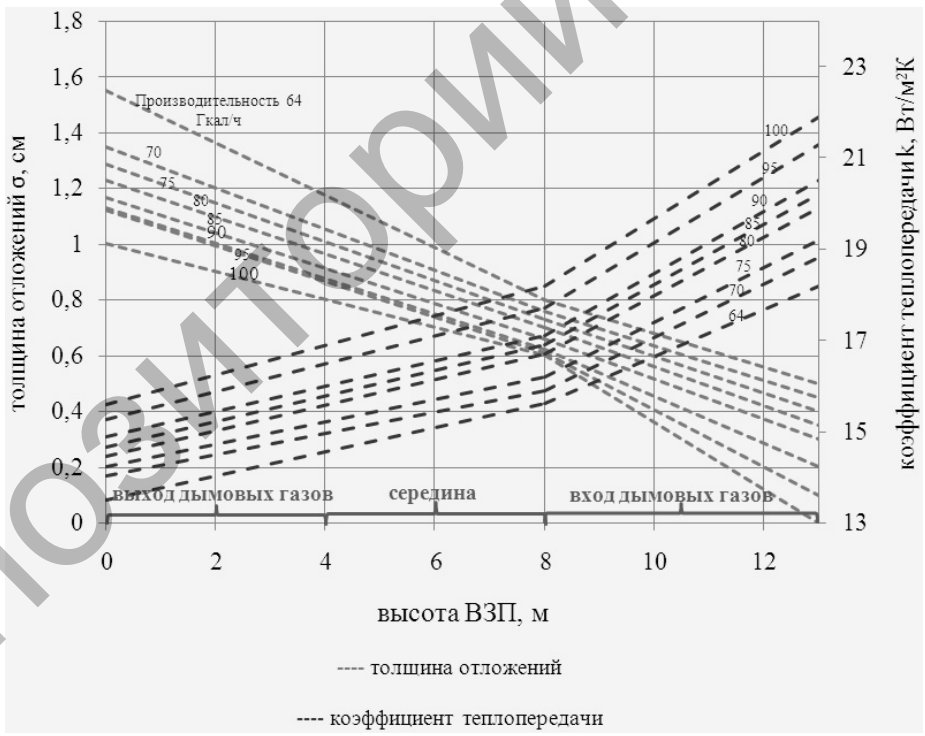


Рисунок 3. Изменение толщины отложений и коэффициента теплопередачи по высоте ВЗП спустя 16-18 ч работы котла

Вывод: Для того, чтобы не произошло снижение значения коэффициента теплопередачи от дымовых газов к воздуху, в результате увеличения слоя отложения (имеющего низкое значение термической проводимости), на поверхности стенки трубы, необходимо поддерживать температуру поверхности воздухоподогревателя выше температуры точки росы паров серной кислоты $t_p^{H_2SO_4}$. Спустя 18 часов эксплуатации с целью поддержания

Репозиторий КарГУ

эффективности работы котельного агрегата необходимо проводить обдувку поверхности ВЗП.

Литературы:

1.Угольная промышленность Казахстана // Компания «Юна LTD» URL: http://una.kz/company/news/otkryitie-kluba-modx-v-minske (дата обращения: 11.08.2019).

2. Степанова О.А., Надырова А.Р., Ермоленко М.В. Исследование техногенного воздействия энергетических предприятий на окружающую среду // Научно-образовательный центр Знание, материалы I Международного конкурса научно-исследовательских работ «Перспективы науки 2015», Том 4, 2015.

3. Янов С.Р. Разработка рекомендаций и мероприятий по обеспечению тепловой эффективности поверхностей нагрева пылеугольных паровых котлов: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04. - Красноярск, 2010. – 144 с.

4. Гаврилов А.Ф., Малкин Б.М. Загрязнение и очистка поверхностей нагрева котельных установок. – М.: Энергия. 1980. –328 с. с ил.

5. Khazhidinova A.R., Stepanova O.A., Yermolenko M.V., Elistratov S.L., Baibalinova M.Ye., The study of heat transfer processes in the tail heating surfaces of the hot water boiler // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 9, Issue 7, July 2018, p. 964-975, Article ID: IJCIET_09_07_101.

С.Ғ. Құрымбаев, А.А.Тишбеков
Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды қаласы, Қазақстан, sakura3874@mail.ru, tishbekov@list.ru

Жол-көлік оқиғаларын төмендету мәселелері

Қазақстан экономикалық дамыған елдер арасында жол-көлік оқиғаларының (ЖКО) деңгейі бойынша айтарлықтай бөлінеді.

Жыл сайын қарашаның әрбір үшінші жексенбісінде әлем жол апатынан қайтыс болғандарды еске алады. ЖКО-дан опат болғандарды еске алу күні жол қозғалысының қауіпсіздігі мәселесіне қоғамның назарын аудару үшін Біріккен Ұлттар Ұйымының бас ассамблеясының қарарымен 2015 жылы бекітілген. Өкінішке қарай, біздің елдегі адам өліміне әкелетін жол-көлік оқиғасының статистикасы әлемдегі ең жоғары көрсеткіштің бірі. Автомобиль – әлемдегі ең қауіпті көлік, әрі статистика көрсетіп отырғандай, егер әуе апатынан жыл сайын 1 мың адам қайтатын болса, ал көлік апатынан 1,24 млн адам көз жұмады екен. Жақында Астанада Бүкіләлемдік денсаулық сақтау ұйымының (БДҰ) баяндамасында жаңа мәліметтер келтірілген.

Бүгінгі күні Қазақстан автокөлік апаттары салдарының ауырлығы бойынша бірінші орында тұр. Біздің елдегі адам өлімінің коэффициенті 100 мың адамға 24,2-ден келеді, яғни Еуропа елдеріне қарағанда Қазақстанда жол-көлік апатынан ажал құшу 11 есе жоғары. Еліміздің жолдарында бір жылда қайтыс болғандар саны бір шағын қаланың халқына тең, яғни 3000 адам. Ал 30 мыңнан астамы ауыр жарақат алады екен. 2018 жылдың тек алты айының өзінде елімізде 6743 ЖКО болған, онда 9400 адам зардап шегіп, 783-і қайтыс болған. Қазақстан жолдарында апаттың көп болуының басты себебі – жолда жүру ережесін сақтамау. Тас жолдарда бұл қарсы келе жатқан көлікке соқтығысу, ал қалада бағдаршам белгісін, қозғалыс қатарын, жол белгісін сақтамау, сондай-ақ көлікті мас күйінде жүргізу екен.

ЖКО санын азайту үшін мемлекет тарапынан көп жұмыс атқарылып жатыр, мысалы: инфрақұрылым ауыстырылып, жол белгілері, жерүсті және жерасты жаяу жүргіншілер өтетін жолдар салынып, бағдаршам мен жол белгілерінің көрінуі жақсартылып жатыр, сондай-ақ көптеген көшеде бір бағыттағы қозғалыс, BRT және басқа жолақтар пайда болуда.

Репозиторий КарГУ

Қазақстандағы «Апатқа жол жоқ» әлеуметтік жобасы апаттың көптігіне қоғамның назарын аудара отырып, ЖҚЕ-ні сақтау туралы ақпарат беру мен алдын алу арқылы жүргізушілердің мәдениетін арттырып, елдегі жол қауіпсіздігін арттыруға бағытталған [1].

«Еуропалық деректерде» және 2015 жылғы «Әлемдегі жол қозғалысының қауіпсіздік жағдайы туралы» баяндамада 53 мемлекеттегі ахуал қарастырылған. Баяндамада еуропалық өңірдегі жол-көлік оқиғасын азайтуға бағытталған жобалары сәтті жүзеге асқаны көрсетілген. 2010 жылдан бері еуропалық аймақта жол-көлік оқиғасынан қаза табу факторлары 2013 жылмен салыстырғанда 8,1 процентке кеміген.

Қазақстанға келсек, жол-көлік оқиғалары салдарынан адамдардың мерт болу факторлары автокөліктер санының өсуімен бірге көбейіп барады. Қаза тапқандардың басым бөлігі жұмысқа қабілетті жастағылар. Республика ауруханаларына түскендердің 1/3 жол-көлік оқиғасынан жараланғандар. Республика жолдарында қаза тапқандар санының өскені сонша, Сирия мен Ауғанстандағы соғыста мерт болғандармен теңесуге жақын екенін айтады мамандар.

Жыл сайын елімізде жол-көлік оқиғаларынан 3 мыңнан астам адам қаза тауып, 30 мыңнан астам адам жарақат алады екен. Қазақстанда жол апаты кезінде қаза табу қатері Норвегиямен салыстырғанда 11 есеге жоғары деседі. Бұл туралы Дүниежүзілік банк жүргізген зерттеулерде айтылған. Салыстыру үшін ілгеріректегі деректі мысалға алсақ, 2013 жылы Қазақстанда жол-көлік оқиғаларынан 3233 адам қаза тапқан. Яғни күніне 9 адам жолда бақилық болды. Бұл өлім көрсеткіші 100 мың тұрғынға 15,5-тен келеді деген сөз. Ал Швецияда осы мерзім ішінде 100 мың адамға 2,8 көрсеткіші тән. 3233 қаза табу оқиғасының 61 проценті (1972 адам мерт болған) төрт дөңгелекті көліктердің кесірінен болған. 23 процентіне (744 адам) жаяу жүргінші кінәлі екен.

Сондықтанда, жол-көлік оқиғасын қалай азайта аламыз? Мамандар максималды жылдамдықты 5 пайызға азайтқан жағдайда адам шығыны 30 пайызға кемитінін айтады. Қалада рұқсат етілген максималды жылдамдықты 60 км/с-тан 50 км/с деңгейіне жеткізу керек. Ал мектептер мен тұрғын үйлердің маңында 20 км/с-қа дейін азайту қажет. Алдыңғы орындықта қауіпсіздік белдігін қолдану адам шығынын 50 пайызға азайтатынын зерттеулер дәлелдеген. Ал артқы орындықта қауіпсіздік белдігін тағу кісі өлімін 75 пайызға дейін болдырмайды. Сондай-ақ балаларға арналған қауіпсіздік құрылғылары балалардың жол-көлік оқиғасынан қаза табуын 54-80 процент деңгейде болдырмайды. Жол көлік оқиғасының орын алуына негізі факторлар – жүргізушілердің жол ережелерін мұқият сақтамауы, ішімдік ішіп жолға шығу және жаяу жүргіншілердің рұқсат етілмеген жерден өтуі.

Кеңес Үкіметі кезінде автобус, троллейбустардың жүргізушілері отыратын кабинасына «Жүргізушіге кедергі келтірмеңіз!» деген ескертпе жазу ілінуші еді. Ол уақытта қоғамдық көлік жүргізушілері бар назарын көлік айдауға аударатын.

Бүгінде қоғамдық көлік жүргізушілерінің ұялы телефонмен сөйлесіп, тіпті хабарлама жазысып көлік айдайтынын көріп жүрміз. Ал қоғамдық көлікке көбінесе мектеп оқушылары мен зейнеткер қарттар мінетіні белгілі. Осы орайда шетелдік тәжірибеден үлгі тұтар мысалдар келтіруге тура келеді.

Жапонияның Toyota Motor корпорациясы KDDI телекоммуникациялық компаниясымен бірігіп, сондай-ақ Komeda кафелер желісінің қолдауымен Driving Barista деген құрылғы жасап шығарды. Бұл құрылғы жүргізушілерді көлікті айдау кезінде смартфоннан бас тартуға мәжбүрлейді. Жаңа мобильді қосымшаны кез-келген смартфонға орнатуға болады. Жүргізуші бұл қосымшаны пайдалану үшін көліке отырарда смартфонын төңкеріп қоюы керек.

Смартфон төңкеріліп жатқан кезде жүргізушіге жүрген уақытына қарай ұпай жиналады. Жүргізуші ұялы телефонды пайдаланбай 100 шақырым жүріп өтсе, Komeda кафесінен тегін кофе ішу мүмкіндігіне ие болады. Бұдан кейін жүргізушіге әрбір 200 шақырым үшін осы кафеден тегін кофе ішуге арналған купон беріледі. Ал жүргізуші көлік ішінде байқаусызда

Репозиторий КарГУ

смартфонына қол созса, жинаған ұпайлары күйіп кетеді екен. Аталмыш жоба Жапониядағы ең көп жол-көлік оқиғасы тіркелген Айчи префектурасында жүзеге аса бастады.

Жол сапасы жөнінен әлемде алдыңғы орында тұрған Ұлыбритания жолда мерт болғандардың саны жөнінен ең төменгі көрсеткішке ие. 100 мың тұрғынға 5,4 деңгейде. Бұл елде 1970 жылдан бері жол-көлік оқиғасынан қаза тапқандар саны азайып келеді. Жаяу жүргіншілерді қағып кету оқиғасы 40 жылда 78 пайызға азайған. Бұл елде көлік айдап отырып темекі шегуге, тамақ ішуге болмайды. Ақпарат құралдарынан белгілі болғандай, Солтүстік Уэльсте автокөлік айдап бара жатып, макарон жегені үшін голландиялық жүргізуші сегіз аптаға қамалды. Жүргізушінің көлік ішінде тамақ жеп отырғанын полицей тікұшағы байқап қалған. АҚШ-та да жол-көлік оқиғалары азаюда. Бұл мемлекеттің барлық штаттарында ұялы телефон ұстап көлік айдауға тыйым салынған. АҚШ-та көлік басқарып отырып ұрсысқан жүргізушілер туралы ақпаратты полицияға жеткізу үшін арнайы телефон нөмірі іске қосылған [2].

Осы шетел тәжірибесін ескере отырып Қазақстанда міндетті техникалық байқаудан өтуді бақылау күшейту керектігін айтамыз. «Бүгінгі күнде "Техникалық байқау" Бірыңғай ақпараттық жүйесіне бақылау-диагностикалық жабдықтардан ақпарат беретін мамандандырылған бағдарламалық қамтамасыз ету талаптары орнатылмаған. Міндетті техникалық байқауды бақылауды күшейту мақсатында "Жол жүрісі туралы" Қазақстан Республикасының Заңына өзгерістер мен толықтырулар енгізілді, онда көлік құралдарын міндетті техникалық байқаудың бірыңғай ақпараттық жүйесімен ақпараттық өзара іс-әрекетті жүзеге асыратын мамандандырылған бағдарламалық қамтамасыз етуге қойылатын талаптарды белгілеу жоспарлануда». Бұл түзету көлік құралын ұсынбай техникалық байқаудан өтуді болдырмайды, сондай-ақ жалпы көлік құралдарын міндетті техникалық байқаудан өткізудің сапасын жақсартады.

Қазақстан Республикасы индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі ақпарынша, аумақтық көліктік бақылау органдары 2018 жылдан бастап бүгінгі күнге дейін 152 техникалық байқау операторын тексерді, көлік құралдары мен олардың тіркемелеріне міндетті техникалық байқауды ұйымдастыру және өткізу қағидалары бойынша 724 бұзушылықты анықтады. Техникалық байқау операторларына қатысты 3 млн. 849 мың теңге сомасына 193 әкімшілік материал жасалды, тізілімнен 88 оператор шығарылды.

2018 жылдың қараша айынан бастап 2019 жылдың наурыз айына дейін жалған диагностикалық карталарды анықтау бойынша 150-ден астам рейдтік іс-шаралар өткізілді. Нәтижесінде диагностикалық карталарды қолдан жасаудың 84 фактісі анықталып, техникалық байқау операторларына қатысты 26 әкімшілік материал жасалды және 2 қылмыстық іс қозғалды, техникалық байқау операторларына қатысты жоспардан тыс тексеру жүргізу үшін 13 тапсырма жіберілген».

Заңды түрде белгіленген техникалық қызмет көрсету орталықтарының саны – бір диагностикалық орталықтың өткізгіштігі орташа санмен алғанда бір жылда 10000 автокөлік құралдарынан аспауы керек. Бірақта, көлік құралдары паркінің тым тез өсуінің салдарынан кейбір өңірлерде диагностикалық орталықтардың саны жеткіліксіз болуы мүмкін немесе диагностикалық орталықтардың жұмыссыз бос түруы мүмкін. Осының бәрі жоғарыда айтылғандай диагностикалық карталарды қолдан жасауға әкеліп соғуы мүмкін. Сонымен қатар қазіргі заңнамаларда диагностикалық орталықтардың санын реттеу қарастырылмаған.

Қорытындылай келе, техникалық байқау диагностикалық орталықтарының санын реттеу тәсілінәзірлеу өзекті мәселелердің бірі екенін .

Әдебиеттер:

1. https://inbusiness.kz/kz/news/kys-mausymynda-kazakstanda-zhol-kolik-okigasy-6-ga-osedi.
2. Қазақстан Республикасы «Жол жүрісі» туралы заңы, 2014 жылғы 17 сәуір, № 194-V

Репозиторий КарГУ

С. Ғ. Құрымбаев, Қ. Б. Шәктаев, Е.М. Бошайбеков
Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті,Қарағанды қаласы, Қазақстан, sakura3874@mail.ru, shaktaev69@mail.ru, boshaybekov@mail.ru

Іштей жану қозғалтқыштарындағы (іжқ) тұтанудың физикалық- химиялық жаратылысы

ІЖҚ отын тұтануының жаратылысы мен механизмі - күрделі және толығымен әлі зерттелмеген мәселе. Алайда жиналған эксперименталдық және теориялық материал қозғалтқыштарда жалынның пайда болу физикалық-химиялық механизмі туралы түсінік беруге мүмкіндік тудырады. ІЖҚ отынның тұтану процесінің ең ықтимал сұлбасы академик Н. И. Семенов және оның мектебінің еңбектерінде өңделген [1].

Профессор А. С. Соколик бойынша, газдық қоспаларының тұтануы тұтанудың екі түріне сәйкес жүзеге асады: жоғары температуралы бір сатылы немесе төмен температуралы көп сатылы тұтану. Тұтану сұлбасының бірінші түрі мәжбүрлі тұтанатын қозғалтқыштардағы процестерді, ал екінші түрі сығылудан тұтанатын қозғалтқыштардағы процестерді түсінуге мүмкіндік береді [2]. Газдық қоспаның жоғары температуралы тұтануы - экзотермиялық реакцияның екпінді өзіндігінен үдеуімен жүретін жалынның пайда болу тәсілі. Бұл жағдайда тұтандыру шырағының элетродтары арасында жоғары температуралы (≈10000К) тоқ өткізетін құбыр пайда болады; бұл көмірсутекті молекуласының молекула аралық байланысын үзіп, бастапқы жалын ошағы қызметін атқаратын белсенді молекулаларының (еркін радикалдардың) пайда болуын қамтамасыз етеді.

Әрекеттесетін қоспаның бастапқы температурасы ұлғайуымен белсенді ошақ көздерінің саны өседі, бұл реакцияның бастапқы жылдамдығы w0 артуын анықтайды.

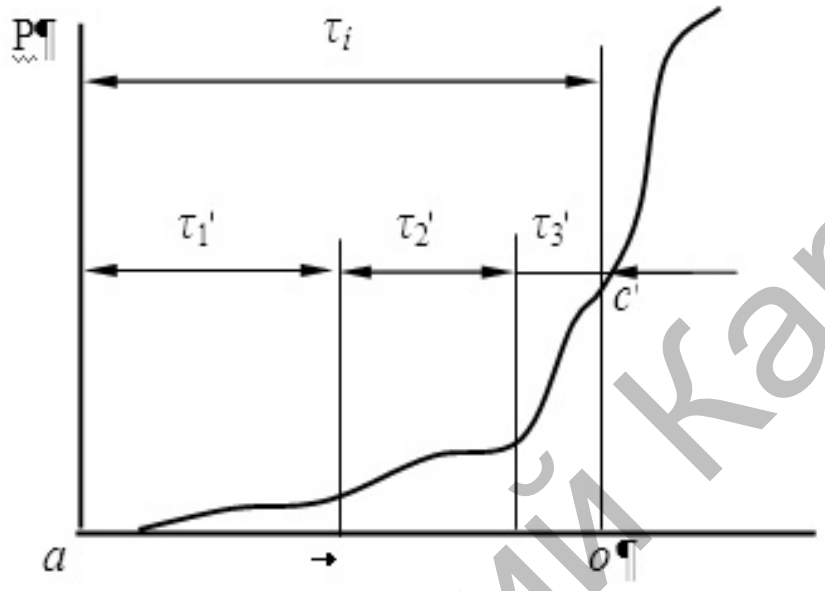
Тізбекті реакцияның екпінді өздігінен үдеуімен қатар жылу бөлінуінің жылдамдығы да артады. Жылу бөлінуінің жылдамдығы қабырғаға берілетін жылудың жылдамдығынан асқаннан соң қоспаның температурасы артады, бұл реакцияның өздігінен екпінделуі және қоспаның тұтануына әкеледі. Осылайша, жоғары температуралы тұтану тізбекті реакциядан қоспаның екпінді қызуынан туатын реакцияның өздігінен үдеуіне өтуінің үздіксіз процесі.

Бір күйден екінші күйге өту шекарасы болмағандықтан жоғары температуралы тұтану процесі бірсатылы болып қарастырылады да, өзінің тегі бойынша тұтанудың тізбекті-жылулық түріне жатады.

Төменгі температуралы тұтану сығылудан тұтанатын қозғалтқыш-тарындағы жанғыш қоспаның химиялық реакцияларына тән процесс болып табылады. Басым бөлігі тізбекті реакциядан тұратын күрделі процесс сұлбалы түрде келесідей көрсетуге болады. Төмен температураларда көмірсутек молекуласының ыдырауы болмайды, сондықтан еркін радикалдардың (белсенді орталықтар) пайда болуы эндотермиялық (R - CH_2 - O -O - H) асқын тотықты қосылыстардың пайда болуымен жүретін автототығу процесінде жүреді. Ұқсас асқын тотықтардың жинақталуы өспелі жылдамдықпен жүреді. Осының нәтижесінде ұқсас асқын тотықтар отын молекулаларының ыдыраумен суық жалын пайда болатын критикалық шоғырлануға жетеді. Көлем бойынша жаңа зарядқа суық жалын жылу берудің қатысынсыз белсенді бөлшектердің диффузиясымен таралады, өйткені бұл кезде қыздыру өте төмен. Бірінші кезеңде суық - жалынды саты газдар қысымы елеулі жоғарламайтын τ_1 бөгелуінен тұрады (1 - сурет). Бұл кезеңде пайда болған өнімдер - альдегидтер, СО және асқын тотықтардың ыдырауының өнімдері. τ_1 кезеңінің соңында осы температура үшін дәртсіз бастапқы өнімдер (көмірсутектер) белсенді молекулалармен ауысады да τ_2 кезеңінен соң асқын тотықтардың жинақталуы оларды қайта ыдырауы мен суық жалынның жаңа түрі пайда болуына (үлкенірек қарқынды) әкеледі. Осымен бірге температура мен қысым жоғарлайды.

Репозиторий КарГУ

τ_3- үшінші кезеңі ыстық жалынның пайда болу кезеңінен айырмашылығы бар, өйткені СО және белсенді өнімдер сияқты реакцияның аралық өнімдерінің пайда болуымен шала жүреді. Жалынның бұл түрін (τ_3) А. С. Соколик шартты түрде «екінші суық жалын» деп атады. «Екінші суық жалын» жылу бөлудің жоғары жылдамдығын ала жүретін жылулық жарылысқа өтеді[2].



Сурет 1. Дизельдерде тотығу реакциясының жалын алдындағы процестері

Бастапқы көмірсутектің осыған ұқсас бірізді химиялық айналулары қоспаның қызуына алып келеді, ал бастысы - қоспа температурасының бастапқы мәні төмен болуына қарамастан, белсенді жарылысқа әкелетін белесенді орталықтардың өте жоғары шоғырлануы пайда болады. Тізбекті-жылулық жарылыс жалпы негізі болып табылатын төментемпературалық тұтану мәні осыда.

Төментемпературалық тұтану процесі реакциялардың аралық өнімдерінің жинақталуын және салқын жалын пайда болып соңында жылулық жарылысқа ұшырауына әкеп соғатын олардың жарылысты ыдырауын қамтамасыз ететін бірқатар тізбекті сатылардан тұрады.

А. С. Соколик төмен температуралық тұтану барысында барлық үш бірізді кезеңдердің болуы міндетті емес дейді. Өйткені тұтанудың дамуын қысым мен суықжалынды процесс қарқындылығының өсу барысында ыстық жалынмен аяқталатын екі сатылық немесе үшсатылық процеске (1 - сурет) өтуі деп қарастыруға болады. Екі жағдайда да процесс ыстық жалынға өтуісіз $\tau_1 + \tau_2$ қосындысымен шектелуі мүмкін. Бұл отынның берілуі, қоспаның тұтануға дайындау сапасы сияқты бірқатар факторларға тәуелді.

Сығымдалудан тұтанатын қозғалтқыштарда $\tau_1 + \tau_2$ бірінші екі алдын ала жүретін кезеңдерсіз ыстық жалынға өту мүмкін емес.

Мәжбүрлі оталдыруы бар қозғалтқыштардағы жану процесі

Жану процесінің қалыпты жүруі және оның негізгі фазалары. Қоспаның жану уақытын ескерумен жылу бөліну процесі уақытылы дамуы үшін қозғалтқыштарда тұтану піспек жоғарғы межелі нүктеге (ЖМН) жетпей сығымдау процесінде жүзеге асады. Осыған сәйкес иінді біліктің ЖМН-ге қатысты жағдайы оталдыру бұрышының озуы деп атайды.

2 - суретінде иінді біліктің айналу бұрышы (и.б.а.б.) бойынша цилиндрдағы газдар қысымының өзгеру сипатын бақылау мүмкіндігін беретін P_φ координатасындағы айқара ашылған индикаторлық диаграмма келтірілген.

Репозиторий КарГУ

Р қысым қисығының ұшқынның пайда болған сәтінен С нүктесіне дейін өзгеру сипатынан көрініп тұрғандай қысымның цилиндрде айтарлықтай өзгеруі байқалмайды, яғни қысым оталдырусыз сығымдаған жағдайдан айырмашылығы жоқ. С нүктесінен кейін қысым максимумға (P_z) дейін жылдам өседі де, кеңею процесі барысында төмендейді.

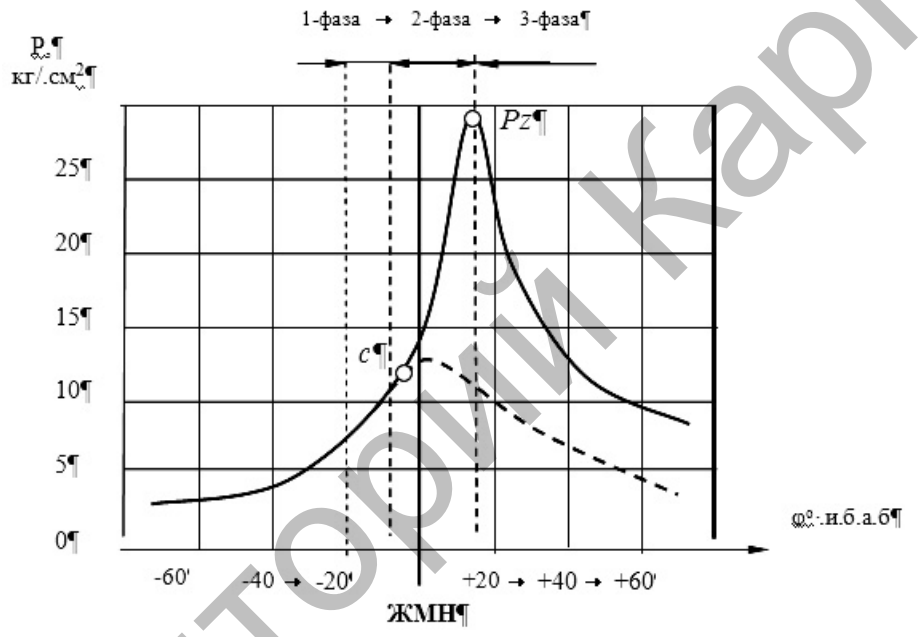
Мәжбүрлі оталдыруы бар қозғалтқыштардағы жану процесінің барлық кезеңдерін үш фазаға бөліп қарастырған ыңғайлы:

I - бастапқы жану ошағының пайда болу фазасы (реакция қамтыған көлем),

II - жалынның өрістеу фазасы (жалын майданы);

III - кеңею сызығында жанып біту фазасы.

II фазадағы жану (негізгі) сипаты байсалдылықты анықтайды, яғни иінді біліктің айналу бұрышының 1° тән қысымның өсімімен (P_c)



Сурет 2. Қалыпты жануда иінді біліктін айналу бұрышы (и.б.а.б.) бойынша цилиндрдегі қысымның өзгеру диаграммасы

(P_z) бағаланатын қысымның өсу сипаты болып табылады. Бұл өте маңызды көрсеткіш, өйткені бөлшектердің тозуына, демек, жалпы қозғалтқыштың моторесурсіне ықпалын тигізеді. Жану процесін жалпы қарастырғанда жанудың алғашқы кезеңінде сығылу камерасында газ қоспасының екі көлемі бар деуге болады:

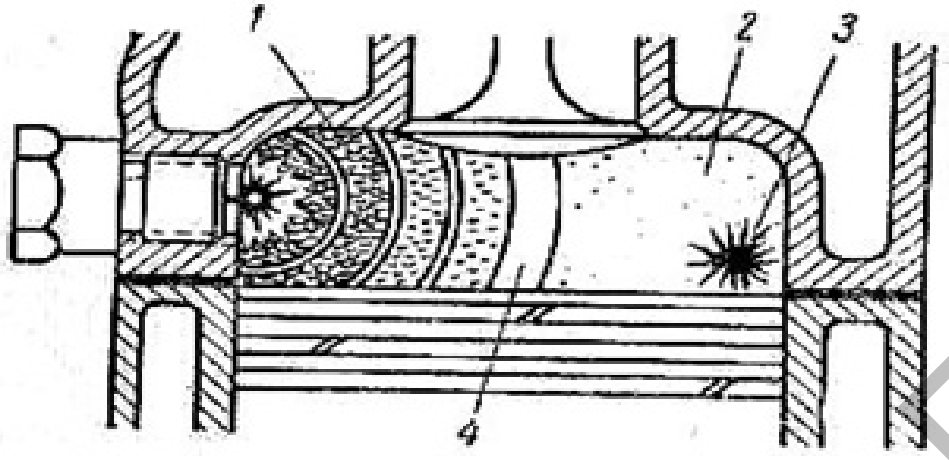
Біріншісі - тұтандырғыш шамы төңерегінде жанып біткен газ көлемі. Бұл көлемде тотығу реакциялары белгілі дәрежеде аяқталған және жалпы көлемнен 6- 8% құрайды;

Екіншісі - жалынмен әлі қамтымаған жаңа қоспа көлемі.

Бастапқы ошақтың дамуы кезінде бөлінген жылу (I фазада) және реакцияның белсенді өнімдері көршілес бөлшектерге беріледі. Олар өз кезегінде тұтанып жанады да қоспаның келесі бөлшектерінің тұтануына әкеледі (II фаза), яғни жалынның таралу процесі басталады[2].

Жанудың негізгі аймағы 3 - суретте көрсетілгендей міндетті түрде тереңдікпен сипатталады.

Репозиторий КарГУ



Сурет 3. Қозғалтқыштың жану камерасында жалынның таралу сұлбасы: 1 - жанып біткен қоспа; 2 - жанбаған қоспа; 3 - өздігінен тұтану ошағы; 4 -жалынның қозғалу майданы

Жоғарыда келтірілген сұлба бойынша ағатын жануды қалыпты (немесе детонациясыз) деп атайды. Мұндай жану кезінде жалынның таралу механизмі жылудың конвекциямен, ал белсенді бөлшектері молекулярлық диффузиямен, сонымен бірге процеске турбулентті әсер ету арқылы екі жолымен де байланысты[3].

Жану камерасы бойынша жалын барлық бағытта 20-30 м/сек және одан жоғары (40 м/с дейін) жылдамдықпен таралады.

Жалынның таралу жылдамдығы көп факторлардан тәуелді болады, бірақ солардың ішінде негізгісі келесі: отын тотығуының химиялық процестер қарқыны, қозғалтқыш құрылымы (сығымдау дәрежесі, құйындатуды қамтамасыз ету, бөлшектердің температурасы), тұтату көзінің энергиясы, оталдырудың озу бұрышы, тұтандырғыш көзінің (шырақтар) саны және тағы басқалар.

Әдебиеттер:

1. Н. Н. Семёнов. Потенциалы_ионизации_и_потенциалы_свечения_газов_и_паров. УФН.1923. В. 4. С. 449—478.

2. А.С.Соколик, В.П.Карпов. “О влиянии давления на скорость ламинарного и турбулентного горения”. Докл. АН СССР, 1960, С. 1341–1343

3. Мыздыбаев М.С., Мырзабекова Д.М. Автомобильдерге техникалық қызмет көрсету және жөндеу. 5В090100-Тасымалдауды, қозғалысты ұйымдастыру және көлікті пайдалану мамандығының студенттеріне зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулық. – Өскемен.: «ШҚПК Арго» ЖШС, 2014. – 52 б.

[2]Н.К.Танашева, [3]Л.Л. Миньков, [1]А.Ж. Тлеубергенова, [1]К.К. Саденова, [1]А.Н. Дюсембаева
[1] Карагандинский государственний университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, E-mail: shymkent.a7@mail.ru, [2] "Институт прикладной математики" комитета науки РК, Караганда, Казахстан,E-mail: Nazgulya_tans@mail.ru, [3] Томский государственный университет, Томск, Россия.

Конструкция горелочного устройства для сжигания водоугольного топлива

На сегодняшний день апробировано более десяти типов паровых и водогрейных котлов, на которых произведено сжигание ВУТ (ДКВР, ДЕ, КЕ, БКЗ и другие). В большинстве случаев используется факельное или вихревое сжигание.

Репозиторий КарГУ

К настоящему времени технология приготовления и использования ВУТ достигла уровня промышленного внедрения. Вместе с тем большое количество воды, наличие минеральных компонентов в частицах крупностью 40-80 мкм и сравнительно невысокая низшая теплота сгорания - 12-17 МДж/кг требуют определенных условий для надежного воспламенения, устойчивого и эффективного горения ВУТ в топках [1-3].

Суспензионное водоугольное топливо представляет собой дисперсную систему, состоящую из тонкоизмельченного угля Шубаркульского месторождения (угольного шлама), воды и реагента-пластификатора.

В настоящее время в мире происходит переосмысление роли и места угля в обеспечении энергетической и экономической безопасности государства. При этом увеличение доли угля в топливном балансе страны является стабилизирующим фактором защиты от возникновения глубоких энергетических кризисов. Однако экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых экологически чистых угольных технологий. В связи с этим является перспективным использование угля в виде суспензионного угольного топлива (ВУТ). Внедрение ВУТ обеспечивает сбережение энергетических и материальных ресурсов, а также окружающей среды. Кроме того, применение ВУТ является наиболее эффективным и экологически чистым методом утилизации тонких угольных шламов угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий.

Основными отличительными характеристиками ВУТ являются наличие в топливе тонких угольных частиц и жидкой фазы - воды, а также повышенная относительно других жидких топлив вязкость. Указанные особенности являются решающими при выборе эффективной технологии сжигания ВУТ, которая должна обеспечивать необходимую полноту выгорания топлива и минимально возможные вредные выбросы в уходящих газах. Особенно остро данная проблема стоит при применении ВУТ в котлах малой и средней мощности, в которых в настоящее время, как правило, используется низкоэффективный слоевой способ сжигания угля. При этом мехнедожог топлива составляет от 20 до 60%.

В последние годы широкое распространение получил вихревой способ сжигания забалластированных топлив. Однако в настоящее время фактически отсутствуют научно обоснованные решения по применению вихревого способа для сжигания суспензионного угольного топлива. Недостаточно изучен механизм распыления ВУТ, не определено влияние реологических и теплофизических характеристик топлива на эффективность его сжигания в вихревых топках.

Таким образом, совершенствование технологии сжигания водоугольного топлива в вихревых топках является актуальной проблемой при его использовании в котлах малой и средней мощности.

В лаборатории Гидродинамики и теплообмена электрогидравлическом способом измельчались фракции угля Карагандинского месторождения. Подобраны органические соединения и технология дозированного добавления найденных соединений в массу водоугольного топлива. Исследован процесс формирования пространственной структуры водоугольных суспензий, изучены их реологические свойства, установлено, что стабильность водоугольных суспензий полученных на основе концентратов, определяется физико-химическими свойствами пластификаторов [4]. Применение пластификатора позволяет создать водоугольные суспензии с пространственной сетеобразной структурой, не расслаивающиеся в течении длительного времени.

Основынм узлом, обеспечивающий устойчевое горение ВУТ является форсунка, разработанная в лаборатории.

На рисунке 1. показан внешний вид форсунки для распыления водоугольного топлива.

Репозиторий КарГУ

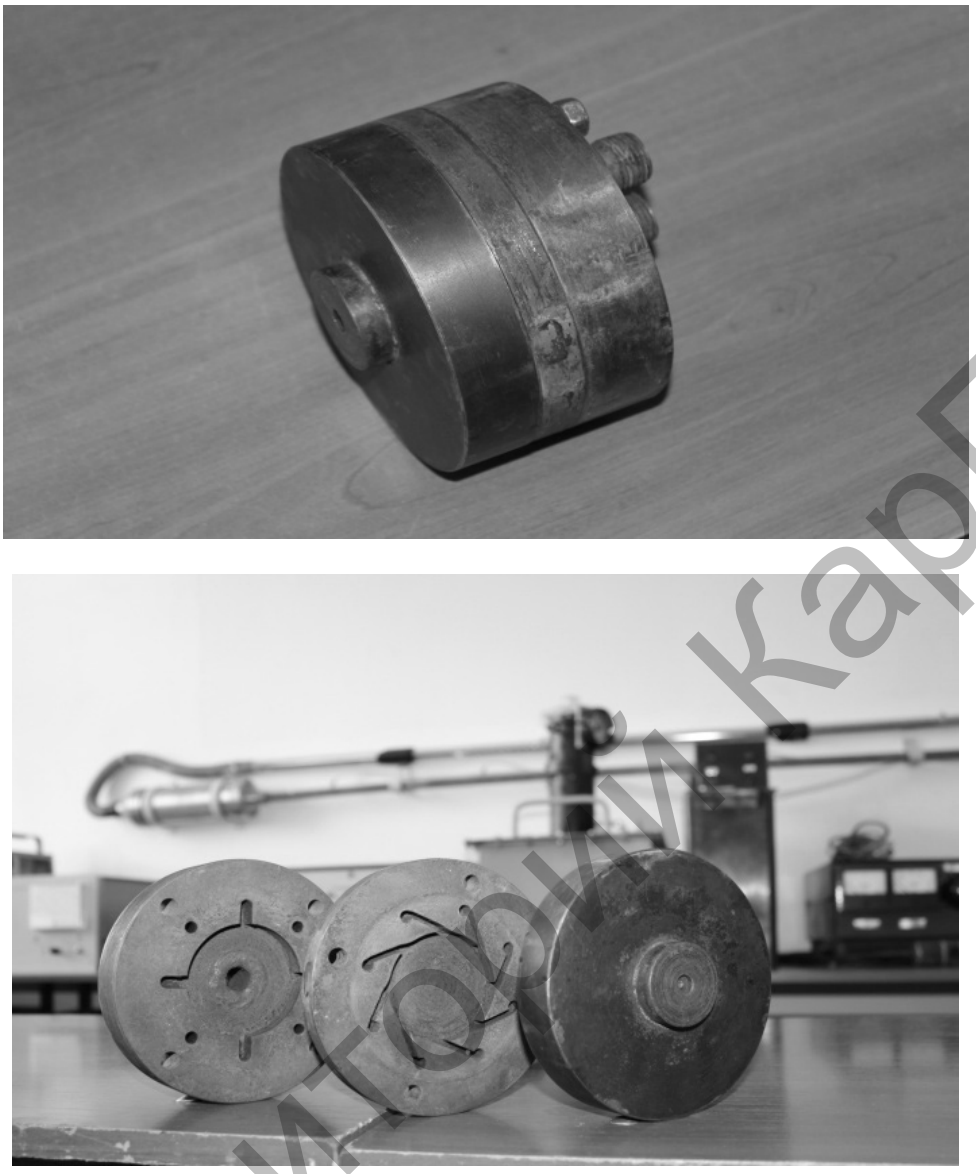


Рисунок 1. Фотоснимок форсунки для сжигания водоугольного топлива

Форсунка изготовлена из стали, все параметры указаны на схеме рисунка 2. Простые форсунки, например, в газовых форсунках одно отверстие, а в нашем случае для для хорошего впрыскивания при сжигании водоугольного топлива нам необходима форсунка из шести отверстий. Диаметр отверстия равен 2 мм.

При работе форсунки наблюдались характерные для вибрационного горения звуковые эффекты высокого тона, аналогичные при работе газовых форсунок. Это явление было устойчивым при загорании вихря у основания аэродинамического стабилизатора форсунки.

Для определения эффективности горения при помощи измерительного прибора определяем температуру горения жидкого топлива

На рисунке 2 показан график зависимости изменения температуры горения топлива в течении времени.

Как видно из диаграммы (рисунок 2), начальная температура пламени 450^0 С, после открытия клапана форсунки температура горения топлива повысилась до 850-950^0 С. Высшая температура горения топлива достигла 1050^0С.

Репозиторий КарГУ

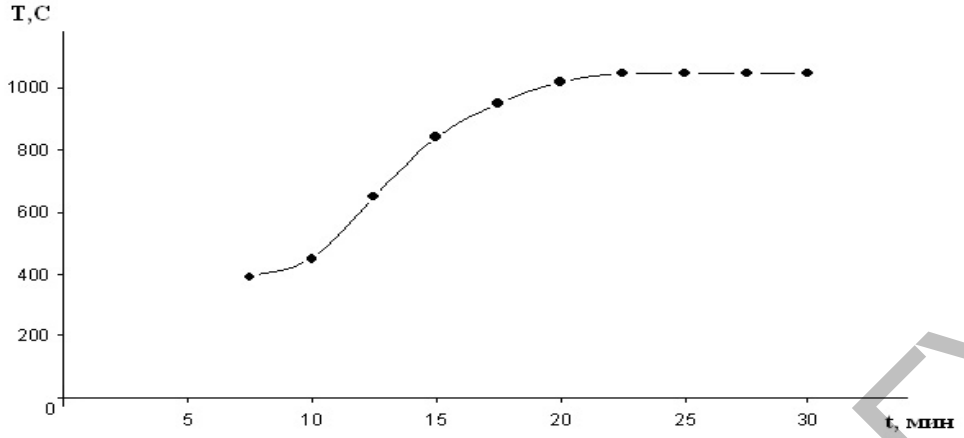


Рисунок 2. График зависимости температуры горения топлива в течении времени

На основании проделанных экспериментов можно сделать следующие выводы: разработана технология сжигания водоугольного топлива полученного из шламов углей Карагандинского месторождения, изготовлена форсунка для вспрыскивания жидкого топлива с учетом аэродинамических процессов при горении водоугольного топлива, изготовлен экспериментальный стенд, проведены лабораторные исследования по сжиганию водоугольного топлива на опытной установке, определена температурная зависимость горения ВУТ в течении времени.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ Мол_нр 19-38-50058.

Литературы:

1. Ходаков, Г.С. Суспензионное угольное топливо (современный этап исследований, технологий и промышленной реализаций) // Известия Академии Наук. – Энергетика, 2000. — №2. — с. 104-119.

2. Зайденварг, В.Е. Производство и использование водоугольного топлива. - М.: изд-во академии горных наук, 2001. –159 с.

3. Мурко В.И., Федяев В.И., Фунг Мань Дак. Результаты исследований по приготовлению и сжиганию суспензионного угольного топлива из антраци-товых углей Вьетнама // Уголь.- 2007. - №10. - С. 59-60.

4. Танашева Н.К. Способ сжигания водоугольного топлива полученного из шламов Шубаркульского угля. Физико-химия и технология неорганических материалов. XI Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов Сборник трудов (16-19 октября 2014г.).-М.: Изд-во Интерконтакт Наука, 2014. – С.477-479.

Т.А. Шункеев[1], К.М. Шаймерденова[1], Н.В. Иманасова[2], Д.А. Оспанова[1], А.Рахманкызы[1]
[1]Карагандинский государственный университет имени академика Е.А. Букетова, Казахстан;[2]Санкт-Петербургский научно-исследовательский проектно-изыскательский институт, Россия

Повышение качества угля путем использования комбинированной машины сухого обогащения

Введение: Мощность угольного разреза «Сарыколь» составляет 3,0 млн.т угля в год, и обеспечивается как промышленными запасами, так и производительностью, количеством и расстановкой горного оборудования. Но, исходя из сложившейся ситуации на рынке бурых углей Майкубенского бассейна, потребность в рядовых углях Сарыкольского месторождения не превышает в настоящее время 0,7-1,0 млн.т угля в год. С учетом маркетинговых исследований рынка потребления бурых углей и возможной перспективы

Репозиторий КарГУ

развития энергетического комплекса Республики Казахстан, был предложен вариант улучшения потребительских свойств угля методом сухого обогащения. Обогащение добытого топлива дает возможность улучшить качественные характеристики конечного продукта и, соответственно расширить рынки сбыта внутри страны, а также за ее пределами. Исследования и рекомендации по обогащению углей Майкубенского бассейна включали традиционные методы обогащения в тяжелых средах, а также метод мокрого обогащения. Но для обогащения в тяжелых средах необходимы дополнительные материалы, такие как хлористый цинк и бромоформ, а также утяжелитель магнетит, что несомненно влечет за собой дополнительные финансовые затраты на покупку и доставку требуемого сырья. После обогащения первой партии угля, магнетит становится некондиционным. Для извлечения магнетита с целью повторного использования некондиционную суспензию регенерируют, что также ведет к дополнительным энергозатратам и потере времени. В случае с методом мокрого обогащения требуется большое количество воды, а также аполярные реагенты: керосин, дизельное топливо, полупродукты нефтепереработки, которые являются дополнительными затратами и ложатся на себестоимость конечной продукции. Но так как поблизости нет водоемов, на угольном разрезе наблюдается дефицит технической воды. Кроме того, повышенное шламообразование и высокая размокаемость майкубенских углей делают оба метода абсолютно не рабочими в данном конкретном случае. Другими словами, если сравнивать все три метода обогащения угля, то только сухое обогащение можно назвать самым экономичным, компактным и эффективным методом [1].

Для этих целей была приобретена комбинированная машина сухого обогащения типа FGX-12 производства КНР. Современная компоновка и внедрение зарубежного оборудования позволили существенно уменьшить расход электроэнергии, сократить вредное воздействие на экологию. Возможность сепарации в воздушной среде делает весь процесс работы максимально простым. Отпадает необходимость возводить капиталоемкие здания, достаточно выполнить монтаж под открытым небом. Чтобы не поднимать наверх горную массу, комбинированную машину сухого обогащения можно установить в разрезе [2].

Технологическая схема и основное оборудование: Комбинированная машина сухого обогащения включает в себя следующие комплектующие части:

- комбинированную машину сухого обогащения FGX-12;
- воронку углеприемного устройства с питателем;
- ленточный конвейер рядового угля;
- вибрационное сито;
- валковую дробилку;
- ленточный конвейер подачи рассортированного угля на комбинированную машину сухого обогащения;
- ленточные конвейера подачи продуктов обогащения на аккумулирующие склады;
- кабину управления;
- шкаф управления, кабельную продукцию, мостовую раму, крепежные детали.

Технологическая схема переработки рядового угля на комбинированной машине сухого обогащения включает в себя следующие операции:

- предварительный отсев мелких фракций (0-80 мм) на вибрационном сите;
- дробление материала крупностью 80-200 мм в валковой дробилке;
- обогащение рядового угля.

На транспортировании материала от агрегата к агрегату используются стационарные ленточные конвейеры с шириной ленты 800 мм. Технологическое оборудование характеризуется:

- повышенной производительностью за счет новых конструктивных решений;
- высокой надежностью и безопасностью работы.

Репозиторий КарГУ

*Принцип работы комбинированной машины сухого обогащения и фактическая производительность оборудования:*Рядовой уголь фракции 0-200 мм поступает в углеприемную воронку с питателем и на определенной скорости начинает движение вверх по конвейерной ленте в сторону сито. Попадая на вибрационное сито, уголь фракции 0-80 мм сразу просеивается и по следующей конвейерной ленте отправляется на обогащение, а оставшийся уголь фракции 80-200 мм поступает в валковую дробилку, где происходит дробление угля до фракции 0-80 мм и также, затем отправляется на обогащение. Попадая в агрегат сухого обогащения, уголь выкладывается на вибрационное сито, находящееся под уклоном 30 градусов. Под сито установлены компрессоры.

После того как обогащаемый уголь попал на сито, начинается процесс обогащения угля за счет воздействия двухфазной среды (из мелких частиц в исходном угле и воздуха) со сравнительно более высоким удельным весом. Сильная вибрация и постоянные восходящие потоки воздуха увеличивают разрыхленность всей массы и расслаивают материал по плотности. Сильные потоки воздуха подымают мелкие частицы пыли вверх, которые затем отправляются в пылеулавливатель. Также за счет потоков воздуха происходит процесс отслаивания породы и глины от угля что приводит к улучшению показателей угля. Отбитая порода и глина под воздействием вибрации и потоков воздуха начинает движение вверх по вибрационному сито и, двигаясь вдоль разгрузочного борта попадает на конвейерную ленту, предназначенную для отходов. В конечном итоге на вибрационном сите остается уголь фракции 0-80 мм, очищенный от мелкой пыли, породы и глины. Очищенный уголь и является обогащенным, так как его качественные характеристики значительно улучшаются [3-4].

Перечень и техническая характеристика основного технологического оборудования приведена в таблице № 1.

Таблица 1. Перечень и техническая характеристика основного технологического оборудования

Наименование	Техническая характеристика	Количество
1	2	3
1. Воронка углеприемная с питателем	V = 5 м3	1
2. Круглое вибрационное сито	Площадь поверхности – 5,4 м2, количество слоев – 1, частота колебаний – 850 раз/мин, амплитуда одного колебания – 3,5 мм, максимальная крупность исходного сырья – 200 мм.	1
3. Дробилка валковая	Размеры зубчатого валка: диаметр – 650 мм, длина – 600 мм, зернистость исходного материала – 80-200 мм, зернистость продукта – 0-80 мм, производительность – 80 т/час.	1
4. Комбинированная машина сухого обогащения FGX-12	Площадь рабочей поверхности – 12 м2, крупность обогащаемого угля – 0-80 мм, производительность – 80 т/час, эффективность обогащения – 90%.	1
5. Конвейер ленточный рядового угля с опорными конструкциями, площадками, лестницами, загрузочным и разгрузочным лотками	Ширина ленты – 800 мм, длина конвейера – 30,95 м, крупность питания – 0-200 мм, скорость ленты – 1,4 м/с, угол установки – 17*	1

Репозиторий КарГУ

6. Конвейер ленточный подачи на машину сухого обогащения с опорными конструкциями, площадками, лестницами, загрузочным и разгрузочным лотками	Ширина ленты – 800 мм, длина конвейера – 36,62 м, крупность питания – 0-80 мм, скорость ленты – 1,4 м/с, угол установки – 17*	1
7. Конвейер ленточный концентрата с опорными конструкциями, площадками, лестницами, загрузочным и разгрузочным лотками	Ширина ленты – 800 мм, длина конвейера – 29,75 м, крупность питания – 0-80 мм, скорость ленты – 1,4 м/с, угол установки – 17*	1
8. Конвейер ленточный отходов и промпродукта с опорными конструкциями, площадками, лестницами, загрузочным и разгрузочным лотками	Ширина ленты – 500 мм, длина конвейера – 12,00 м, крупность питания – 0-80 мм, скорость ленты – 1,4 м/с, угол установки – 17*	2

Обсуждение результатов: В период с 2016г. по 2019 г. на комбинированной машине сухого обогащения было переработано 509,76 тыс. т. рядового угля, из них: 146,88 тыс. т. обогащенного угля и 362,88 тыс. т. промпродукта.

Уголь, подготавливаемый к обогащению имеет следующие базовые характеристики: теплота сгорания (калорийность) – 3500 ккал/кг, зольность – 23,5 %, влага – 19,5 %. Пройдя все ступени сухого обогащения, продукт значительно улучшает свои характеристики и имеет уже следующие параметры: теплота сгорания (калорийность) – 4300 ккал/кг, зольность – 19%, влага – 14,5 %.

Таким образом, можно сделать заключение, что комбинированная машина сухого обогащения типа FGX-12 максимально эффективна при работе с бурыми углями, так как ни один из других методов обогащения угля не показал такого улучшения характеристик угля.

Обогащение угля снижает зольность и значительно увеличивает отдаваемую мощность станции, уменьшает вредные выбросы в окружающую среду. Качество сжигаемого угля влияет на мощность станции, а химический состав золы – на эксплуатационные параметры топки. Процесс обогащения угля, который основан на использовании различных физических сил, изменяет характеристики рядового угля в направлении, наиболее соответствующем требованиям рынка. В мире наблюдается тенденция, когда потребители угля для энергетических целей ужесточают требования к производителям угля по уменьшению влаги угля, его зольности и снижению содержания серы. Так, существуют Правительственные программы по снижению зольности добываемых углей, что предполагает не только значительное повышение калорийности топлива, но и позволяет решить экологические проблемы, связанные с уменьшением выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду более чем в 2 раза.

Литературы:

1. Зарубин Л. Г, Благова З. С. Современная техника и технология тяжелосреднего обогащения. /Учеб. пособие. – Москва, 1982. – 102с.

2. Инструкция по монтажу и эксплуатации FGX – 12. Машиностроительный завод Шэн Чжоу. – 2009.

3. Проект строительства и эксплуатации комбинированной машины сухого обогащения. ТОО «Карагандагипрошахт и К». – 2010.

4. Усольцева И.О., Передерин Ю.В., Крайденко Р.И. Обогащение углей: современное состояние технологий //Ползуновский Вестник. – 2017 г. – № 3. – С.131-136.

Репозиторий КарГУ

Д.Ж. Қарабекова, Б.Р. Нүсіпбеков, А.К. Хасенов, Қисабекова П.Ә., Сабитова М.Б.
Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті

Жылу желілерінің жай-күйін бақылау

Жылу энергиясының негізгі тұтынушылары өнеркәсіптік кәсіпорындар және тұрмыстық-коммуналдық шаруашылықтар болып табылады. Көптеген өндірістік тұтынушылар үшін бу немесе ыстық су түріндегі (қанық немесе қыздырылған) жылу энергиясы қажет.

Жылу жүйелерінің негізгі элементі - құбыр желісі, ол дәнекерлеу көмегімен өзара байланысқан болат құбырлардан тұрады: оқшауланған құрылым, құбыр желісін сыртқы коррозиядан, жылу шығындарынан қорғауға арналған және көтергіш құрылымды пайдалану кезінде қажетті құбыр желісінің салмағын және күшін қабылдаушы болады.

Жылумен оқшаулау жылу тұтынушыны тасымалдау кезінде жылу шығындарын төмендету үшін құбыр желісіне жапсырылады. Магистраль және шағын аудандық пайдалану желілерінде жылу энергиясының шығындалуы көбіне оқшауланатын материалдарға, технологияға және құбыр желілерінің пайдалану шартына байланысты.

Ұйымдастырушы және технологиялық аспекті мүмкіндігінің жүзеге асырылуы энергияны үнемдеу қорына кіреді, яғни бірлік өнімді дайындауға жұмсалатын энергия шығынын бірталай азайтуға мүмкіндік туғызатын алдыңғы қатарлы озық технологияларды енгізу, ертеден келе жатқан өндірістерді техникалық қайта қаруландыру, энергияны үнемдейтін шаралар енгізу.

Энергияны үнемдеу ресурстарды сақтаумен тығыз байланысты екенін атап өткен жөн, соның ішінде біздің мемлекетімізде көп мөлшерде қолданылатыны тұщы су. Өз кезегінде, бағасы едәуір энергетикалық құрамдас бөлік болып табылатын ресурстарды үнемдеу энергияны үнемдеуге әкеледі. Жылулық энергияны өндірушіден қолданушы объектіге дейін тасымалдағанда жылулық шығындарды бақылаудың маңызы зор, себебі жылу құбырларының жылулық оқшаулауында кемшілік жоқ емес. ТМД-ның басқа елдеріндегі сияқты, Қазақстанның да жылулық жүйелері әлемдегі ең көп тармақталған болып табылады және ондаған жылдар бойы олардың күйі қандай да бір құралдардың көмегімен тексерілмеген, ал оның нәтижесі түрлі шығындарға апаратын көптеген апатқа әкеліп соқтыруы мүмкін.

Сонғы кездері қалалардың орталықтандырылған жылумен қамтамасыз ету жүйелеріндегі жиі болатын апаттар инженерлік инфрақұрылымның кемшіліктері шектен тыс қажытып тастады және тұрғындардың қалыпты тіршілік әрекеті шарттарын қамтамасыз етуде оның рөлі қаншалықты маңызды екенін көрсетті, мемлекеттің стратегиялық міндеттерінің ішіне жылумен қамтамасыз ету жүйелерінің даму және қайта жаңғырту мәселелерін алға шығарды.

Нақтырақ айтсақ, өндірістік шарттарда жылутехникалық тәжірибелер өткізу керек екенін айтамыз, ол тәжірибелерде тасымалдаудың статикалық, сонымен қатар динамикалық режимдерінде объектілердің диагностикасы мен мониторингін өткізуге жағдай жасалады. Мұндай өндірістік тәжірибелер энергияны үнемдеудің техникалық негізі болып табылады және сәйкесінше метрологиялық қамтамасыз етуді талап етеді.

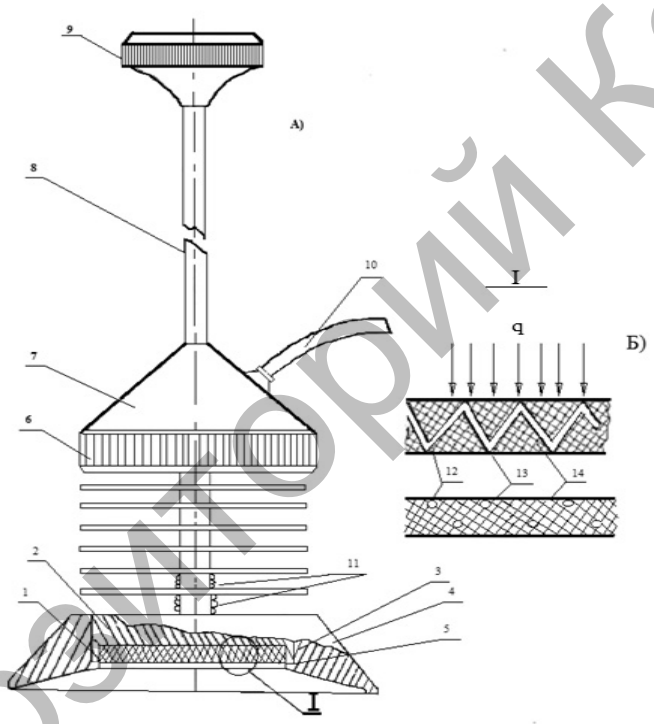
Мұнда жылулық энергияны есептеу ұйымдарының есебінен жылуды сақтауға, жылу тасымалдағыштардың қолайлы параметрлерін қолдау және жылутехникалық қондырғының, технологиялық құбырлардың және ғимараттардың сыртқы қоршауы бетінен қоршаған ортаға жылулық шығынды азайтуға басты назар аударылады. Соңғысы тиімді жылу оқшауланудың бар болуын және оның тұтастығын периодты түрде бақылауды болжайды.

Жылу өлшегіш құрылғы жылу өлшегіш блоктан және автономды батареялы электр қоректендірушісі бар электронды шағын көрсеткіш құрылғыдан тұрады. Жылу өлшегіш блоктың негізгі элементі – жылулық ағынның жылуэлектрлі батареялы түрлендіргіші.

Репозиторий КарГУ

Жылулық ағынның термоэлектрлі түрлендіргіші ішінде жылуөлшегіш блок орналасқан, оның негізінде батареялы термоэлектрлі құрылғы жатыр. Термоэлектрлі құрылғы шектеулі цилиндр формасында орындалған, оның бір табаны жұмыс беті болып табылады, ал екінші табаны температурасы қоршаған ортаның температурасына тең денемен жылулық байланысқа келтірілген.

Локальді жылулық ағындарды өлшеу үшін (жылулық желілердің изоляциясы, энергетикалық құрылғылар, пештер, технологиялық қондырғылар арқылы) жылу өлшегіш датчик жұмыс режиміне келтіріледі, ол үшін қондырғы бетінен нормативті жылу шығындарымен жылу берілу бақылауға алынады. Кіріктірілген қыздырғыш көмегімен қондырғының шығысында нөлдік дабылға қол жеткізіледі. Қыздырғыш жасайтын жылулық ағын реперлі болып табылады, олармен зерттеліп отырған объектілердің жылулық ағындары салыстырылады. Оқшаулаудың мүмкін болатын ақаулары бар аумақтары қондырғының шығысындағы дабылдың жоғарылауына себепші болады.



1 – жылулық ағынның термоэлектрлі батареялы түрлендіргіші; 2 – жылу өлшегіш блоктың корпусы; 3 – қорғағыш бленда; 4 – экран; 5 – полиэтиленді қабықша; 6 – ілме сомын; 7 – қақпақ; 8 – ұстағыш; 9 – тұтқа; 10 – шоғырсым; 11 – температура түрлендіргіші; 12 – негізгі термоэлектрод; 13 – қос термоэлектродты материалдың гальваникалық жүргізілген қабаты; 14 – электризоляциялы жалғау

Сурет 1. Жылу өлшегіш блогының құрылғысы (А) және жылулық ағынның термоэлектрлі батареялы түрлендіргішінің сызбасы (Б)

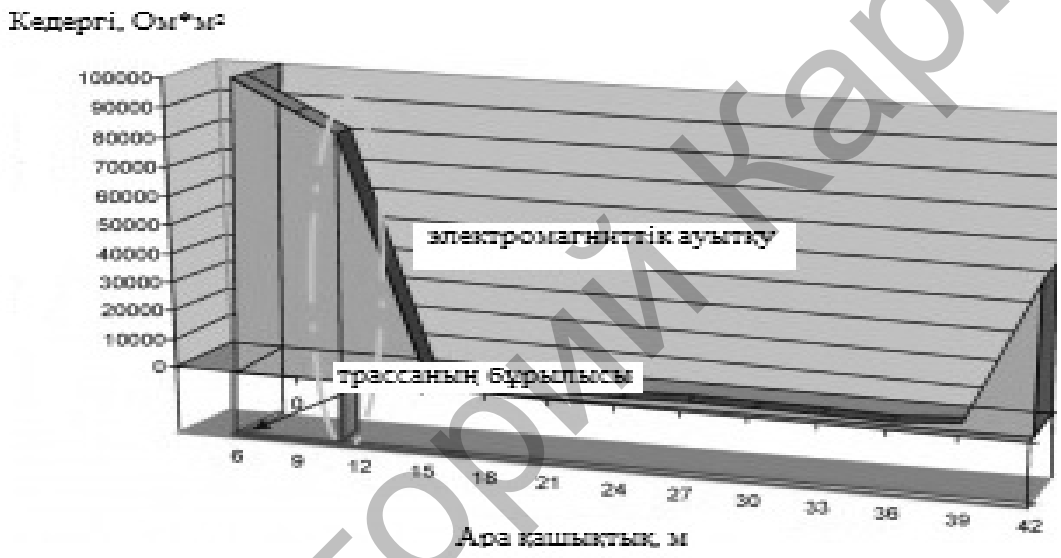
Жерасты жылу желілерінде жылудың транспорттық шығындары жылумен қамтамасыз етудің орнықты режимі мен қашықтағы инфрақызыл суреттемені жүргізудің мүмкін болатын ауа райы шарттарында жылыту кезеңінің кез келген уақытында анықталуы мүмкін. Нақтылы жылу шығындарды есептеу үшін тірек аймақтары жылу құбырларының әр тобы үшін жүзеге асырылады, олар үшін жылулық ағынның нормаланатын сызықтық тығыздығы 1,5 еседен артық шамаға ерекшеленеді. Ол шама жылу құбырының диаметріне және

Репозиторий КарГУ

жылутасымалдағыш пен топырақтың орташа жылдық температурасынан тәуелді нормативті техникалық құжаттарда анықталған.

Жылулық шығынның салыстырмалы мәндерін топырақ бетіндегі жерасты жылу құбырларын жауып тұратын температуралық контрасттар бойынша анықтайды. Жерасты жылу құбырларын жауып тұратын температуралық контраст – жылуқұбырынан алыстау ара қашықтықта дәл сондай беттің жылу құбыры және реңкілі температура арасындағы температуралар (термодинамикалық немесе радиациялық) мәндерінің айырымы.

Жылулық шығынның салыстырмалы мәндерін топырақ бетіндегі жерасты жылу құбырларын жауып тұратын температуралық контрасттар бойынша анықтайды. Жерасты жылу құбырларын жауып тұратын температуралық контраст – жылуқұбырынан алыстау ара қашықтықта дәл сондай беттің жылу құбыры және реңкілі температура арасындағы температуралар (термодинамикалық немесе радиациялық) мәндерінің айырымы.



Температуралық контрасттардың мәндері іс жүзінде бір мезгілде (1 – 3 сағат ішінде) өлшенуі қажет немесе кейбір орындардағы қайталанбалы өлшеулер берілгендері бойынша бір уақытқа келтірілуі қажет. Жылу ағынының сызықтық тығыздығының (тіректі аймақтарда өлшенген) шамасы туралы нақтылы мәліметтер жылу желілерін зерттеудің қашықтағы инфрақызыл әдісімен бірге үйлесімде айрықша маңызға ие болады. Жылулық диагностика материалдары бойынша анықталған жылумен қамтамасыз ету желілерінде жылу ағынының сызықтық тығыздығының салыстырмалы мәндерін байланыстыру негізінде тіректі аймақтарда өлшенген нақтылы мәндерге барлық зерттеліп отырған желі бойынша жылулық шығындар мәндерінің сандық үлестірілуін алуға болады, яғни, нақтырақ айтсақ, жүргізілген өлшеулер нәтижелеріне шкала түсіру. Жерасты жылулық желілерінің тіректі аймақтарында жылулық шығынның нақтылы шамасын өлшеу де өзіндік әдістемелік мағынаға (мәнге) ие болады.

Өлшеу нәтижелері бақылау деректері ретінде жылумен қамтамасыз ету желілерінде транспорттық жылулық шығындардың басқа да әдістері үшін, жылулық шығындар мәнінің уақыттан тәуелділігін тікелей эксперимент көмегімен анықтау үшін (маусымдық шарттар бойынша және жылутасымалдағыш температурасының өзгеруі кезінде), сонымен қатар жылу беру маусымы барысында жылулық шығын бойынша нақтылы энергетикалық сипаттаманы анықтау үшін қолданылуы мүмкін. Жылу тасымалдағыштың температурасы өзгерген кезде жылулық шығын өлшемін әр 1 – 3 сағат сайын, жылумен қамтамасыз етудің белгіленген режимінде – 2 – 3 күнде бір рет жүзеге асырған жөн.

Репозиторий КарГУ

Жылулық сәулеленуге негізделген бақылау құрылғылары құрылыс материалдарының немесе конструкциялардың түрлі параметрлерінің күйін тексеруге немесе жедел бақылауын, олардың бүтіндігін және сыртқы күйін бұзбай нормативті құжаттар мен техникалық тапсырмаларға сәйкестігін жүргізуге мүмкіндік береді. Құрылыс материалдарының және олардан жасалатын бұйымдардың сапасын бақылау – осындай аспаптарды қолдануды талап ететін көптеген салалардың бірі.

Негізгі бақыланатын параметрлер: кірпіш немесе бетонды өнімдердің беріктігі, бетонға арматураны бітеудің тереңдігі, бүтін бетонды блоктағы қуыстың бар болуы, жүргізілген лак және бояудың сапасы мен қалыңдығы, ағаш немесе сылау өнімдеріндегі ылғалдың пайыздық құрамы, металдан жасалған өнімдердің қалыңдығы мен қаттылығы, дәнекерленген жердің сапасы, жылуқұбырларының ішкі күйі және т.б. Жылуөлшегіш құрылғысы жылу желілерінің зақымданған бөліктерін анықтауда өндіріс салаларында қолданыс табуы мүмкін.

Әдебиеттер

1. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н.. Неразрушающие методы контроля. Учебное пособие. - 2007. -243с.

2. Алияров Б.К. и другие. Классификация и систематизация потерь в теплоснабжении. «Энергетика и топливные ресурсы Казахстана» 2002 №9.

3. Кузнецов Н.С. Теория и практика неразрушающего контроля изделий с помощью акустической эмиссии. М.: Машиностроение, 1998. 96 с.

4. Нусупбеков Б.Р., Карабекова Д.Ж., Абдыкова, Г., Жакиев Н. Моделирование и разработка теплометрических датчиков для неразрушающего контроля теплотрасс. - Научное и творческое наследие академика Е.А.Букетова: Материалы международной научно-практической конференции /Караганда, 2015.– С.381-384.

5. Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Khassennov A.K Heat flow meter for the diagnostics of pipelines-Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments. –2016.

Д.А. Оспанова[1], З.К. Айтпаева[1], Ж.К. Бакиева[2], И.Б.Рымбекова[3], М. Шапай[4]
[1]Академик Е.А. Бөкетов атындағы ҚарМУ, [2]«КӘАҚҚ РОШ» ЖШС Қарағанды филиалы, [3]Қарағанды политехникалық колледжі, [4]№53 ЖББ МЛ

Күрделі құбырлардағы соққы толқын құбылыстарын зерттеудің тәжірибелік нәтижелері

Импульстік қысым динамикасында электрлік разряд кернеулігінің артуымен байланысты теориялық қорытындыны тексеру мен эффектінің сапасын бағалау мақсатында, арнайы конустық бұрышы бар, айнымалы кималы арнадағы сұйықта электр разрядын тудыруға мүмкіндік беретін қондырғыда тәжірибелік зерттеу жұмыстары жүргізілді. Тәжірбиелік қондырғының сызбалық нұсқасы 1 суретте келтірілген.

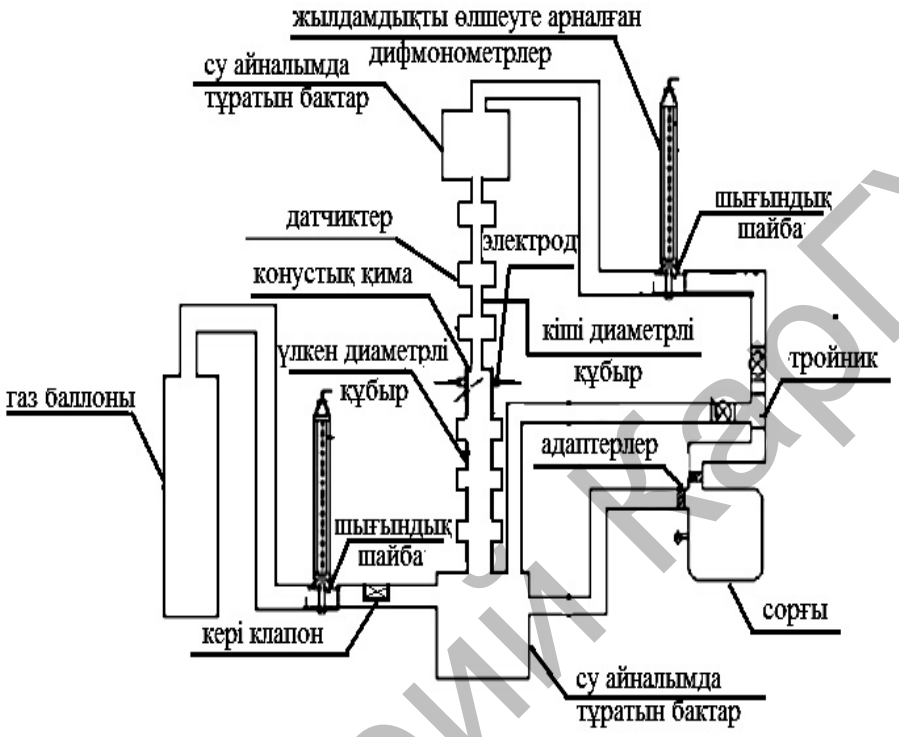
Тәжірибелік зертханада жұмыстық арнаның ішіндегі электродтардың арақашықтығы тұрақты, сондай-ақ разряд контурының индуктивтілігі мен энергия жинағыштың сыйымдылығы тұрақты болып қалады. Бұл жұмыста сыртқы разрядниктің электродтар арасындағы арақашықтық 1мм мен 5мм аралығында өзгеріп отырды /1/.

Тәжірибелік жұмыс екінші бөлімде қарастырылып кеткен жұмыстық арнада жүргізілді. Жұмыстық арна қатты материалдан жасалынған, оның ұзындығы 0,5м, кіші құбырдың диаметрі 20 мм, ал үлкен құбырдың диаметрі 30 мм.

Тәжірибе барысында айнымалы қима арна ішіндегі белгілерді пьезоэлементті датчик қабылдап, компьютерге жібереді. Компьютерге жіберілген белгі арнайы PCLab 2000 бағдарламасы арқылы PCS500 сандық осциллографының көмегімен қабылданып отырды.

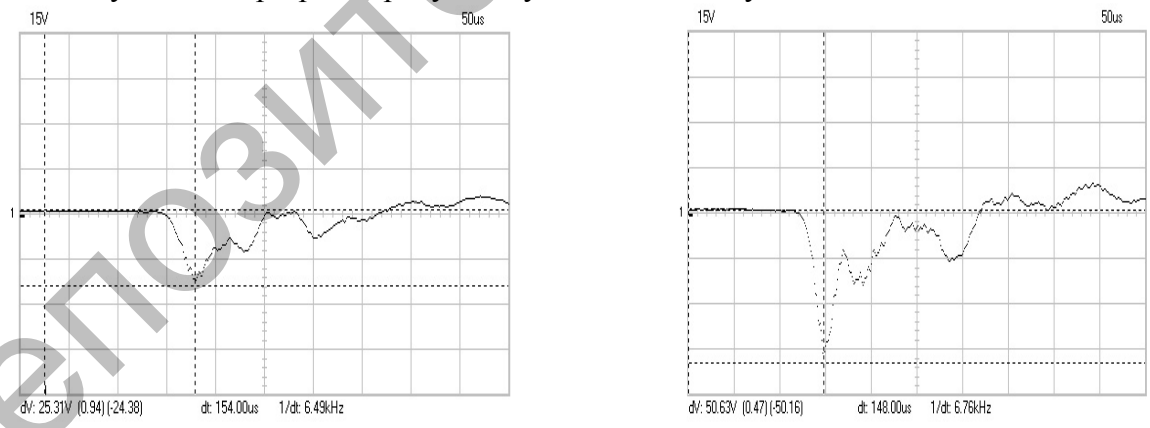
Репозиторий КарГУ

PCS500 сандық осциллографының көмегімен қабылданған белгінің бейнелерін толық зерттеу және сараптау жұмыстарын жүргізу үшін компьютердің жадында сақталып отырды.



Сурет 1. Қондырғыдағы тәжірибелік аймақтың сызбалық сүлбесі

Жасалынған тәжірибе нәтижелері 2 суреттерде көрсетілген, онда соққы толқынының қысым амплитудасының разряд кернеуіне тәуелділігін байқауға болады.



а) б)

киловольтметрдегі кернеу: а) 3 кВ, б) 12 кВ; разрядниктегі электрод арақашықтығы: а)1 мм, б) 4 мм

Сурет 2. Жұмыс арнасындағы электрод арақашықтығы 1 мм кезіндегі кіріс кернеуінің уақыт бойынша өзгерісі

Бұл суреттерде сыртқы разрядниктегі электродтар арақашықтары әртүрлі. Алынған диаграммалық бейнелер бағдарламаның арнайы маркерлері арқылы өңделіп отырды, онда тәжірибелік жұмысқа берілген кернеудің мәндері мен өңделудің уақыттарын анықтауға

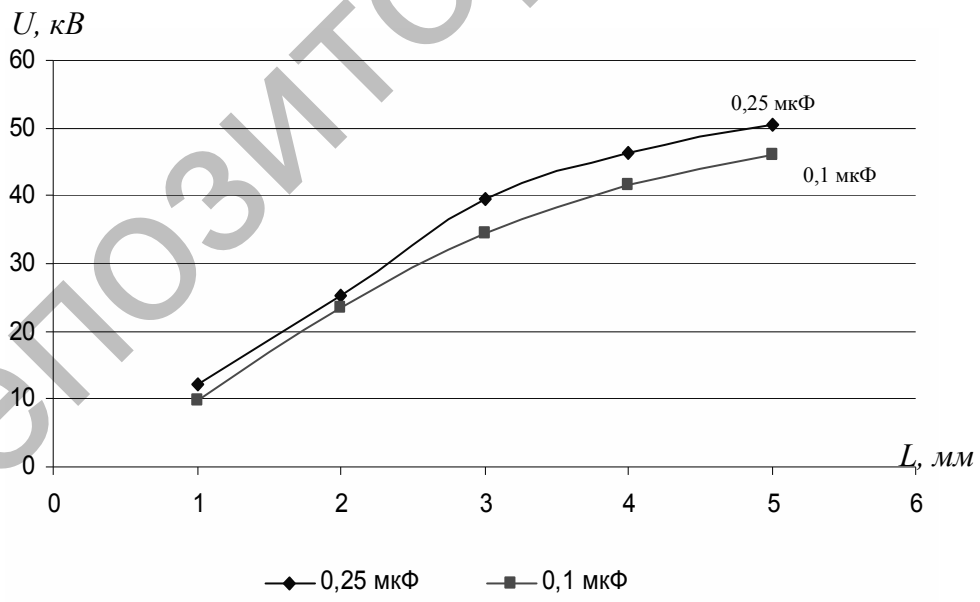
Репозиторий КарГУ

болады. Сандық осиллографтың максималды қабылдау кернеуі 100кВ, сондықтан ол қондырғыға арнайы реттегіші бар бөлгіш (делитель) арқылы жалғанды.

Алынған графиктері сипаттай келе мыналарды айтуға болады: ең үлкен шек соққы толқыны әсері кезінде пайда болған қысымға сәйкес келеді. Ол сұйықта электрлік разрд пайда болғаннан кейін, пьзометрлік датчик көмегімен қабылданды. Ал келесі төменгі шектер шағылатын соққы толқынның әсері кезінде пайда болған қысымдарға сәйкес келеді Одан кейінгі қабылданған қысымдар, электрлік жарылыс жүргізілген ортадағы сөнген тербелістерге тең /2/.

PCLab 2000 бағдарламасы арнайы тік маркерлер көмегімен дабыл биіктіктерін өлшеуге мүмкіндік береді. Олардың нәтижелері экранның сол жақ төменгі бөлігінде көрсетілген. Сонымен қатар, дабыл ұзақтылығын өлшуге арналған көлденең маркерлер де қолданылады. Бұлардың, яғни уақыттың шамасы экранның төменгі орта бөлігінде көрсетілген. Сандық осциллограф автоматты түрде уақыт шамасының оң жағында көрсетілген жиілікті анықтайды. Экранның жоғарғы жағына бөлінгіштің шамасы шығады. X осі бойынша - вольтпен, Y осі бойынша - секундпен. Жасалынған тәжірибелік жұмысты нақтылай түсу үшін зерттеу жұмысы сыйымдылығы әртүрлі конденсаторлармен жасалынды /3/. 3 суретте тәжірибелік қондырғыдағы конденсатор сыйымдылығы әртүрлі кездегі кіріс кернеуілінің разряд электордтарының арақашытығына салыстырымалы тәуелділігі көрсетілген.

Бұл суреттен байқайтынымыз, неғұрлым конденсатордың сыймдылығын арттыратын болсақ, онда сыртқы электродтар арақашықтығын арттырған сайын соғұрлым кіріс кернеулігі артады. Сыртқы электродтардың арақашықтығы 1мм болатын болса, онда конденсатор сыйымдылығы 0,25мкФ болғанда, кіріс кернеуі 11В тең, ал конденсатор сыйымдылығы 0,1мкФ болғанда, кіріс кернеуі 10В тең, яғни екеуінің арасындағы айырымы 1В құрайды. Ал, электрод разрядтарын тудыратын электродтар арасындағы арақашықтық 5мм болатын болса, онда конденсатор сыйымдылығы 0,25мкФ болғанда, кіріс кернеуі 50В тең, ал конденсатор сыйымдылығы 0,1мкФ болғанда, кіріс кернеуі 46В тең, яғни екеуінің арасындағы айырымы 4В құрайды.



3 сурет. Конденсатор сыйымдылығы 0,1 мкФ және 0,25 мкФ кезіндегі кіріс кернеуінің разряд электордтарының арақашытығына салыстырымалы тәуелділігі

Репозиторий КарГУ

Әдебиеттер:

1. Оспанова Д.А. Исследование распределения импульсного давления ударной волны газожидкостного потока. «Наука, Новые технологии и инновации Кыргызстана»: №2 Республиканский научно-теоретический журнал. Бишкек, 2017.-С.9-14.

2. Нусупбеков Б.Р., Сатыбалдин А.Ж., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А. Исследование влияния ударной волны на движение газожидкостного потока по каналам переменного сечения. Научный журнал Физика №2. Бишкек, 2016.-С.162-168.

3. Оспанова Д.А., Айтпаева З.К., Булкаирова Г.А., Темірова А.П. Жоғарывольтті разряд кезіндегі қосфазалы ағын динамикасын зерттеу «Актуальные проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики» Материалы Республиканской научно-практической конференции посвященной 80-летию профессора Ж.С. Акылбаева (28 сентября, 2018г.) Караганда: Изд-во КарГУ, 2018.- С.257-262.

А.Рахманқызы[1], К.М. Шаймерденова[1], В.И Киврин[2], А.С.Тусыпбаева[1],
Карагандинский государственный университет имени академика Е.А. Букетова, Казахстан, ТОО «Эргономика», г.Караганда, Казахстан

Анализ организации энергетических обследований и энергетического аудита

Введение: Существует много методов повышения рационального использования энергетических ресурсов. Чем раньше предприятие начнет внедрять энергосберегающие технологии, тем быстрее оно ощутит положительный эффект мероприятий. И первым шагом должно стать энергетическое обследование.

Энергетический аудит – это техническое инспектирование, энергогенерирование и энергопотребление предприятия с целью определения возможности экономии энергии и предоставление помощи предприятию в осуществлении мероприятий, которые обеспечивают экономию энергоресурсов на практике.

На сегодняшний день энергетический аудит стал наиболее востребованной услугой в секторе повышения энергетической эффективности, появилась необходимость сокращения потерь энергии, внедрения энергосберегающих технологий. Энергетический аудит имеет достаточно много классификаций.

Энергетический аудит – систематическая процедура для получения достоверных сведений о реальном состоянии энергопотребления здания, для выявления и оценки экономически рентабельных возможностей экономии энергии и для отчетности о полученных сведениях.

К целям энергоаудита можно отнести: выявление источников нерациональных энергозатрат и неоправданных потерь энергии; определение показателей энергетической эффективности; определение потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности; разработка целевой, комплексной программы энергосбережения [1].

Энергомониторинг – отслеживание установленных и фактических параметров энергопотребления [2].

Таким образом, энергетический аудит позволяет получить объективные данные о состоянии расходования топливно-энергетических ресурсов предприятием, определить показатели энергетической эффективности и выявить потенциал энергосбережения, а также разработать мероприятия по повышению энергетической эффективности.

Целью работы являлась практическое проведение энергетического аудита здания с расчетами нормативного и фактического потребление тепловой энергии.

Использованное оборудование, описание объектов энергоаудита: При проведении замеров в рамках энергоаудитов, использовалось соответствующее оборудование. Под оборудованием понимается комплекс средств измерений, которые должны удовлетворять определенным требованиям к приборам для энергоаудита [3].

Репозиторий КарГУ

Объектом исследования является Больница Шахтеров, Медсанчасть, расположенная по адресу город Караганда, Казыбекбийский район, ул. Кривогуза, 10.

Согласно результатам тепловизионной съемки (рисунок 1), выявлено, что:

- уплотнения и запорные механизмы пластиковых окон не обеспечивают герметичность в местах соприкосновения рамы окна и его створки;

- пространство между рамой окна и оконным проемом утеплено недостаточно, поэтому по периметру рамы окна наблюдаются мостики холода.

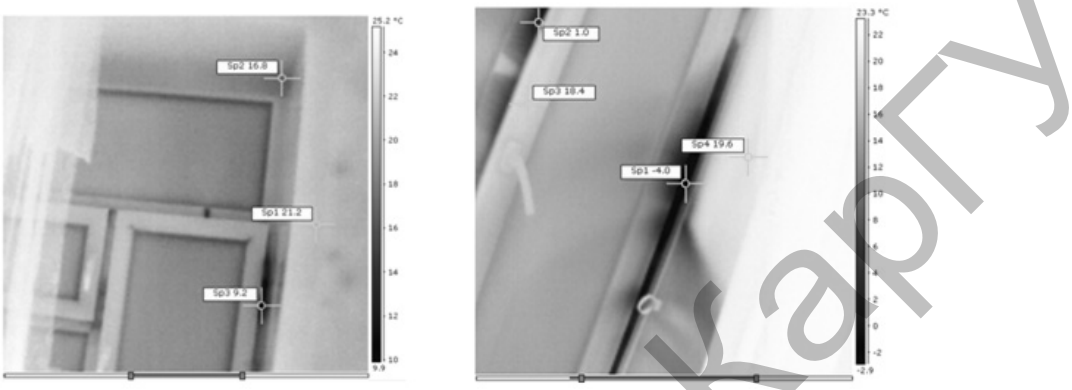


Рисунок 1. Термограммы пластиковых окон

На вышеуказанном рисунке, термограммы пластиковых окон, на которых видно, что по периметру створок окна из-за некачественного уплотнителя и запорного устройства, холодный воздух с улицы проникает в помещения. Температура створки окна достигает температуры 21°С, а в местах поступления воздуха опускается до -4°С.

На рисунке 2 указаны термограммы окон, по периметру рамы которых наблюдается мостик холода из-за недостаточного утепления пространства между рамой окна и оконным проемом. Температура на мостиках холода опускается до 1,4°С.

В связи с некачественными элементами окон и их монтажа, происходят дополнительные теплопотери по периметру рамы и створок окон. Общая площадь потерь тепла составляет примерно 31 м^2.

По данным тепловизионной съемки, разница максимальной и минимальной температуры, приведенной к средней температуре наружного воздуха (-7°С) составляет примерно 15°С.

$$Q_{стен}=(375{,}18\cdot 22{,}2)+(350{,}07\cdot 21{,}8)+(480{,}8\cdot 20{,}4)+(300{,}35\cdot 19{,}3)= 31565{,}6 \text{ Вт} \approx 31{,}6 \text{ кВт}$$

Таким образом, тепловые потери через стены получаются примерно 31,6 кВт, что составляет 22,5% от средней проектной нагрузки.

Однако визуально видно, что стены имеют обрушение штукатурки, в связи с чем была выполнена тепловизионная съемка, по результатам которой выявлено, что:

1. Имеются частичное обрушение штукатурки стен (рисунок 3).

На вышеуказанном рисунке, показаны термограммы стен, на которых видно, что произошло частичное обрушение штукатурки. В связи с этим поверхность стены имеет разную температуру, которая изменяется от 15 до 20°С.

2. Промерзают стыки стен с потолком, а также углы стен угловых помещений (рисунок 4).

Репозиторий КарГУ

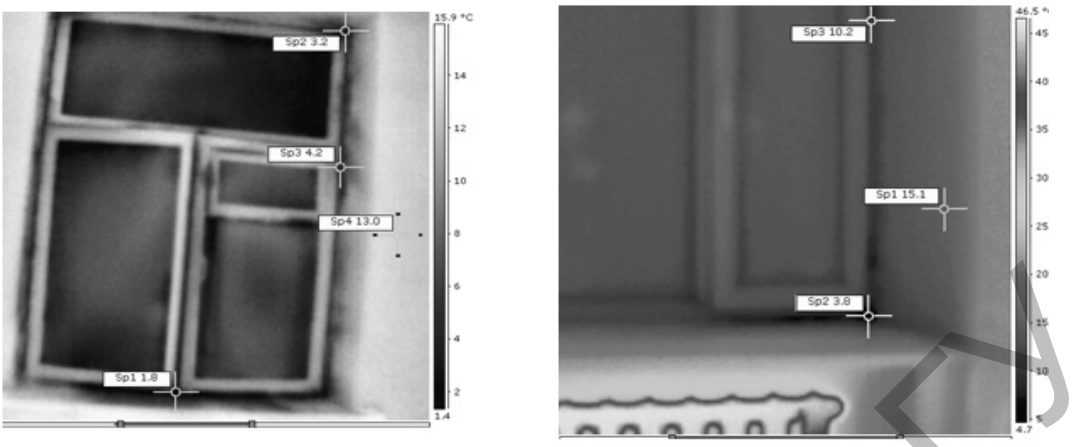


Рисунок 2. Термограммы окон

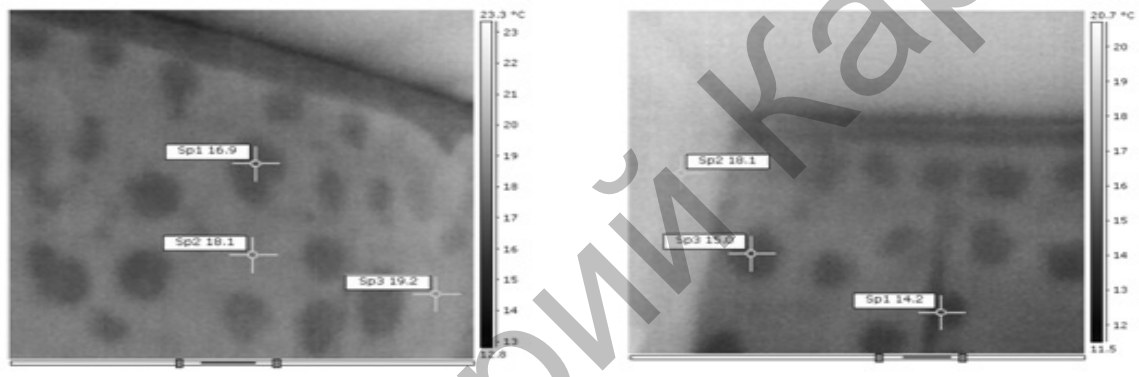


Рисунок 3. Термограммы стен

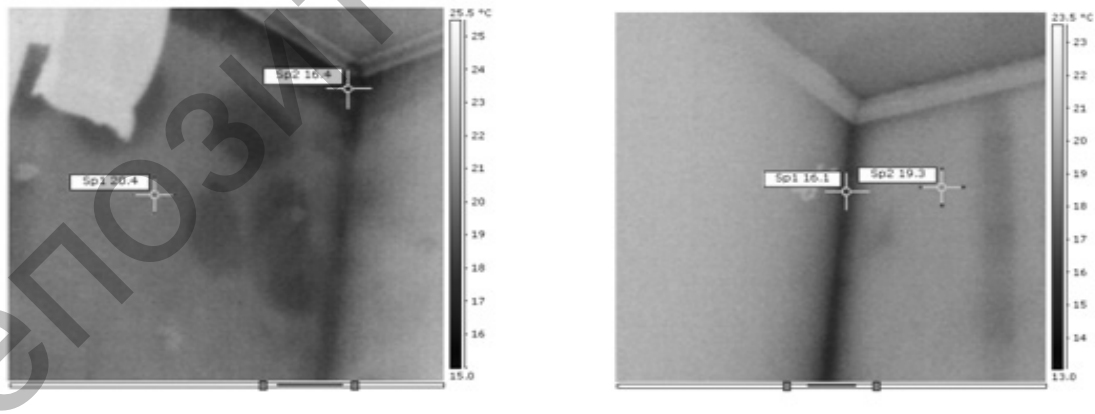


Рисунок 4. Термограммы углов

«Проблемными» участками на стенах являются места с обрушившейся штукатуркой, углы стен, а также места стыков стен и перекрытий потолков. По результатам тепловизионной съемки, ориентировочная площадь потерь тепла составляет 212 м^2.

Также, по данным тепловизионной съемки, разница максимальной и минимальной температуры, приведенной к средней температуре наружного воздуха (-7°) составляет примерно 2°С.

Имея все необходимые данные, коэффициент теплопередачи стены составит:

Репозиторий КарГУ

k=1/(1/10) + (0,7/0,67) + (0,03/0,9) + (0,002/0,001) + (1/15) = 0,31

следовательно,

$Q_{изол.стены}$=1433,6·29·0,31=12 888 Вт = 12,9 кВт.

Теплоснабжение здания осуществляется от системы централизованного теплоснабжения. Состояние оборудования приемлемое. Подвод системы теплоснабжения в здание осуществляется посредством трубопровода, проходящего транзитом по первому этажу здания в продольном направлении, и так как трубопроводы находятся в самом здании, как таковых теплопотерь нет, потому что все эти потери *положительные*. Система отопления – однотрубная с нижней разводкой. Трубопроводы системы отопления частично заизолированы урса. Трубопроводы в чердачных помещениях: длина трубопроводов в чердачных помещений, не имеющих теплоизоляцию около 185 м., диаметр трубопровода 40 мм.

По данным измерения с помощью пирометра температура поверхности трубопровода составляет 71°С, температура в чердачных помещениях -7°С (принимаем температуру в чердачных помещениях равной температуре наружного воздуха, так как теплоизоляция кровли отсутствует ΔТ=78°С).

Имея все необходимые значения, получим:

$Q_{труб.черд.}$=23,24·78·15=27 191 Вт = 27,2 кВт.

Теплопотери неизолированных трубопроводов в чердачных помещениях составит примерно 27,2 кВт.

Таким образом, суммарная мощность тепловых потерь на трубопроводах системы отопления в чердачных помещениях составит 27,2 кВт, что составляет около 25% от средней проектной нагрузки.

Заключение: По результатам энергоаудита были сделаны следующие выводы:

1. Из выполненных расчетов следует, что средняя нормированная нагрузка 0,1 Гкал/час меньше средней проектной нагрузки 0,19Гкал/час. В данный момент, оплачивать тепловую энергию по норме выгоднее, чем по приборам учета тепла, так как оплата не зависит от года постройки дома и его этажности. Поэтому установка системы теплового учета на данный момент невыгодна, так как оплата будет в 1,5 раза больше. Однако внедрение мероприятий по энергосбережению (замена окон, утепление фасада здания и др.) позволит уменьшить тепловую нагрузку, а оплачивать услуги по теплосчетчику жильцы будут меньше чем по норме.

2. При замене существующих окон на двухкамерные стеклопакеты 4-16-4-16-4K, мощность тепловых потерь через окна сократится на 12,89 кВт (0,011 Гкал/час), или примерно в 2 раза.

3. При выполнении теплоизоляции стен теплоизолирующей краской «Супер термо» с толщиной слоя 2 мм, мощность тепловых потерь через стены сократится примерно на 25,93кВт (0,022Гкал/час), что позволит уменьшить тепловые потери через стены примерно в 2 раза.

4. После выполнения работ по теплоизоляции трубопроводов, тепловые потери составит в чердачных помещениях примерно 14 кВт. Мощность тепловых потерь с трубопроводов в подвальных и чердачных помещениях составит 14кВт (0,012 Гкал/час).

Репозиторий КарГУ

5. При увеличении теплоизоляционного слоя из шлака, можно сократить мощность тепловых потерь тепла через потолок и сократить примерно на 10,7кВт (0,009Гкал/час), а тепловые потери через них уменьшаться примерно на 8,3%.

Литературы:

1 Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. Учебное пособие. М. – 2006.

2 Степанов В.С., Степанова Т.Б. Потенциал и резервы энергосбережения в промышленности. Новосибирск: Наука. Сиб. отдел.,– 1990. – 248 с.

3 Башмаков И.А. Барьеры на пути повышения энергоэффективности. //Научно-технический журнал: Энергоэффективность. – № 2, – 2011.

Сатыбалдин А.Ж., Айтпаева З.К., Сатыбалдин Н.Ж., Мадиханова А., Смагулова Д.
Карагандинский государственный университет г. Караганда Satybaldin.1975@mail.ru

Кинетика процесса активации органической массы высокомолекулярного углеводородного соединение с помощью короткоимпульсного разряда

Тяжелые нефти и нефтебитумы отличаются от обычных нефтей повышенным содержанием металлов (ванадия, никеля, железа, молибдена, меди, натрия), серы, азота и асфальтенов[1].

Исследование кинетики процесса пиролиза и деструкции гидрогенизации высоковязкой нефти с целью увеличения выхода светлых фракций необходимо при моделировании и определении оптимальных технологических параметров процесса обработки. Одним из важнейших этапов подготовки процесса к реализации является разработка надежных методов технологического расчета реактора, для осуществления которого необходимы данные о значениях констант скоростей основных реакций, энергии активации и других параметров, определяющих макрокинетику процесса. Как следует из многочисленных публикаций, большинство исследователей в основном ограничиваются первым уровнем, т. е. установлением параметров формальной кинетики, в ряде случаев вводя в уравнения некоторые эмпирические поправки, учитывающие влияние побочных эффектов — парциального давления сероводорода, водорода, массовой линейной скорости подачи сырья, внутри диффузионных ограничений и пр. [2].

Учитывая, что исходное сырье (тяжелая нефть, нефтяной остаток, нефтебитум) представляет собой сложную систему как в химическом, так и в физическом отношении, а все основные и побочные реакции протекают на поверхности полидисперсных катализаторов в условиях нарастающей дезактивации, исследование проблем кинетики процессов в гидрогенизации тяжелого углеводородного сырья (ТУС) строится на двух уровнях теоретических представлений. Известно, что реакция на высоковязкой нефти, гидрогенизации серосодержащих соединений с близкой реакционной способностью протекает по механизму реакции первого порядка в ограниченном интервале степеней превращения [3]. В связи с тем, что нефтяные остатки включают широкий спектр компонентов с различной реакционной способностью, при анализе экспериментальных данных по удалению серы наблюдается увеличение кажущегося порядка реакции. На первом уровне не учитывается гетерогенность протекания процесса, т.е. используются формальные подходы гомогенного катализа. На втором уровне используются макрокинетические методы гетерогенного катализа с учетом закономерности процессов, протекающих на зерне или в порах катализатора [4].

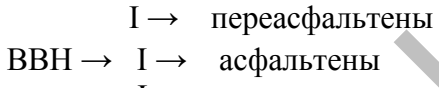
Выявление кинетических закономерностей имеет существенное значение при разработке научных основ процесса и вопросов его направленного осуществления.

Репозиторий КарГУ

Проведено математическое моделирование кинетики высоковязкой нефти в изотермических условиях. Авторы [5] предлагают схему превращения органической массы тяжелого углеводородного сырья (ОМТУС) при гидрогенизации с учетом обратных процессов:



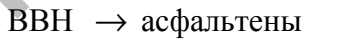
Изучению превращения высоковязкой нефти при малых временах контакта посвящены работы [6,7]. В работе [8] была исследована кинетика углеводородных соединений при температуре 400 – 450 °С, давлении 13,8 МПа, времени контакта 8 мин. Для кинетических расчетов была предложена следующая схема, учитывающая параллельные консекутивные превращения:

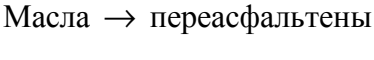


Результаты экспериментов, полученные при малом времени контакта, заметно отличаются от данных, полученных ранее, при длительных опытах. Характер изменения концентрации переасфальтенов позволяет считать, что образование этого компонента имеет порядок выше первого.

На основании полученных данных по изучению кинетики при коротком времени воздействия авторы [9] пришли к выводу, что стабилизация фрагментов высоковязкого углеводородного вещества в первую очередь протекает в результате диспропорционирования.

В процессе каталитической гидрогенизации высоковязкой нефти образуются твердые продукты, и ряд авторов стали вводить понятие максимальной степени конверсии ОМТУС. Ряд исследователей учитывали неполное превращение высоковязкой нефти, вводя обратные реакции:





Все реакции имеют первый порядок. Проведенные по этой схеме расчеты привели, на первый взгляд, к несколько противоречивому факту как большая величина обратных реакций. По-видимому, авторы считают, что в условиях дефицитности водорода, необходимого для стабилизации тяжелых углеводородных фрагментов, в качестве такого выступают масла. В соответствии с этим можно объяснить и тот факт, что скорость прямых и обратных реакций превращения тяжелой нефти в переасфальтены выше скоростей остальных реакции.

Таким образом, анализ литературных данных по кинетике гидрогенизации высоковязкой нефти показал, что превращения ОМТУС находятся в сложной взаимосвязи с многочисленными факторами. От относительно простых последовательных и параллельных кинетических схем исследователи переходят к более сложным, включающим обратимые превращения в последовательных и параллельных схемах, чтобы объяснить механизм превращения ОМТУС в жидкие продукты. Кинетическое описание гидрокрекинга фракции жидкофазной гидрогенизации с температурой кипения до 180 -360 °С может быт представлено следующим образом:

Репозиторий КарГУ

Сырье → бензин → газ.

Схема для второго сырья (фракция с температурой кипения 360-520 °С) усложняется тем, что наряду с бензином образуется компонент дизельного топлива (ДТ):

Сырье → ДТ → бензин → газ.

Тяжелые нефтяные остатки (ТНО), высоковязкие нефти (ВВН), нефтебитумы (НБ), как уже выше отмечалось, включают широкий спектр компонентов с различной реакционной способностью. Анализ литературных данных показывает всю сложность изучения кинетики ТНО, ВВН, НБ, определяющую различием в скоростях превращения серосодержащих соединений. В работе [10] предложен обзор кинетических моделей гидрогенизации тяжелых нефтей к нефтяным остаткам-:

ТНО → легкая нефть → газовые продукты с последующим превращением
Кокс ← асфальтены → масла → крекинг-продукты

Величины констант скоростей варьируются от 0,02 до 159 мин$^{-1}$ при температуре от 648 до 693 К, кажущаяся энергия активации измеряется от 85 до 200 кДж/моль. Авторы полагают, что величину энергии активации 168 кДж/моль можно отнести к реакции преобразования асфальтенов в кокс, а 201 кДж/моль к реакции крекинга. Высокие значения энергии активации были получены для реакции преобразования асфальтенов в масла и масел в асфальтены: 224 ± 15 и 284 ± 28 кДж/моль соответственно.

Приведенные кинетические модели в обзоре показывают всю сложность протекающих процессов (реакции конденсации, поликонденсации, крекинга).

Таким образом, анализ литературных источников по кинетике гидрогенизации тяжелых нефтяных остатков и высоковязких нефтей показывает, что для их промышленной реализации требуется экспериментальное определение кинетических параметров для каждого вида сырья.

Глубокое изучение механизма превращений органической массы высоковязкой нефти является необходимым условием для разработки новых высокоэффективных процессов гидрогенизации, выяснения оптимальных технико-экономических условий проведения процессов в зависимости от состава исходного сырья, создания новых видов оборудования и выбора конструкционных материалов.

Изучение кинетики и термодинамики процессов переработки высоковязкой нефти осложняется взаимозависимостью самых разнообразных факторов, в том числе различиями составов и свойств используемого исходного сырья.

На основе работ [11] при изучении кинетики гидрогенизации твердого и тяжелого углеводородного сырья было установлено, что наблюдается первый порядок реакции по исходному реагенту и нами принято, что кинетика термолиза ВВН с помощью коротко импульсных разрядов по концентрации исходной нефти подчиняется первому порядку.

Исследования кинетических закономерностей деструктивной гидрогенизации высоковязкой нефти имеет существенное значение при разработке научных основ термолиза ВВН с помощью коротко импульсных разрядов и ее осуществления.

Анализ данных по кинетике каталитического термолиза высоковязкой нефти с помощью направленного коротко импульсного удара. Учитывая литературные данные по кинетике гидрогенизации тяжелых нефтяных остатков и предложена следующая схема кинетики каталитической гидрогенизации ВВН, которая представлена на рисунке 1.

Репозиторий КарГУ

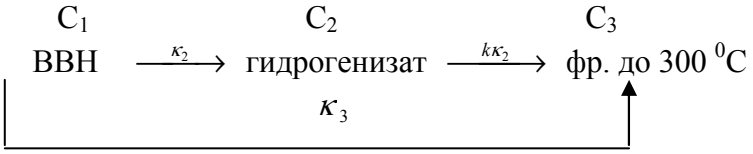


Рисунок 1 - Кинетическая схема каталитической гидрогенизации высоковязкой нефти

Скорость изменения каталитической обработки высоковязкой нефти с помощью коротко импульсных разрядов можно представить системой дифференциальных уравнений, решение которой позволяет рассчитать значение наблюдаемых констант скоростей $\kappa_i . (\kappa_1 - \kappa_3)$.

$$\begin{aligned} \frac{d[c_1]}{d\tau} &= -(k_1 + k_3) * c_1, \\ \frac{d[c_2]}{d\tau} &= k_1 c_1 - k_2\, c_2, \\ \frac{d[c_3]}{d\tau} &= k_2 c_2 + k_3 c_1, \end{aligned} \qquad (1)$$

где
$[C_i]$ – массовая доля продуктов в момент времени τ,
$[C_1]$ – доля высоковязкой нефти,
$[C_2]$– доля гидрогенизата,
$[C_3]$– доля выхода фракций до 300 ^{0}C,
k_1 – константа скорости реакции превращения в гидрогенизат, мин$^{-1}$,
k_2 – конст. скорости реакции превращения гидрогенизата во фракцию до 300^{0}C, мин$^{-1}$,
k_3 - константа скорости реакции превращения ВВН во фракцию до 300 ^{0}C, мин$^{-1}$
где $[C_i] = 1$,
k_i- суммарная константа скорости мин$^{-1}$.

Расчет системы уравнений (1) проводили на компьютере с использованием специальной программы «Поиск». Разработанная программа позволяет рассчитывать кинетические зависимости при заданных начальных условиях и проводить автоматизированный подбор методом градиента оптимальных значений констант скоростей $k_1 - k_3$. Оптимизация констант скоростей осуществлялась из условия минимума квадратов отклонении между экспериментальными и расчетными значениями массовых долей продуктов гидрогенизации высоковязкой нефти. Расчетные константы скоростей термолиза высоковязкой нефти, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Константы скорости термолиза ВВН

Константа скорости мин$^{-1}$	Стадия процесса
$k_1 = 0.52411$	высоковязкая нефть → гидрогенизат
$k_2 = 0.08132$	гидрогенизат → фр. до 300^{0}C
$k_3 = 0.23585$	высоковязкая нефть → фр. до 300^{0}C

В качестве критерия относительности расчета принята сумма квадратов минимизации отклонении. В результате расчета системы дифференциального уравнении (1) получено удовлетворительное соответствие между экспериментальными данными и расчетными значениям, представленными на рисунке 2.

Репозиторий КарГУ

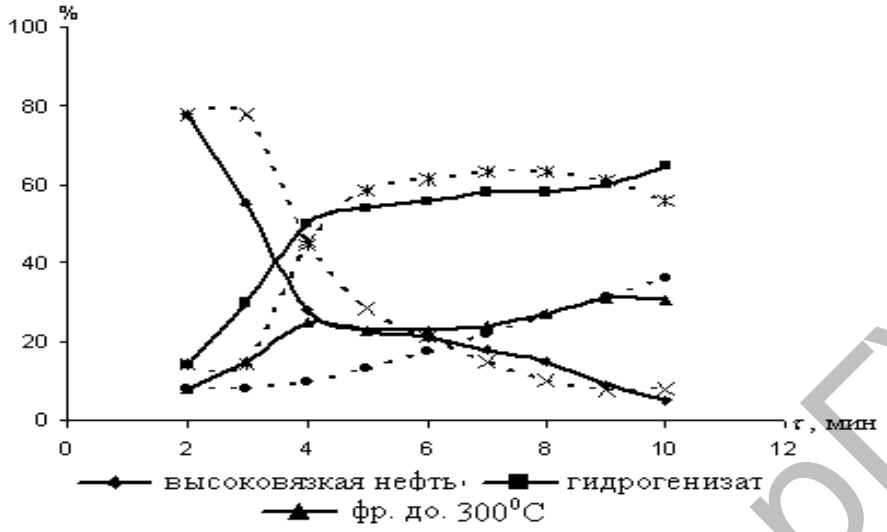


Рисунок 2 - Кинетические кривые термолиза высоковязкой нефти

Анализ кинетических кривых (рисунок 2) показывает, что с увеличением продолжительности увеличивается выход легкой и средней фракций.

Рассчитанные константы скорости в таблице 1 показывают, что можно судить о вкладе каждой константы k_1 скорости на выход легкой и средней фракций. На основе приведенных данных величин констант скоростей в таблице 1 основными стадиями термолиза ВВН с помощью коротко импульсных разрядов является стадия превращения ВВН в гидрогенизат. Наиболее вероятной стадией, лимитирующей скорость процесса термолиза ВВН с помощью коротко импульсных разрядов, является стадия превращения гидрогенизата во фракцию до 300 ^{0}C.

Литературы

1 Гагарин С.Г., Юлин М.К. Переработка угля в жидкое и газообразное топливо// Сб. тр. ИГИ. – М., 1981.- С. 13-18.

2 Kopsel A. Kinetics and Mechanism of Solution of High Volatile Coal // Chem. Techn.-1983.- №33. - P. 301.

3 Teager R. Coal Liquefaction Rate Constant Measurement // Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.-1980.- Vol. 19, №2. - P. 142.

4 Shah Y. Kinetics of Catalitic Liquefaction of Big Hom Coal in a Segmented Bed Reactor //Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.-1978.-Vol.17, №3. - P. 281.

5 Mohan G. Silla H. Kinetics of Donor Sulvent Liquefaction of bituminous Coals in Non-Isothermal Expperiments.// Ind. Eng.Chem.Process Des. Dev. - 1978. - № 230. - P. 349-358.

6 Moschopedis S. E. Hawkins R. W. Effect of Process Parameters on the Liquefaction of Coal Using Heavy oils Bitumen // Fuel Proces. Technology.-1982. - №5. - P. 213-228.

7 Гюльмалиев А.М., Абакумова Л.Г. Кинетические модели термической и гидрогенизационной переработки углей //Химия твердого топлива.-1996.- №2.- С. 77.

8 Гагарин С.Г., Кудрявцева Т.А. Зависимость эффективной константы скорости гидрогенизации угля от состава пастообразователя // Химия твердого топлива. - 1995. - №2. - С. 36.

9 Малолетнев А.С., Кудрявцева Т.А. Зависимость эффективной константы скорости гидрогенизации угля от типа каталитической системы // Химия твердого топлива. - 1995. С. 44.

10 Кричко А.А.., Малолетнев А.С. Гидрогенизация дистиллятных продуктов, полученных из угля // Fuel. - 1990. - Vol. 69, №3. - P. 344-348.

11 Waller S. Analysis and Scale-Up Consideration of Bituminous Coal Liquefaction Rate Process // Ind. Eng. Chem. -1951. - №43.- P. 1575.

Репозиторий КарГУ

Б.А. Ахмадиев, Ш.С. Кыздарбекова, Н.К. Ботпаев
Карагандинский государственний университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, (sholp1@mail.ru)

Современное состояние применения тепловых насосов за рубежом и в Республике Казахстан для получения тепла

Вопросами проектирования, изготовления и внедрения теплонасосной техники занимаются крупнейшие энергетические корпорации Японии, США, Канады, Китая, стран ЕС. Международное Энергетическое Агентство (МЭА, латинская аббревиатура IEA), куда ассоциированными членами входят 28 энергетически развитых стран и, целью деятельности которого является обеспечение мировой энергетической безопасности и поиск путей улучшения экологии планеты, постепенно становится главным координатором политики внедрения теплонасосных технологий. Агентством регулярно публикуется международный обзор «Перспективы энергетических технологий» (Energy Technology perspectives, ETP), издается международный журнал «Тепловые насосы» и проводятся международные конференции, симпозиумы, выставки и семинары, связанные с анализом применения передовых теплонасосных технологий. По ряду программ, называемых Приложениями, осуществляются работы по научным исследованиям и ускорению внедрения инновационных разработок в системы отопления, кондиционирования, вентиляции, горячего водоснабжения. Некоторые из проектов в рамках этих Приложений финансируются. Координируется деятельность МЭА с Европейской ассоциацией тепловых насосов (EHPA), с региональными национальными комитетами практически всех заинтересованных стран. Такая политика дает возможность правительствам стран, входящих и не входящих в МЭА, объединять ресурсы и способствовать разработке и внедрению передовых теплонасосных технологий. За период с 2010 года по 2020 год в Германии ожидается трёхкратное увеличение продаж ТНУ и снижение продажи отопительных котлов с 84 % до 57 %. Во Франции, за тот же период времени, прогнозируется рост внедрения тепловых насосов в системах отопления в два раза и снижение продаж котлов с 82 % до 67 %. В 2010 году в Швеции было продано 127 570 тепловых насосов. Газовых и жидкотопливных котлов было продано на 2000 меньше.

Интересно заметить, что на международных выставках передовые фирмы по котлостроению в качестве экспоната номер один начали выставлять созданные ими тепловые насосы. Рост мирового рынка тепловых насосов, помимо достоинств данной технологии в энергетическом и экологическом аспектах, объясняется также:

– ужесточением требований к энергоэффективности теплоэнергетического оборудования и к термоизоляции зданий;

– введением правительствами ряда стран льготных законодательных актов и национальных программ, поощряющих внедрение энергосберегающего и экологически чистого оборудования, использующего возобновляемые источники энергии,

– флуктуациями цен на нефть, газ и перебоями с поставками природного углеводородного топлива.

Мировой рынок продаж базируется на аэротермальных тепловых насосах типа «воздух-воздух» и «воздух-вода», где в качестве низкопотенциального источника энергии используется воздух, на водяных типа «вода-вода» с использованием энергии воды природных и искусственных водоёмов и на геотермальных тепловых насосах типа «вода-вода» или «рассол-вода» с использованием энергии грунта и грунтовых вод.

В последние 5–7 лет большое внимание уделяется изучению вопросов эксплуатации, совершенствованию конструкции ТН и систем отбора низкопотенциального тепла, вопросам дальнейшего повышения энергетической эффективности грунтовых ТНУ. Необходимо учитывать, что при многих достоинствах грунтовых тепловых насосов, помимо его

Репозиторий КарГУ

собственной стоимости, заказчик оплачивает относительно дорогостоящие земляные работы, стоимость тысяч метров полиэтиленовых труб, укладываемых в землю и тонны незамерзающей жидкости используемой в качестве теплоносителя внешнего коллектора.

В настоящее время насущной необходимостью является разработка и совершенствование энергетических технологий с низкими выбросами двуокиси углерода, которые помогут в решении глобальных мировых проблем, связанных с энергетической безопасностью, изменениями климата и, конечно, с экономическим развитием. Защита окружающей среды, снижение выбросов токсичных газов и CO_2 благодаря применению тепло насосных технологий являются основными темами последних мировых конференций и прикладных Программ МЭА. По расчётам экспертов замена тепловыми насосами традиционных систем генерации коммунальной теплоты способствовало бы сокращению выбросов CO_2 к 2050 году на 770 метрических мегатонн.

Целью сотрудничества стран-членов МЭА является содействие развитию и освоению ключевых технологий, которые позволят достичь 50 % сокращения выбросов углекислого газа энергетике к 2050 г. Ведущая роль в этом отводится применению тепловых насосов. В Бельгии на установку тепловых насосов даётся субсидия в размере 75 % от его стоимости. В Японии субсидия от 450 долларов США полагается на установку бытового теплового насоса и от 1500 до 2300 долларов США на установку коммерческого. Во Франции даётся налоговый кредит в размере 50 % стоимости ТН. Следует отметить, что поощряется только внедрение тепловых насосов высокой энергоэффективности Современные достижения в теплонасосостроении, квалифицированное проектирование грамотная эксплуатация наряду с помощью государства, делают теплонасосные технологии рациональными и конкурентоспособными.

Одним из нетрадиционных источников более дешевой энергии, нашедшим широкое применение в ведущих странах мира на рубеже XX – XXI веков, являются теплонасосные установки (далее - ТНУ) – установки, которые производят в 3 - 7 раз больше тепловой энергии, чем потребляют электрической на привод компрессора и поэтому считаются наиболее эффективными источниками высокопотенциальной теплоты.

В последние 5–7 лет большое внимание уделяется изучению вопросов эксплуатации, совершенствованию конструкции ТН и систем отбора низкопотенциального тепла, вопросам дальнейшего повышения энергетической эффективности грунтовых ТНУ. Необходимо учитывать, что при многих достоинствах грунтовых тепловых насосов, помимо его собственной стоимости, заказчик оплачивает относительно дорогостоящие земляные работы, стоимость тысяч метров полиэтиленовых труб, укладываемых в землю и тонны незамерзающей жидкости используемой в качестве теплоносителя внешнего коллектора. Удобным источником низкопотенциального тепла являются естественные незамерзающие водоёмы, неглубоко залегающие термальные воды или сбросные воды техногенного характера. Тепловые насосы с водой в качестве источника энергии (Water-sourceheatpump - WSHP), по конструкции во многом аналогичны грунтовым тепловым насосам.

Коэффициент преобразования энергии тепловым насосом почти такой же, как при отборе тепла от грунта, но система отбора низкопотенциального тепла от воды менее затратная и более эффективная, хотя имеет ряд особенностей, и доверять её монтаж лучше специалистам с опытом.

На рисунке 1 представлен принцип работы ТНУ. Тепловой насос — это современный и высокотехнологичный прибор для отопления и кондиционирования воздуха. Тепловой насос собирает тепло с улицы или из земли и направляет в дом. Принцип работы теплового насоса основан на все известном цикле Карно.

Хладагент под высоким давлением через капиллярное отверстие попадает в испаритель, где за счёт резкого уменьшения давления происходит процесс испарения. При этом хладагент отбирает тепло у внутренних стенок испарителя, а испаритель в свою очередь

Репозиторий КарГУ

отнимает тепло у земляного или водяного контура, за счёт чего он постоянно охлаждается. Компрессор вбирает хладагент из испарителя, сжимает его, за счёт чего температура хладагента резко повышается и выталкивает в конденсатор. Кроме этого, в конденсаторе, нагретый в результате сжатия хладагент отдает тепло (температура порядка 85-125 градусов Цельсия) отопительному контуру и переходит в жидкое состояние.

Тепловые насосы способны не только отапливать помещения, но и обеспечивать горячее водоснабжение, а также осуществлять кондиционирование воздуха. Но при этом в тепловых насосах должен быть реверсивный клапан, именно он позволяет тепловому насосу работать в обратном режиме. В последние годы (1999-2018г.г.) интенсивные работы в этом направлении осуществляются и в Республике Казахстан .

Нетрадиционные источники энергии по сравнению с традиционными имеют большие преимущества. Например, значительно сокращаются затраты энергии в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений, обеспечивается экологическая чистота, а также повышается степень автономности систем жизнеобеспечения. Широкое применение теплонасосных систем теплоснабжения, использующих в качестве повсеместно доступного источника тепла низкого потенциала грунт поверхностных слоев Земли, является эффективным направлением внедрения рассматриваемых технологий в практику отечественного строительства.

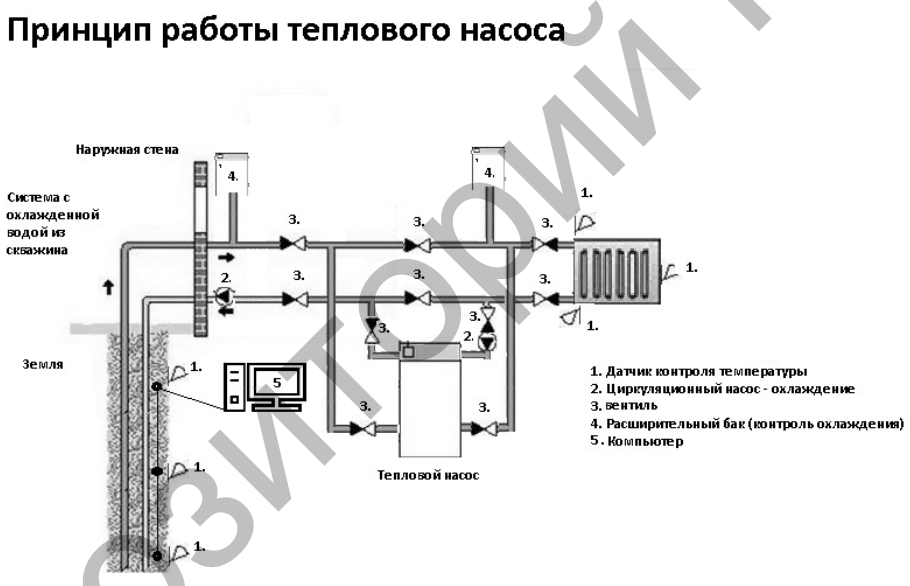


Рисунок. 1. Принцип работы теплового насоса

При использовании тепла Земли можно выделить два вида тепловой энергии – высокопотенциальную и низкопотенциальную. Источником высокопотенциальной тепловой энергии являются гидротермальные ресурсы – термальные воды, нагретые в результате геологических процессов до высокой температуры, что позволяет их использовать для теплоснабжения зданий.

В отличие от «прямого» использования высокопотенциального тепла (гидротермальные ресурсы), использование низкопотенциального тепла Земли посредством тепловых насосов возможно практически повсеместно. В настоящее время это одно из наиболее динамично развивающихся направлений использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Низкопотенциальное тепло Земли может использоваться в различных типах зданий и сооружений многими способами для отопления, горячего водоснабжения,

Репозиторий КарГУ

кондиционирования (охлаждения) воздуха, обогрева дорожек в зимнее время года, для предотвращения обледенения, подогрева полей на открытых стадионах.

Высокое значение коэффициента преобразования теплоты (m) позволяет обеспечивать теплоснабжение с минимальными затратами первичной энергии. Согласно работе, применение теплонасосной установки в системах теплоснабжения более выгодно, чем использование тепло-электро централей и индивидуальных котельных.

Таким образом, использование теплонасосных установок в системах централизованного и индивидуального теплоснабжения является крайне актуальным.

Концепцией перехода Республики Казахстан к устойчивому развитию на 2007-2024 годы, одобренной Указом Президента Республики Казахстан № 216 от 14 ноября 2006 года, оговаривается, что обеспечение устойчивого экономического развития Казахстана будет осуществлено путем поддержки экологически эффективного производства энергии, включая использование возобновляемых источников и вторичного сырья.

Признание Казахстана в качестве развитого государства не представляется возможным без установления высокого уровня охраны окружающей среды и обеспечения сбалансированного и устойчивого развития использования возобновляемых источников энергии.

В целях обеспечения разумного использования природных ресурсов и решения проблем загрязнения окружающей среды, бесконтрольного ввоза устаревших и «грязных» технологий, неэффективного использования возобновляемых ресурсов, в своем ежегодном послании к народу от 27 февраля 2007 года Глава государства указал на необходимость формирования законодательной базы Республике в сфере экологически чистых источников производства.

Существующей Закон РК «Об энергосбережении» преследует цель эффективного использования топливно-энергетических ресурсов, в котором среди регламентированных норм предусмотрена поддержка использования возобновляемой энергии при разработке программ развития энергетики и экологии. Закон также признает необходимость создания условий для вовлечения в энергобаланс возобновляемой энергии и развития на этой базе энергетических объектов. Согласно статье 15 использование возобновляемой энергии признается приоритетным направлением для развития энергетики и решения экологических проблем страны. Однако, механизмы реализации статьи данного Закона не предусмотрены.

Таким образом, предметом правового регулирования Закона РК «Об энергосбережении» являются как традиционные источники энергии – электроэнергия, так и нетрадиционные – возобновляемые источники энергии.

Литературы

1. Попель О.С. Тепловые насосы - эффективный путь энергосбережения // Проблемы энергосбережения. - 1999. - № 1. - С. 25-32.

2 . Рей Д., Тепловые насосы. Пер. с англ. / Д Рей., Д Макмайкл. М.: Энергоиздат, 1982. - 224 с.

3. Федянин В.Я., Карпов М.К. Использование грунтовых теплообменников в системах теплоснабжения // Ползуновский вестник. - 2006. – № 4. - С. 98-103.

4. Амерханов Р.А. Тепловые насосы и их роль в решении проблем энергосбережения и защиты окружающей среды // Менеджер-эколог. - 2008. - № 3. - С. 65-68.

5 . Басок Б.И., Беляева Т.Г., Рутенко А.А., Лунина А.А. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения // Промышленная теплотехника. - 2008. - Т. 30. - № 4. - С. 56-63.

6 . Доброхотов В.И., Поваров О.А. Использование геотермальных ресурсов в энергетике России // Теплоэнергетика. - 2003. - № 1. - С. 2-11.

7 . Беляев В.Е., Косой А.С., Соколов Ю.Н. Теплонасосные установки нового поколения и их использование в качестве высокоэффективной энергосберегающей и экологически чистой энерготехнологии для горячего водоснабжения // Новости теплоснабжения. - 2006. - № 8. - С. 43-48.

Репозиторий КарГУ

И.С. Утебаев[1], М.Қ. Аманжолова [2], Д.Е. Есенгулов [3]
Е.А. Бөкетов атындағы ҚарМУ, Қарағанды қ., Қазақстан utisa @mail.ru

ABS - бұғаттауға қарсы тежегіш жүйесі

Заманауи автокөліктер белсенді қауіпсіздік жүйелерімен жабдықталған, олардың міндеті – әр түрлі жол-көлік оқиғаларында жүргізушінің көлікті басқаруын болдырмауы. Бұларға тежегішке қарсы тежегіш жүйе (ABS) кіреді.

Блоктарға қарсы жүйелер соңғы жиырма жыл ішінде кеңінен таралған. Алдымен қымбат және спорт машиналарында, содан кейін арзан, олар тежегіш жүйесінің бір бөлігі болды.

Құлыпқа қарсы тежеу жүйесі (ABS), нем. antiblockiersystem ағылш. Anti-lock Brake System немесе Anti-skid system – тежелу кезінде көлік құралының доңғалақтарын бұғаттауды болдырмайтын жүйе. Жүйенің негізгі мақсаты – күрт тежеу кезінде көлік құралын басқаруды жоғалтуды болдырмау және бақыланбайтын сырғу мүмкіндігін болдырмау болып табылады.

Айта кетейік, ABS – автомобильдерде жаппай қолданыла бастаған белсенді қауіпсіздікке қатысты жүйелердің арасында бірінші болып табылады. Бұл ретте ол өзге жүйелер үшін база ретінде де әрекет етеді.

Блоктауға қарсы жүйе (ABS) — тежеу кезінде көлік құралы доңғалақтарының бұғатталуын болдырмайтын жүйе. Жүйенің негізгі мақсаты – автомобильдің тұрақтылығы мен басқарылуын сақтау кезінде оңтайлы тежелу өнімділігін (ең аз тежелу жолы) қамтамасыз ету.

Қазіргі уақытта ABS әдетте күрделі тежеу жүйесі болып табылады, оның құрамына күш жүйесі, электронды тұрақтылықты басқару жүйесі, сондай-ақ төтенше тежеу жүйесі кіреді [1]. ABS автомобильдер мен жүк көліктеріне, мотоциклдерге, тіркемелерге, сондай-ақ доңғалақты ұшақтың шассиіне орнатылады.

ABS тежегіш жүйесіне орнатылып, оның жұмысына түзетулер енгізеді. Атауы бойынша тежелу кезінде дөңгелектерді бұғаттауды болдырмау оның міндетіне кіретінін түсінуге болады [1]. Бұғаттауға қарсы жүйе өте қарапайым құрылғы, ол бірнеше негізгі элементтерді қамтиды:

- Дөңгелектердің айналу жиілігінің датчиктері;
- Электрондық басқару блогы;
- Орындаушы құрылғылар – ABS гидромодуляторлары.

Дөңгелектердің айналу датчиктері. Бұл датчиктер доңғалақтардың бұрыштық айналу жылдамдығын өлшейді және алынатын ақпараттың негізінде электрондық басқару блогы ABS қосу туралы шешім қабылдайды. Бүгінгі күні Холлдың әсеріне негізделген датчиктер жиі қолданылады, тарату қарапайым индукциялық датчиктер де алды [2].

Электрондық басқару блогы. Бұл компьютер, бүкіл жүйенің «миы», ол сенсорлардан ақпаратты өңдейді, ал сыни жағдай туындаған кезде қоздырғыштарды іске қосады. Бүгінгі таңда ABS, тартымды басқару жүйесі, тұрақтылықтың бағыты және басқа да қауіпсіздік жүйелерін басқару үшін жалпыға ортақ электронды блок жиі қолданылады.

Атқарушы құрылғылар. Әдетте ABS құрамына әртүрлі компоненттерді біріктіретін гидравликалық қондырғы кіреді - клапандар, сорғылар, қысым аккумуляторлары және т.б. Көбінесе бұл қондырғы гидромодулятор деп аталады, өйткені ол секундына 15-20 рет жиілікте жүйеде айнымалы қысым жасайды [5].

Бұғаттауға қарсы тежегіш жүйесі үш режимде жұмыс істей алады:

Айдауға. Бұл режимде тежегіш қалыпты схема бойынша жұмыс істейді. Педальды басқаннан кейін сұйықтық механизмдерге өтеді, дөңгелек айналуды баяулатады. Бұл режимде кіріс клапаны ашық, ал шығару клапаны жабық, яғни сұйықтық тек жеткізу желісі бойымен қозғалады;

Репозиторий КарГУ

Ұстап қалу. Егер сигналдар бойынша блок дөңгелектердің бірі басқалардан тезірек айналуды төмендетеді деп есептесе, онда ол іске қосу клапанын бұрады. Нәтижесінде механизмнің күшеюі тоқтайды, сондықтан дөңгелектің баяулауы белгілі бір деңгейде тоқтайды. Басқа тетіктерде күш күшейе түседі;

Қысымды шығару. Егер де ұстап қалу режиміне көшкеннен кейін де доңғалақ әлі де бәсеңдеуді жалғастырса, басқару блогы шығару клапанын іске қосады (іске қосу жабады) және сұйықтықтың бір бөлігі қысым аккумуляторына кетеді, осылайша механизмдегі қысымның төмендеуін қамтамасыз етеді (доңғалақ босатылып, жылдамдықты арттыра бастайды).

Қысым осы екі механизмнен бірден босатылатын жағдайлар болады, сондықтан аккумулятор жеткіліксіз болуы мүмкін. Содан кейін сорғы қосылып, артықтығы негізгі желіге жіберіледі. Тежелу кезінде жүйе жұмыс режимін бірнеше рет өзгертеді, бұл тиімді тежелуді қамтамасыз етеді. Бұл ретте жүргізушіге доңғалақтардың бұғатталуын болдырмау үшін басқышпен "ойнаудың" қажеті жоқ, жүйе бәрін өзі жасайды [3].

Артықшылықтары мен кемшіліктері. Осы жүйенің басқа артықшылықтарына жатады:

- бұрылысқа кіру кезінде тежеу кезінде қозғалыс траекториясын сақтау;
- тежеу кезінде маневр жасауға жол беріледі;
- жаңа бастаған жүргізушілер үшін ыңғайлы.

Бірақ ABS мінсіз емес. Белгілі бір жағдайларда бұл жүйе дұрыс жұмыс істемеуі және қателіктер жіберуі мүмкін. Бұл тежеу көрсеткіштеріне әсер етеді және жүргізушіні біршама алаңдатуы мүмкін. Бұл шарттар: проблемалық жол, құм, мұз, шұңқырлар.

Бұғаттауға қарсы тежеу жүйесінің ең үлкен кемшіліктерінің бірі-бұл оның тиімділігі жол бетінің сапасы мен жағдайына байланысты. Жолдың жақсы беті жеткіліксіз болса, тежеу жолы әлдеқайда ұзын. Бұл доңғалақтың анда-санда асфальтпен байланысын немесе тартылуын жоғалтып, айналуын тоқтататындығына байланысты. ABS дөңгелектің тоқтауын бұғаттау ретінде анықтайды және тежеуді тоқтатады.

Жалпы, ABS тек тегіс жолда ғана жақсы жұмыс істейді. Басқа жағдайларда ABS жүйесі қате жіберуі мүмкін. Мысалы, жиі ауысып отыратын жабыны бар проблемалық трассада (асфальт қиыршық таспен немесе басқа үйінді материалмен өзгереді) жүйе механизмдерде оңтайлы күш-жігерді таңдай алмайды, соның салдарынан тежегіш жолы ұлғаяды [3].

Жолдан ұшу кезінде ABS "көмекші" емес. Мұнда құлыптау-көлікті барынша жылдам тоқтатуға арналған ең жақсы құрал.

Физиканың заңдары бойынша айналмалы дөңгелектің пен жолдың беті арасындағы ілінісу коэффициенті блокталған күйдегі доңғалаққа қарағанда жоғары екені белгілі.

Бұғаттауға қарсы жүйенің жұмысын үш кезеңге бөлуге болады:

- Қиын жағдайдың туындауы — дөңгелектерді бұғаттау тәуекелі - электрондық блок гидравликалық блокты қосу туралы шешім қабылдайды;

-Гидравликалық блоктың жұмысы-тежеу жүйесіндегі қысымның мерзімді жоғарылауы және төмендеуі;

- Доңғалақтың құлпын ашқанда жүйені өшіру.

АБС жұмысы келесідей. Күрделі жағдай туындаған кезде (доңғалақтың бұрыштық жылдамдығы күрт төмендейді) электронды блок гидравликалық модулятордан тұрады, ол алдымен доңғалақтың тежегіш цилиндріндегі қысымды тұрақтандырады (қабылдау және шығару клапандарын жауып тастайды), содан кейін тежегіш сұйықтығының қысымының пульсациясын қамтамасыз етеді.

Қысымның төмендеуі кезінде (шығару клапаны ашылады, және тежегіш сұйықтығы қысым аккумуляторына беріледі) дөңгелек бұғаттауды тоқтатады және кейбір бұрышқа бұрылады, қысым жоғарылағанда (тежегіш сұйықтығы енгізу клапаны арқылы цилиндрге айдалады) доңғалақ тежеледі. Нәтижесінде доңғалақ толық тежемейді, баяу бұрылады.

Репозиторий КарГУ

Жүйелік құрылғы салыстырмалы түрде қарапайым. Жұмыстың негізіне екі жылдамдық индикаторы алынған: дөңгелектің айналу жылдамдығы және автомобильдің жылдамдығы [6].

Арнайы сенсорлар әрқашан жүргізуші тежегіш педальды басқан кезде осы екі көрсеткішті салыстырады. Егер бір немесе бірнеше дөңгелектер құлыптала бастаса, яғни олардың айналу жылдамдығы автомобиль жылдамдығынан аз болады, ABS қосылады және проблеманы туындатқан доңғалақтың тежегіш қысымын жасанды түрде төмендетеді. Доңғалақтың жылдамдығы қалпына келгеннен кейін, датчиктер тежеуіш күшін жүргізушінің қолына (дәлірек айтқанда аяқтарына) өткізуді қайтадан нұсқайды [6].

ABS жүйесі секундына 30 рет автоматты түрде қосылып, өшеді. Сондықтан, құлыпқа қарсы тежеу жүйесі жұмыс істеп тұрған кезде, жүргізуші тежегіш педальда сәл соққы сезінеді. Бұл фактор тежегіш жүйенің құлыпқа қарсы реттелгенін білдіреді.

Әдебиеттер:

1. https://www.dissercat.com/content/adaptivnaya-antiblokirovochnaya-tormoznaya-sistema-kolesnykh-
2. https://auto.vercity.ru/dictionary_motorist/sistema_antiblokirovochnaja/
3. Бухарин, Н. А. Тормозные системы автомобилей: Теория, конструкция, расчет и испытание. / Н. А. Бухарин, проф. д-р техн. наук. – М.-Л.: Машгиз, 1950.
4. Динамика колеса и устойчивость движения автомобиля / У. А. Абдулгазис, А. У. Абдулгазис, Д. М. Клец.
5. https://www. /watch? v=iiX4GVi_yEg – Практическое сравнение торможения с и без ABS
6.https://avtonov.com

[1]Мерзадинова Г.Т.,[1]Сакипов К.Е., [1]Шарифов Д.М., [1,2]Калиева Ж.Е., [1]Сатбеков А.
[1]ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан [2]Институт научно-технических и экономических исследований, Нур-Султан, Казахстан shjumm@mail.ru

Лазерный оптико-акустический ультразвуковой метод технической диагностики объектов теплоэнергетики

Как правило, теплоэнергетические объекты входят в состав общие энергетические системы, имеющей более широкие понятия. Это объединенная система энергетики, совокупность энергетических ресурсов всех видов, методов их получения (добычи), преобразования, распределения и использования, а также технических средств и организационных комплексов, мероприятий, обеспечивающих снабжение потребителей всеми видами энергии.Надежность функционирования таких сложных энергетических объектов при проектировании, изготовлении и эксплуатации, например, турбин, паро-турбогенераторов, различных вспомогательных агрегатов, электрических двигателей и коммутационной электроаппаратуры (в ТЭС, ГЭС, АЭС и др.) обеспечивается методами и средствами характерными для каждого этапа «жизненного цикла» объекта. При этом эксплуатационная надежность восстанавливаемых энергетических объектов наиболее эффективно достигается прогрессивными стратегиями технической эксплуатации объектов "по фактическому состоянию" с контролем уровня надежности (стратегии функциональной диагностики) и/или с контролем технического состояния (стратегии технического мониторинга), для осуществления которых необходимы системы технической диагностики (СТД) и системы технического мониторинга (СТМ) соответственно. Безусловно, анализ технического состояния и технологического оборудования объектов теплоэнергетики и сетей (по наработке и срокам службы) проводятся с соответствующие конкретные задачи технической спецификации, анализируются сведений субъектов тепло - электроэнергетики об оборудовании для последующего формирования на его основе прогноза рисков надежного

Репозиторий КарГУ

тепло - электроснабжения потребителей. В качестве исходной информации используются общие сведения о тепломеханическом оборудовании, данные о фактической наработке за отчетный год, данные о нормативном и назначенном ресурсе (в том числе о количестве продлений) и данные о введенном в эксплуатацию оборудовании. Поэтому, применение более эффективных методов диагностики и неразрушающего контроля(НК) энергетических объектов, с целью проведения дальнейшие энергетические экспертизы, аудита и контроля по предотвращению аварийных ситуаций, утечки необоснованных энергетической потери, обнаружение различных дефектов в тепловых и электрических сетях, теплогенерирующих установках и их вспомогательном оборудовании, а также и в другие объекты ЖКХ, играет ключевую роль в реализации и решении задач по энергосбережению и энергоэффективности [1-2].

В рамках настоящего доклада приводятся результаты исследований и особенности применения относительно нового метода технической диагностики – лазерной оптико-акустической диагностики (ЛОАД).

Как правило, процессы изгтовления продукции теплоэнергетической отрасли почти на всех стадиях её функционирования (от стадии генерация тепловой энергии в ТЭСах до её распределении потребителям по тепловым сетям) сопроводаются использованием различных способов сварки (материалов, как на металлических, так и с композитных и полимерных основах). Безусловно, совершенствавоние существующих и разработка новых сварочных тахнологии, только частично решает проблему повышения качества изготовляемых конструкции. Поэтому, для более надёжного контроля качестве сварных соединении, также необходимым становятся усовершенствование и разработка самих методов технической диагностики и НК.

Известно, что образование дефектов и разрушение металлических деталей почти всегда начинается с образования трещин на поверхности или вблизи поверхности. Если при этом на поверхности присутствуют растягивающие напряжения, то они способствуют росту трещин, что приводит к ускоренному разрушению детали. Сжимающие напряжения, наоборот, препятствуют росту трещин, а также их образованию. Если же в металле помимо напряжений, возникающих вследствиерабочих нагрузок, присутствуют также так называемые остаточные напряжения, возникшиевследствие специальной обработки или предыдущей эксплуатации и остающиеся в отсутствие рабочих нагрузок, то эти напряжения суммируются. Поэтому для исследования пригодности и увеличения срока службы металлических изделий очень важно определять знак и величину остаточных напряжений в изделии[3].

Метод ЛОАД основан на лазерном термооптическом возбуждении широкополосных ультразвуковых импульсов в объекте контроля (рис.1). Лазерная ультразвуковая диагностика (ЛУЗ)использует генерацию звука лазерным импульсом,поглощаемым в тонком поверхностном слоеисследуемой среды или в специальном оптико-акустическом генераторе, расположенном наповерхности среды. При этом возбуждаемыйультразвуковой импульс распространяется в среде ирегистрируется либо прошедший, либо рассеянныйультразвуковой сигнал с высоким временнымразрешением.

При поглощении лазерного импульса в ОА источнике в нем возбуждается ультразвуковой импульс продольных акустических волн с известными амплитудой и частотным спектром — зондирующий (опорный) импульс, который затем распространяется в исследуемом образце и регистрируется с помощью специально разработанного широкополосного пьезоприемника, находящегося в акустическом контакте с образцом.

Для изотропных композиционных материалов на основе измерении фазовых скоростей продольных и сдвиговых акустических волн в образцах в спектральном диапазоне 0,2…50 МГц разработана [4] ЛОАД экспериментальная установка. Как отмечается, получение широкополосных акустических импульсов происходит за счет лазерного термооптического

Репозиторий КарГУ

механизма возбуждения ультразвука. Толщина исследуемых образцов может составлять 0,1…70 мм, поперечные размеры – от 10 мм. Локальность измерений в поперечном направлении составляет 1…2 мм, максимальная относительная погрешность определения модуля Юнга – 6%, модуля сдвига – 4%, коэффициента Пуассона – 5%.

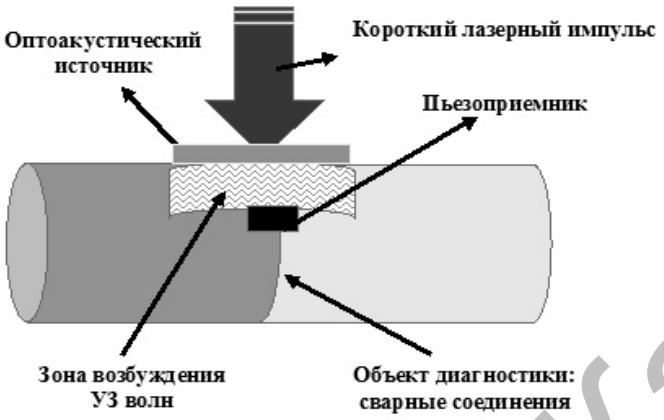


Рисунок 1. Принципы ЛОАД сварные соединения

В настоящее время многим авторам разработаны и патентованы ряд экспериментальных и полупромышленных дефектоскопов основанные на лазерной ОА возбуждения широкополосныных УЗ волн. Например, ультразвуковой лазерный многофункциональный дефектоскоп УДЛ-2М, предназначен для ультразвукового исследования нарушений структуры таких материалов, как металлы, композиты, керамики, пластмассы (рис.2.).

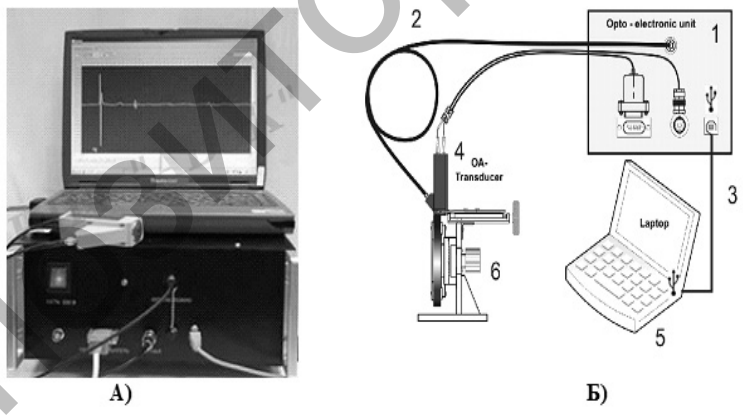


Рисунок 2. Ультразвуковой лазерный многофункциональный дефектоскоп УДЛ-2М[4]

УДЛ-2М позволяет осуществлять контроль деталей и изделий по их фактическому состоянию в реальном масштабе времени и при наличии только одностороннего доступа к исследуемому объекту. Он может быть использован для неразрушающего контроля улов и изделий в энергетике и авиастроении, машиностроении и транспорте.

Один из основных элементов ЛОАД является пьезоприемник. Пьезоприемники характеризуются весьма высокой чувствительностью (отношением величины возникающего электрического напряжения к величине давления в акустической волне), достигающей десятков и сотен вольт на атмосферу в спектральном диапазоне от нескольких килогерц до сотен мегагерц. Разделяют два режима работы пьезоприемников при регистрации

Репозиторий КарГУ

широкополосных акустических сигналов: режим «холостого ход» и «короткого замыкания». В таблице 1 приведены основные характеристики упомянутых пьезоэлектрических материалов (для случая регистрации продольных акустических волн).

Таблица 1. Основные характеристики некоторых пьезоэлектрических материалов

пьезо-электрик	плотность ρ, 10^3 кг/м^3	скорость звука V_0, 10^3 м/с	акустический импеданс ρV_0, 10^6 кг/(м^{2}с)	пьезо-модуль d_{33}, 10^{-12} Кл/Н	диэлектрич. проницаемость ε	удельная чувстви-тельность $d_{33}/\varepsilon\varepsilon_0$, В/(Па м)
$LiNbO_3$	4.63	7.26	33.6	16.1	29	0.063
ЦТС-19	7.45	3.9	29.1	600	1725	0.039
ПВДФ	1.8	2.2	4.0	17	9.4	0.204

Литературы:

1. Бигус Г. А., Даниев Ю. Ф., Быстрова Н. А., Д. И. Галкин. Основы диагностики технических устройств и сооружений. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана,2015, 445 стр.

2. Бабак В.П., Запорожец А.А., Свердлова А.Д. Диагностика технического состояния объектов теплоэнергетики на базе распределенных вычислительных инфраструктур. Научная Известия, NDT days 2016, 2016, стр. 85-89.

3. Овчинников В.В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений. М. Издательский центр «Академия», 2017, 224 стр.

4. Карабутов А. А., Кобелева Л. И., Подымова Н. Б. и др. Лазерный оптико-акустический метод локального измерения упругих модулей композиционных материалов, упрочненных частицами, «Техническая акустика», 2008, №19, 15 стр.

Т. Кунакбаев, Н.К. Танашева, Толебеков С.К.,
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан, email: kutulegen@mail.ru, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан, email: tolebekov.s.k@gmail.com, Институт прикладной математики, г.Караганда, Казахстан, email: nazgulya_tans@mail.ru

Экспериментальные исследования эффективности автономной компактной трехэтажной гибридной ветроэлектростанции.

Актуальность альтернативных, нетрадиционных, возобновляемых и экологически чистых источник энергии во всем мире очевидна. Первый президент Республики Казахстан Н.А.Назарбаев: «Зеленая экономика. Энергия будущего».

На данный момент в Казахстане не выпускаются ветродвигатели отечественной разработки. Создание ветродвигателей большой мощности (МгВт) требует высоких технологий, которые в Казахстане в ближайшее время создать будет очень трудно. Поэтому для Казахстана является актуальным создание малых конкурентноспособных ветродвигателей, которые разрабатываются многими учеными Казахстана. Увеличить мощность ветроустановки можно на базе автономной компактной многоэтажной ветроэлектростанции (АКМВЭС), мощность которой может достигать любой желаемой величины (МгВт) за счет установки на ее этажах необходимого количества малых ветродвигателей.

В Казахском национальном университете им. аль-Фараби под руководством к.ф.-м.н., доцента кафедры механики Кунакбаева Т. в 2011 г. была предложена конструкция оригинальной АКМВЭС, которая не имеет аналогов во всем мире [1].

Репозиторий КарГУ

Применение АКМВЭС ориентировано, в первую очередь, на обеспечение электроэнергией изолированных от центральной энергосети регионов, трудности снабжения электроэнергией которых заключаются в транспортировке дизельного топлива или транспортировки самой электроэнергии. В АКМВЭС нуждаются различные предприятия малого и среднего бизнеса, крестьянские хозяйства, посты на железнодорожных путях, экологические и метеорологические посты, пограничные заставы и армейские посты, малые хозяйствующие субъекты - мельницы и маслобойки, частные дома и т.п. [2].

АКМВЭС состоит из каркаса (на рисунке 1 показан эскиз конструкции автономной компактной трехэтажной ветроэлектростанции - АКТВЭС), на этажах которой могут располагаться ветрогенераторы различного типа.

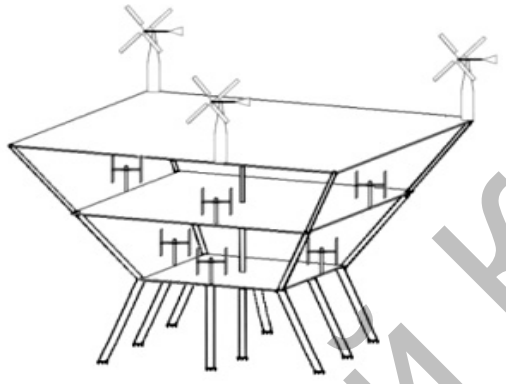


Рисунок 1. Эскиз конструкции АКТВЭС

Ветровые электростанции, как правило, занимают большое пространство. Для их строительства используются такие регионы, которые мало заселены и не вовлечены в экономическую деятельность. А АКМВЭС имеют следующие преимущества по сравнению с обычными ветроэлектростанциями и отдельными ветродвигателями одинаковой с АКМВЭС мощности [2]:

1. Экономия территории: АКМВЭС занимает территорию в несколько раз меньшую, чем обычная ветроэлектростанция такой же мощности с ветродвигателями, расположенными в один этаж на поверхности Земли.

2. Пространство между этажными перекрытиями АКМВЭС образует воздушный коридор, способствующий эффективному протеканию ветрового потока как в аэродинамической трубе (эффект сквозняка) и тем самым увеличивается коэффициент использования энергии ветра.

3. Более стабильное использование энергии ветра из-за расположения ветротурбин на разных высотах, т.к. скорость ветрового потока имеет разную величину в зависимости от высоты.

4. Простота конструкции, ее сборки и разборки (как казахская юрта) по сравнению с отдельным ветродвигателем большей высоты такой же мощности. При этом, опорная конструкция отдельного ветродвигателя большой мощности будет менее устойчива, чем многоэтажная опорная конструкция АКМВЭС такой же мощности.

5. Возможность комбинации разных видов ветротурбин с разными скоростями вращения.

6. Чем выше этажом располагаются ветротурбины, тем величина коэффициента использования ими энергии ветра увеличивается, так как скорость ветра обычно выше на больших высотах.

Основным элементом АКМВЭС является ветротурбина, преобразующая энергию стихийного ветрового потока в механическую энергию вращения вала, которую можно

Репозиторий КарГУ

преобразовать в электрическую и тепловую. На внутренних этажах КМВЭС выгоднее применять карусельные ветроколеса типа Дарье с вертикальной осью вращения. Установка на этажах КМВЭС именно карусельных ветротурбин типа Дарье необходима для выполнения условия ее компактности, так как ветровой поток завихряется только вокруг каждой ветротурбины, а при установке на этажах КМВЭС ветротурбин пропеллерного типа с горизонтальной осью вращения за каждой такой ветротурбиной образуется турбулентный след, который отрицательно влияет на остальные ветротурбины и тем самым уменьшается величина коэффициента использования энергии ветрового потока (фото на рисунке 3).



Рисунок 3. Турбулентный след за ветротурбинами пропеллерного типа

Для условия компактности КМВЭС нами также показано, что количество ветротурбинне должно превышать трех, иначе происходит отрицательный эффект их взаимного затенения от ветрового потока [1].

Нами создан и успешно испытан в полевых условиях (пос. Байтуган Нуринского района Карагандинской области) опытный образец КТВЭС мощностью до 10 кВт [3] - (фото на рис. 3), которая представляет собой трехэтажную конструкцию, на этажах которой располагаются карусельные ветротурбины.

Опытные испытания КМВЭС на полигоне показали, что при жаркой погоде ветер затихает, а при пасмурной – усиливается. Поэтому обеспечения стабильности выработки электроэнергии за счет комбинации работ карусельных ветротурбин и солнечных батарей в солнечные и пасмурные дни нами было предложено КМВЭС дополнить солнечными панелями и сделать КМВЭС гибридной - КМГВЭС.

Нами создан и успешно испытан в полевых условиях (пос. Байтуган Нуринского района Карагандинской области) опытный образец КТГВЭС [3] - (фото на рис. 8). На стенах ее первого этажа по трем сторонам, где ходит солнце, установлены солнечные панели.



Рисунок 3. Опытный образец КТГВЭС мощностью до 10 кВт

Репозиторий КарГУ



Рисунок 4. Опытный образец КТГВЭС

Задачей экспериментальных исследований опытного образца КТГВЭС была проверка стабильности выработки электроэнергии за счет комбинации работ карусельных ветротурбин и солнечных батарей в солнечные и пасмурные дни. Усредненные результаты испытаний в солнечные и пасмурные дни весной 2017 г. показаны в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 - Показатели мощности КТГВЭС в солнечные дни

Скорость ветра (м/с)	5,0	6,5	7,0	7,5	8,0	Всего
Мощность ветротурбин (ватт)	255,0	570,0	785,0	996,0	1204,0	3810
Мощность солнечных батарей (ватт)	890	896	889	890	878	4443

ИТОГО: 8253 ватт

Таблица 7 - Показатели мощности КТГВЭС в пасмурные дни

Скорость ветра (м/с)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	Всего
Мощность ветротурбин (ватт)	260,0	794,0	1497,0	1982,0	2207,0	6740
Мощность солнечных батарей (ватт)	300	310	310	314	317	1551

ИТОГО: 8291 ватт

Как видно из таблиц в солнечные дни больше электроэнергии дают солнечные батареи, а в пасмурные – ветротурбины, что и предполагалось.

Суммарные показатели мощности подтверждают нашу идею достижения стабильности выработки электроэнергии за счет комбинации работ карусельных ветротурбин и солнечных батарей в солнечные и пасмурные дни.

Конкурентоспособность КМГВЭС и ДГВЭСДК, возможности импортозамещения и повышения экспортного потенциала страны будут определяться пониженной себестоимостью вырабатываемой ими электрической энергии, их автономностью и оригинальностью, наличием собственной технологии производства. Все это в совокупности подчеркивает актуальность темы данной работы.

Литературы:

1. Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права № 183 «Компактная ветроэлектростанция на базе карусельных ветротурбин типа Дарье и Савониус» от 01.02.2011г. (авторы: Кунакбаев Т., Отелбаев М.).

Репозиторий КарГУ

2.Разработка, изготовление и экспериментальные исследования эффективности компактной ветроэлектростанции. Заключительный отчет по инновационному гранту МОН РК на 2012-14 гг. Алматы-2014 г. № ГР 0112РК0162. Научный руководитель Кунакбаев Т.

3. Комплексная разработка, создание технологий, изготовление, теоретические и экспериментальные исследования опытно-промышленных образцов малых ветроэнергетических установок. Заключительный отчет по инновационному гранту МОН РК за 2015-17 гг. № ГР 0112РК01489. Научный руководитель Кунакбаев Т.

А.А. Пахомов, А.А. Потапов
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия, potapov@cplire.ru

Теоретико – эвристический подход к анализу расширения возможностей обработки радиолокационных сигналов.

Введение: При разработке локаторов целесообразно рассмотреть процесс распространения локационного сигнала в передающем тракте и от плоскости излучения до лоцируемого объекта и обратно в плоскость приемной антенны. Если рассматривать самую общую постановку задачи, то необходимо просто записать хорошо известные четыре уравнения. Максвелла и получить из них волновые уравнения [1].

Модель сигнала: Затем, исходя из полученного уравнения волны, нужно провести дальнейший анализ, который сводится к распространению волны генерируемой излучателем высокочастотных колебаний $E(t)$, где t - текущее время, в тракте локатора с учетом статических аберраций тракта $\varphi(x)$, где x - переменная вдоль направления распространения. Далее при распространении $E(t)$ от тракта до объекта необходимо учесть атмосферные фазовые искажения $\psi(r)$, где r - линейная переменная вдоль направления распространения сигнала. Необходимо рассмотреть вопрос отражения сигнала от объекта с учетом модели блестящих точек. И затем учесть процесс распространения излучения от объекта к плоскости приемной антенны, через атмосферу и приемный тракт с учетом соответствующих искажений [2, 3]. После чего необходимо с помощью дополнительных фильтрующих операций получить результирующий сигнал [4, 5]. Далее при сравнении его с порогом делается вывод о наличии или отсутствии неизвестного объекта.

Пусть имеется излучатель последовательности импульсов, например, прямоугольной формы, направленной на предполагаемый неизвестный объект. Последовательность импульсов зависит только от времени. При прохождении направляющей на объект излучения апертуры импульсы будет ограничены апертурой, что внесет соответствующие аберрации: $E(t)\exp(i\varphi(x))$. Стоит отметить, что как форма апертуры, так и ее аберрации $\varphi(x)$ не зависят от времени. При распространения излучения от плоскости апертуры до объекта излучаемый одномерный $E(t)$ сигнал также будет подвержен фазовым атмосферным искажениям, и на облучаемом объекте имеет вид $E(t)\exp(i\psi(x))$. Стоит отметить, что при распространении излучения вследствие атмосферных искажающих факторов излучаемый сигнал приобретает форму диаграммы, отдаленно напоминающий треугольник [2]. При взаимодействии сигнала с облучаемым объектом происходит рассеяние на ярких точках в дискретные моменты времени t_k. Характер такого рассеяния следующий: $E(t) = E_0(t)\delta(t - t_k)$. Аналогичное выражение справедливо и для пространственного рассеяния. При этом по мере прохождения пути от апертуры до объекта сигнал подвержен очень значительному влиянию атмосферных фазовых искажений (аберраций) также не зависящих от времени. И при этом объект предполагается состоящим из набора несвязанных (некоррелированных) блестящих точек, как уже упоминалось выше.

Репозиторий КарГУ

Если объект неизопланатичный (его размеры больше диаграммы рассеяния сигнала или зоны изопланатизма), то необходимо разделить его на зоны изопланатизма и обрабатывать отдельно или учитывать отраженный сигнал от каждой зоны независимо. Вернемся теперь к исходному сигналу, который, отразившись от объекта и пройдя все те же атмосферные искажения, приходит на приемную апертуру, так как время замороженности турбулентной атмосферы много больше скорости света, с которой распространяется сигнал. Положим для простоты, что сигнал принимается той же апертурой, что и излучается. В этом случае как атмосферные, так и статические аберрации удваиваются, и сигнал имеет вид:

$$E(t) = E(t)\ E(t+\tau)\exp 2i\varphi(x)\exp 2i\psi(r),$$

здесь

τ - временная задержка,

i - комплексная переменная.

Поскольку принятый сигнал имеет сложную и неустойчивую форму и проходит перед регистрацией через приемную антенну, которая вносит дополнительные искажения, то целесообразно проанализировать результирующий регистрируемый сигнал. Не вдаваясь в детальное описание влияния приемной антенны, и считая систему линейной, приходим к выводу, что регистрируемый сигнал представляет собой свертку пришедшего сигнала $E(t) = E(t)\ E(t+\tau)\exp 2i\varphi(x)\exp 2i\psi(r)$ и неизвестного импульсного отклика $h(t)$ приемной аппаратуры. В дальнейшем полученный сигнал подается, например, на вход порогового обнаружителя.

На рис.1 приведена упрощенная схема локатора, где 1- основание локатора, 2 – приемопередающая апертура локатора (с небольшими статическими аберрациями $\psi(x)$, 3 – фазовые атмосферными аберрации $\varphi(x)$, 4 - отраженный от объекта 5 локационный сигнал учитывает статические аберрации зеркала $\psi(x)$ и атмосферные фазовые искажения $\varphi(x)$ и, как правило, этот сигнал возвращается на излучающую апертуру 2 , но с соответствующей временной задержкой τ, пропорциональной расстоянию до объекта. В блоке 6 происходит перемножение Фурье-спектра передаточной функции $H(t)$ приемной аппаратуры и приемной апертуры и Фурье-спектра отраженного от объекта сигнала $E(t)$. В блоке 7 осуществляется обратное Фурье-преобразование перемноженных Фурье-спектров и получается свертка двух сигналов во временной области. В блоке 8 выделяют максимальное значение полученной свертки и если это значение удовлетворяет заданному отношению сигнал-шум, то делается выбор об обнаружении или отсутствии объекта.

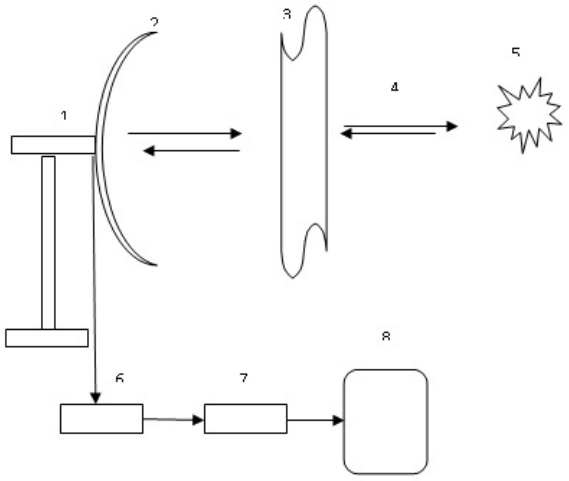


Рисунок 1. Схема локатора

Репозиторий КарГУ

Представляет самостоятельный интерес решение уравнения свертки, которое возникает в блоке 7 после обратного Фурье преобразования произведения двух спектров:

$$i(t)=\int e(t_1)h(t_1-t)dt_1+n(t). \quad (1)$$

Здесь $i(t)$ - регистрируемая свертка сигналов: $e(t)$ – исходный неизвестный, предположительно излучаемый сигнал, $h(t)$ – неизвестная передаточная функция, $n(t)$ - неизвестный статистически однородный фон. Таким образом, необходимо решить (1) относительно $e(t)$, или восстановить неизвестный излучаемый сигнал (шумом пренебрегаем). Наиболее распространенным способом является применение к (1) Фурье-преобразования. В плоскости Фурье-частот f получаем уравнение:

$$I(f) = E(f)H(f). \quad (2)$$

На первый взгляд, кажется, что задача имеет множество решений даже в отсутствии шума – необходимо решить одно уравнение с двумя неизвестными. Сконструировать посторонние решения также достаточно просто. Пусть $E(f)$ также представимо в виде произведения хотя бы двух сомножителей, это означает, что соответствующий амплитудный отклик: $e(t) = e_1 * e_2$. Здесь (*) – символ свертки. Аналогичное предположение справедливо и для $h(t)=h_1 * h_2$. Тогда из (2) получаем два различных решения: $I_1 = H_1E_1$ и $I_2 = H_2E_2$.

Однако не стоит забывать, что мы имеем дело с комплексными величинами, для которых справедливо разложение Адамара-Вейерштрасса, т.е., разложение аналитической функции в виде произведения ее нулевых значений [5]. Поэтому, строго говоря, для непрерывного случая задача имеет счетное множество решений, а для дискретного случая конечное множество решений - что и означает множество посторонних решений. Однако на практике, в связи с большим количеством случайных факторов, например, наличие помех приемной аппаратуры, обычно аппроксимируют $H(f)$ гауссовским распределение с нулевым средним и неизвестной дисперсией; и тогда получаем выражение для $E(f)$ с помощью обычного фильтра Винера:

$$E(f)=\frac{I(f)}{H(f)}=\frac{I(f)H^*(f)}{|H(f)|^2+\alpha|f|^2}. \quad (3)$$

Здесь α - эвристическая константа из диапазона 0.1 - 0.001. Поэтому на практике выбирается 2 - 3 приближенных значений нормированной дисперсии гауссовской функции из диапазона 0.1 - 0.9 и 2 - 3 значения α. Критерием выбора разумных значений упомянутых параметров служит отсутствие резких выбросов в сигнале и отсутствие превышения диапазона допустимых значений сигнала (не превышает байтовый формат – 0 ÷ 255).

Стоит отметить, что существенное влияние на работу локатора оказывает излучающая аппаратура и ее вибрации, формирующиеся в основании локатора 1. А также статические аберрации приемопередающей аппаратуры 2 и, естественно, аппаратурные помехи. В общем виде эти искажающие факторы вносят вклад, как в амплитуду, так и в фазу передаваемого сигнала. Поскольку обычно рабочей аппаратуры достаточно много (больше 10 приборов), куда входят различные усилители, фильтры и излучатели, а помехи, формируемые аппаратурой, носят случайный характер, их обычно аппроксимируют гауссовой амплитудной функцией, имеющей неизвестную дисперсию и нулевую фазу. Поэтому амплитуда излучающего сигнала будут состоять из произведения детерминированной амплитуды и гауссовой амплитуды с единственным неизвестным параметром – дисперсией, которую можно либо достаточно точно вычислить или измерить спектроанализатором. Далее неизвестной составляющей в выходном сигнале, после согласованного фильтра, являются

Репозиторий КарГУ

статистические аберрации выходной апертуры, тракта с аппаратурой и постоянные аберрации самой аппаратуры. С помощью анализатора спектра всю совокупность перечисленных статистических аберраций также можно измерить и запомнить, как и амплитудные гауссовские искажения, и при последующей регистрации отраженного сигнала либо вычесть из приходящего сигнала, либо скомпенсировать с помощью цифровой последетекторной обработки.

Выводы: Задача локации удаленного протяженного объекта крайне сложна и неустойчива. Для дальнейшей модификации локационных средств необходимы многочисленные измерения параметров и характеристик, начиная с процесса излучения и заканчивая процессом принятия решения.

Работа была частично подержана Международным научно-техническим центром (проект № 0847.2, 2000–2005, США), Российским фондом фундаментальных исследований (проекты РФФИ №05-07-90349, 07-07-07005, 07-07-12054, 07-08-00637, 11-07-00203, 18-08-01356-а), а также проектом "Leading Talents" (проект № 00201502, 2016–2020) в Джинанском университете (Гуанджоу, Китай).

Литературы:

1. Неганов В.А., Павловская Э.А., Яровой Г.П. Излучение и дифракция электромагнитных волн.– М.: Радио и Связь, 2004.– 264 с.
2. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. II. Случайные поля.– М.: Наука, 1978.– 464 с.
3. Кравцов Ю.А., Фейзулин З.И., Виноградов А.Г. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли.– М.: Радио и Связь, 1983.– 224 с.
4. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем.– М.: Советское Радио, 1977.– 432 с.
5. Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А.А. Потапова.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.– 496 с. (монография - по гранту РФФИ № 07 – 07 - 07005).

А.А. Потапов, В.А. Герман, А.А. Пахомов, А.А. Потапов (мл.), В.А. Потапов
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия, potapov@cplire.ru

Обработка медицинских рентгеновских текстурных изображений оригинальными интегрально –фрактальными методами

В работе представлены результаты обработки реальных медицинских рентгеновских текстурных изображений, искаженных шумами аппаратуры, фоновыми эффектами и остаточными аберрациями. Обработка произведена оригинальными интегрально - фрактальными авторскими методами, направленными на устранение фонов, повышение резкости и четкости изображений и оконтуривание поврежденных тканей.

1. В настоящее время большое распространение получили средства диагностики человеческого организма. Задача ранней диагностики – выявление заболеваний на наиболее ранней стадии. К таким заболеваниям относятся рак (в начальной стадии), незначительные переломы или ушибы костных тканей, а также обычный анализ состояния внутренних органов. Наиболее известным средством диагностики является рентгеновская диагностика, выполненная на современном уровне с последующим выводом на экран компьютера результатов просвечивания интересующих органов. На практике одного визуального просмотра рентгеновских снимков оказывается недостаточно и возникает необходимость улучшения качества изображений, которые обычно искажены фоновыми эффектами и остаточными аберрациями фокусирующей оптики.

Репозиторий КарГУ

В связи с этим авторами были разработаны оригинальные интегрально – фрактальные методы цифровой обработки рентгеновских изображений, направленные на устранение фонов, повышение резкости и четкости изображений и оконтуривание поврежденных тканей.

2. Математическая постановка задачи может быть записана следующим образом:

$$i(\vec{x}) = \int o(\vec{r})h(\vec{x},\vec{r})d\vec{r} + n(\vec{x}). \quad (1)$$

В (1) $i(\vec{x})$ - регистрируемое рентгеновским аппаратом изображение, $o(\vec{r})$ - исходное неизвестное изображение исследуемого органа, $h(\vec{x},\vec{r})$ - неизвестный импульсный отклик оптической системы, формирующей изображение, $n(\vec{x})$ - неизвестный аддитивный фон с неизвестной статистикой. Таким образом, необходимо решить (1) относительно $o(\vec{r})$, или восстановить неизвестное изображение исследуемого органа. Уравнение (1) является уравнением Фредгольма первого рода [1, 2] с неизвестным ядром и неизвестным аддитивным добавком. На функциональном языке это означает, что необходимо решить интегральное уравнение с тремя неизвестными. Обычно в таких случаях прибегают к упрощающим предположениям об удаленности исследуемого органа от оптической системы, малом угле наблюдения или об инвариантности оптической системы. В результате приходим к упрощенному уравнению типа свертки:

$$i(\vec{x}) = \int o(\vec{r})h(\vec{x}-\vec{r})d\vec{r} + n(\vec{x}). \quad (2)$$

Стоит отметить, что строгое обоснование перехода от (1) к (2) основывается на рассмотрение задачи формирования изображения на основе волновой оптики [2] и переходе от общего уравнения Гюйгенса к приближению Френеля [1 - 3], что требует тщательного анализа всех параметров оптический системы и установки в целом. Вообще говоря, упрощенное уравнение (2) уже вполне поддается численному решению, если в каком-либо приближении оценить и скомпенсировать аддитивный шум и аналогично, аппроксимировать неизвестный импульсный отклик каким–либо известным распределением или просто измерить, просветив оптическую систему точечным источником. После чего применить к (2) Фурье-преобразование и с помощью обычного фильтра Винера и обратного преобразования восстановить неизвестное изображение $o(\vec{r})$.

3. Первая из поставленных задач – устранение аддитивного фона решается следующим образом. Предполагалось, что регистрируемое изображение располагается в центре полного кадра и занимает его половину, Это предположение основано на условии избыточности оптической системы и означает, что в кадре кроме изображения должна поместиться его автокорреляция, по которой можно дополнительно уточнить его геометрические размеры. Однако это условие не является обязательным при проектировании установки; вполне достаточно, если изображение не касается краев кадра. Таким образом, можно предположить, что по периметру кадра располагается только фон, который можно измерить. Алгоритм измерения среднего значения фона сводится к определению периметра кадра, суммированию значений интенсивности изображения по периметру и нормировки на длину периметра. Таким образом, вычисляется среднее значение только фона в кадре, где имеется изображение с наложенным на него фоном. Затем осуществляется компенсация или вычитание фоновой составляющей из распределения интенсивности кадра следующим способом. В каждом элементе разрешения изображения из интенсивности i_{k-1} исходного изображения вычитается среднее значение фона $\hat{n}_{k-1}$, причем если эта разность положительна, то новому значению изображения присваивается значение этой разности,

Репозиторий КарГУ

если разность отрицательна (фон больше сигнала), то новому значению изображения присваивается нулевое значение.

Математически эту процедуру можно записать следующим образом:

$$= i_{k-1} - \hat{n}_{k-1}, \quad \text{при} \quad i_{k-1} > \hat{n}_{k-1},$$
$$i_k = 0, \quad \text{при} \quad i_{k-1} > \hat{n}_{k-1}. \qquad (3)$$

Здесь среднее значение фона $\hat{n}$ вычисляется как: $\hat{n} = \frac{\sum_{i=1}^{L} n_i}{L}$, L - длина периметра кадра. Повторив эту процедуру несколько раз можно получить изображение с очень слабым фоном. Как показали экспериментальные исследования, даже в том случае, когда изображение частично располагается на периметре, описанная процедура продолжает выполнять свои функции и, самое главное, не ухудшает исходное изображение даже в отсутствии фона.

После частичного или полного устранения аддитивного фона уравнение (2) принимает следующий приближенный вид:

$$i(\vec{x}) = \int o(\vec{r}) h(\vec{x} - \vec{r}) d\vec{r}\,. \qquad (4)$$

Переходя к пространственным спектрам, приходим к выражению:

$$I(\vec{\omega}) = O(\vec{\omega}) H(\vec{\omega}) \qquad (5)$$

При восстановлении $O(\vec{\omega})$ авторы использовали простейший вариант фильтра Винера [1 - 3]:

$$O(\vec{\omega}) = \frac{I(\vec{\omega}) H^*(\vec{\omega})}{|H|^2 + (0.000001)|\omega|^2}. \qquad (6)$$

В качестве приближения передаточной функции $H(\vec{\omega})$ использовалось гауссовское распределение с единичной дисперсией и нулевым средним значением. Очень маленький коэффициент в знаменателе перед регуляризирующим множителем $|\vec{\omega}|^2$ обусловлен точностью современных машин и получен экспериментально. Основная задача второго слагаемого в знаменателе (6) – устранить компьютерную ошибку типа “деление на ноль”. При значениях этого коэффициента из диапазона 0,001 – 0,0000000001 при обратном Фурье-преобразовании (6) получается удовлетворительный в случае визуальной обработки скачок в повышении качества и резкости изображения.

4. Однако авторов не вполне устроила неопределенность в подборе коэффициента регуляризации и наряду с (6) была применена еще более простая процедура корректировки Фурье-спектра, направленная на повышение резкости границ.

Хорошо известно, что за мелкие детали изображении или контура отвечают высокие частоты Фурье-спектра. Поэтому если, от любого изображения взять Фурье-преобразование и вместо амплитудного распределения поставить константу (не меняя фазу), и сделать при этом вес всех частот одинаковым, то при обратном Фурье-преобразовании получится детальное, но очень малоконтрастное изображение, которое обычно называют фазовым изображением [1, 2].

После подробного изучения оптической схемы рентгеновской установки, авторы обнаружили, что установка хорошо юстирована и остаточные аберрации крайне малы, и

Репозиторий КарГУ

основные искажения обусловлены фоновой составляющей. В этом случае импульсный отклик можно аппроксимировать гауссовским распределением с очень малой дисперсией, что физически очень близко к δ- функции Дирака. Учитывая фильтрующее свойство δ-функции, приходим к выводу, что в уравнении (2) свертка пропадает, и получается следующее соотношение:

$$i(\vec{x}) = o(\vec{x}) + n(\vec{x}). \quad (7)$$

Однако это приближение довольно грубое и понятно, что даже после устранения второго слагаемого в (7) , т.е. фоновой составляющей, необходимо уменьшить размытость полученного изображения или повысить его резкость. В итоге мы приходим к следующему приближенному соотношению:

$$i(\vec{x}) \approx o(\vec{x}). \quad (8)$$

5. Используя свойство фазы Фурье-спектра, осуществляем Фурье-преобразование соотношения (8) и (не меняя фазу) изменяем только степень амплитуды Фурье-спектра в диапазоне от 0,3 до 1,1. Наилучшим с точки зрения визуального просмотра и разборчивости деталей оказалось значение коэффициента фрактальности α = 0,7.

Дробный показатель α отражает фрактальность исследуемых процессов [1, 3 - 5]. Математически подобная обработка приобретает вид:

$$I(\vec{\omega}) = \left|O(\vec{\omega})\right|^{\alpha} \exp i \arg O(\vec{\omega}). \quad (9)$$

Таким образом $\alpha \subset (0{,}3 - 1{,}1)$. При обработке приведенных изображений коэффициент фрактальности имел значение $\alpha = 0{,}7$ (рис. 1 – рис. 7).



Рисунок 1. Слева приведено исходное изображение человеческого черепа, полученное на рентгеновской установке, справа – обработанное фильтром (3)

Репозиторий КарГУ

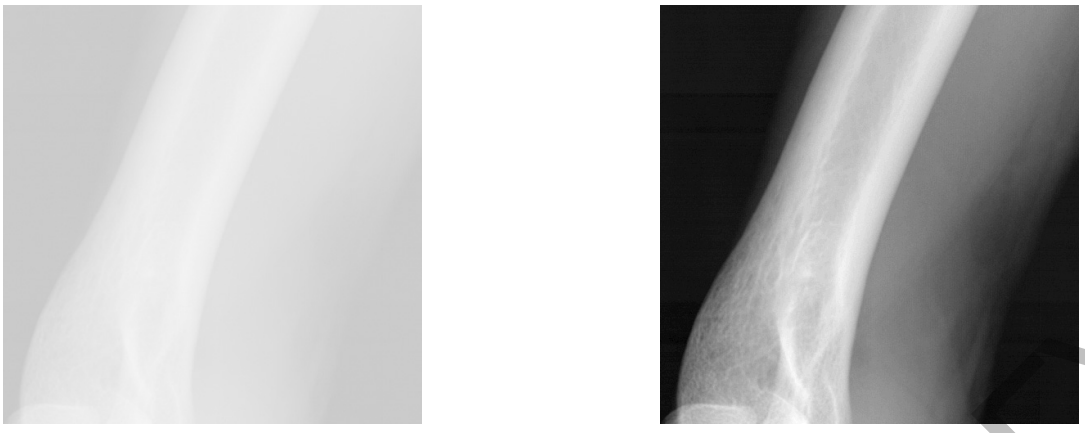


Рисунок 2. Слева приведено исходное изображение человеческой ноги, полученное на рентгеновской установке, справа – обработанное фильтром (3)



Рисунок 3. Слева приведено исходное изображение грудной клетки человека, полученное на рентгеновской установке, справа – обработанное фильтром (3)

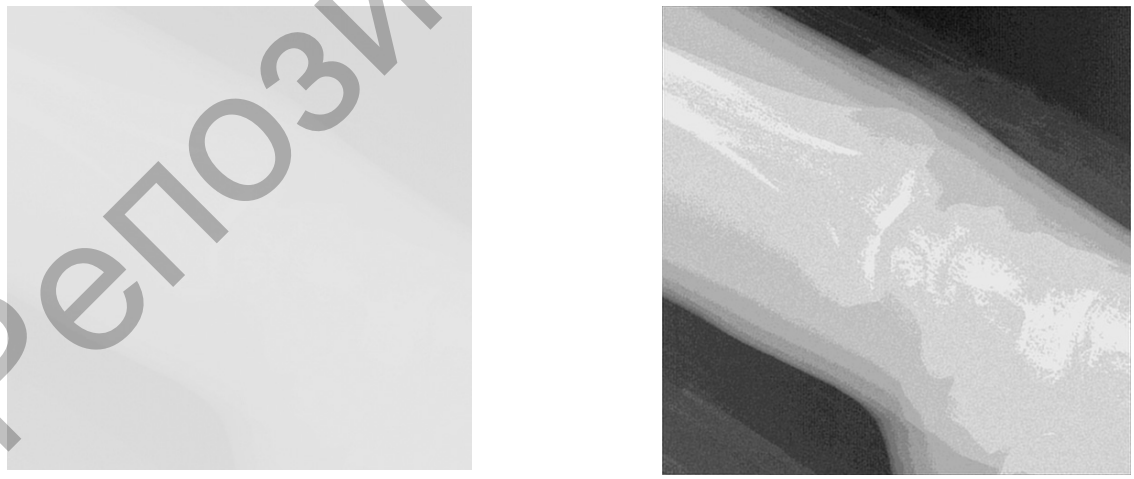


Рисунок 4. Слева приведено исходное изображение человеческого колена, полученного на рентгеновской установке, справа – обработанное фильтром (3)

Репозиторий КарГУ

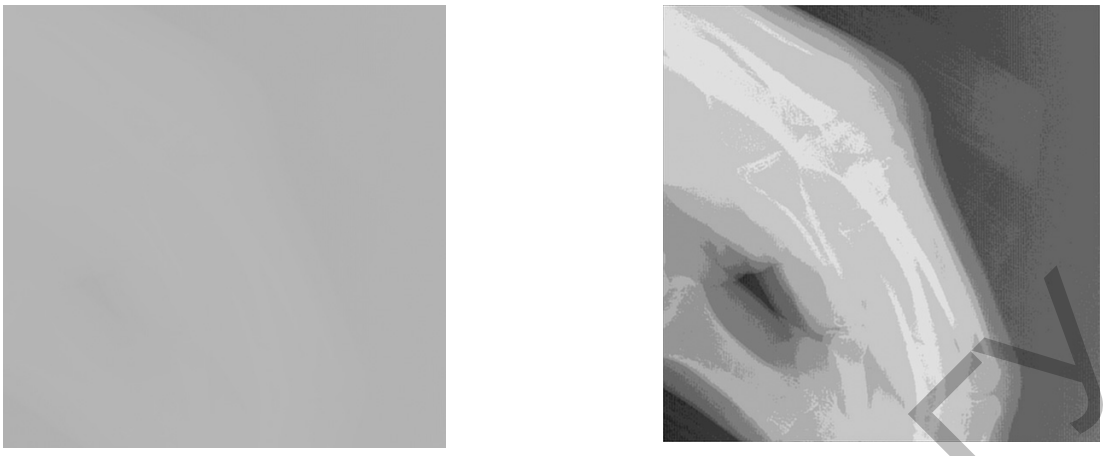


Рисунок 5. Слева приведено исходное изображение кисти руки, полученное на рентгеновской установке, справа – обработанное фильтром (3)

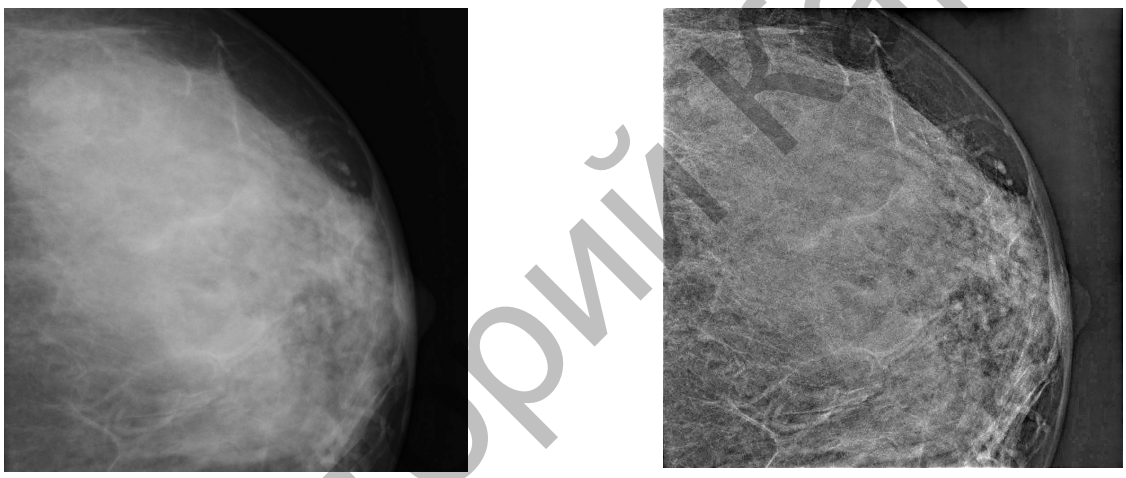


Рисунок 6. Слева приведено исходное изображение женской груди с подозрением на метастазы, полученное на рентгеновской установке, справа – обработанное фильтрами (3) и (9).

Если внимательно присмотреться к обработанному изображению на рис.6, то заметны небольшие уплотнения, которые и являются метастазами в начальной стадии заболевания.

Стоит упомянуть, что время обработки приведенных снимков составляет примерно 0,01 – 0,001 секунды. Если использовать комбинации или последовательности описанных выше фильтров (3), (6) и (9), то резкость обработанных изображений немного возрастает, но соответственно и возрастает и время обработки (примерно в 2 раза).

6. Напомним, что рентгеновские и флюорографические снимки играют большую роль при первичной диагностике таких заболеваний как многочисленные переломы, диагностика различных заболеваний и начальные стадии злокачественных опухолей. Среди многих известных методик, наиболее точной на сегодняшний день является рентгеновская маммография, позволяющая поставить диагноз на самой ранней стадии развития заболевания.

Для решения задачи выделения подозрительных областей на рентгеновских снимках нами была выбрана серия изображений со скоплениями кальцинатов. Зная характерный размер таких образований, удалось выявить их на фоне остальных элементов изображения

Репозиторий КарГУ

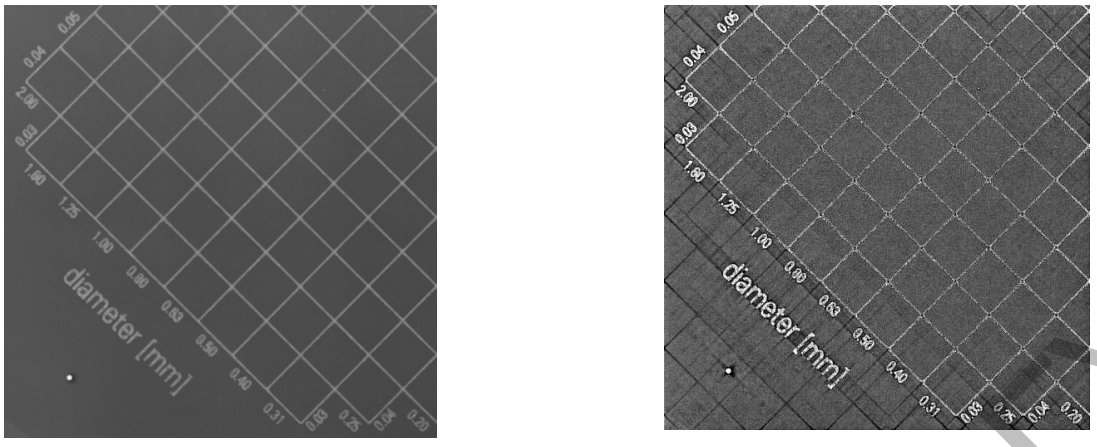
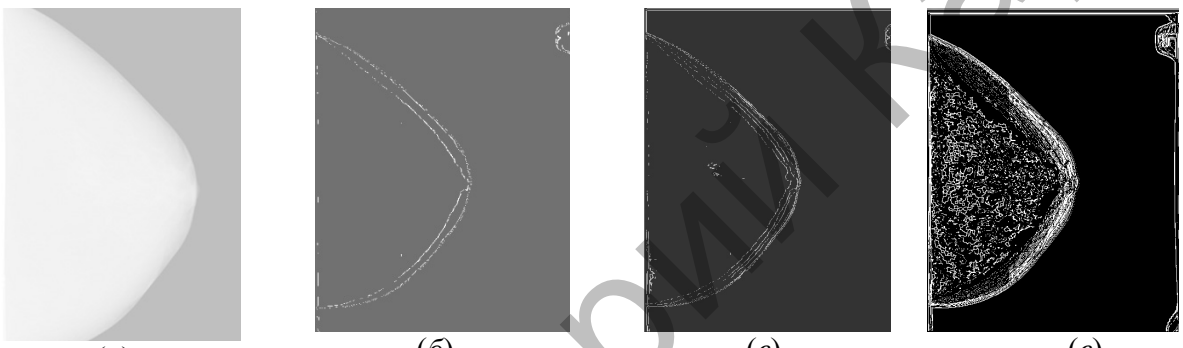


Рисунок 7. Слева приведено исходное изображение калибровочной сетки (тест – объект), справа – обработанное фильтром (9). На обработанном фрагменте хорошо видны цифры шкалы сетки, которые едва различаются на исходном снимке



(*а*) (*б*) (*в*) (*в*)

Рисунок 8. Изображения, полученные при различных оценках фрактальной размерности $D_1 > D_2 > D_3$: *а*) – исходное рентгеновское изображение, *б*) – $D = D_1$, *в*) $D = D_2$, *г*) $D = D_3$

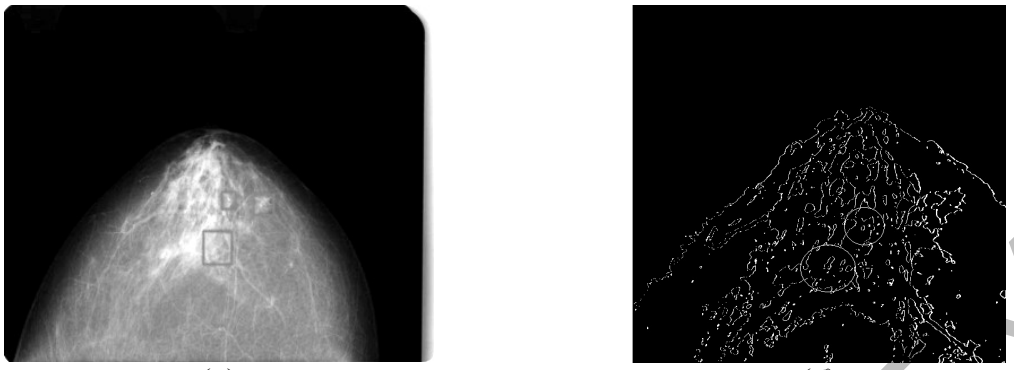
При этом масштабы К и М, необходимые при фрактальной обработке [1, 3 - 5], варьировались от 2 до 10. Соответственно получались различные срезы оценки фрактальной размерности D – рис. 8. Особенно хорошо проявляется подозрительная область на рис 8,*в*.

На рис. 9,*а* скопления кальцинатов отмечены квадратами. На рис. 10 представлены конечные результаты решения задач кластеризации изображения по значению оценки фрактальной размерности D и выделения контуров изображения. Результаты проведенной фрактальной обработки показывают надежное повышение качества медицинских изображений. Примененные методы проверены на различных реальных медицинских изображениях. Полученные данные могут быть полезны при построении комплексных информационных и телемедицинских систем.

В качестве выводов по данной работе отметим, что приведенные результаты многомасштабной обработки потоков медицинской информации наглядно показывают успешное применение созданных авторами новых оригинальных интегрально - фрактальных методов для различных задач, в том числе и задач всесторонней медицинской диагностики.

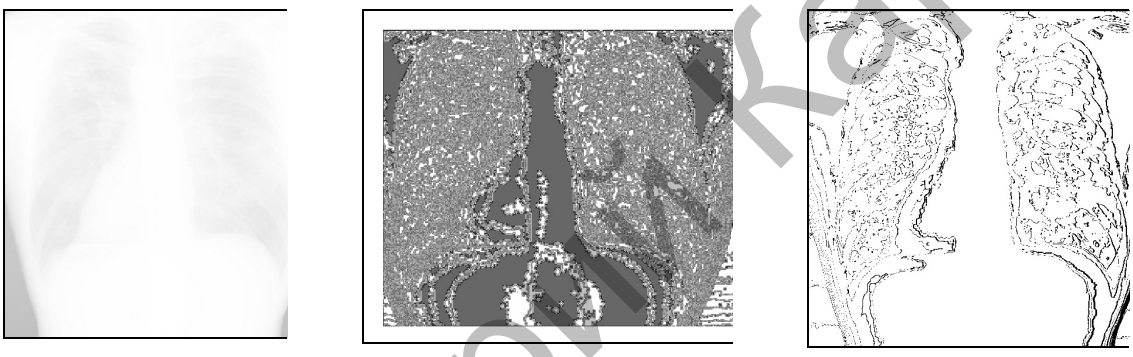
Ранее эти созданные авторами методы были успешно применены для решения практических воздушно-космических задач (РСА, БПЛА и т.д.), а также, в нанотехнологиях. Приведенные данные необходимы при синтезе современных комплексных радиофизических информационных и телемедицинских систем различного назначения.

Репозиторий КарГУ



(*а*) (*б*)

Рисунок. 9. Пример выделения подозрительных областей на изображении: *а*) – исходный снимок, *б*) – результат фрактальной обработки



(*а*) (*б*) (*в*)

Рисунок 10. Пример решения задачи кластеризации исходного рентгеновского снимка (*а*) по значению оценки фрактальной размерности *D* (*б*) и выделение контуров изображения (*в*)

Работа была частично подержана Международным научно-техническим центром (проект № 0847.2, 2000–2005, США), Российским фондом фундаментальных исследований (проекты РФФИ №05-07-90349, 07-07-07005, 07-07-12054, 07-08-00637, 11-07-00203, 18-08-01356-а), а также проектом "Leading Talents" (проект № 00201502, 2016–2020) в Джинанском университете (Гуанджоу, Китай).

Литературы:

1. Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А.А. Потапова.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.– 496 с. (монография - по гранту РФФИ № 07 – 07 - 07005).

2. Болтс Г.П. Обратные задачи в оптике / Пер. с англ. под ред. А.Г. Свешникова и П.П. Пашинина.– М.: Машиностроение, 1984.– 200 с.

3. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. Изд. 2-е, перераб. и доп.– М.: Университетская книга, 2005.– 848 с.

4. Герман В.А., Потапов А.А. Обработка медицинских рентгеновских изображений фрактальными методами // Нелинейный мир.– 2011.– Т. 9.– № 5.– С. 275–278.

5. Профессор Александр Алексеевич Потапов. Биобиблиографический указатель / Под ред. академика Ю.В. Гуляева.– М.: 2019.– 256 с. (Одобрено Ученым советом ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН 26.12.2018).

Репозиторий КарГУ

А.Л. Шакиров
КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан Iskander-bek56@mail.ru

Бинокуляр универсальный

Существует класс оптических приборов, призванных увеличить возможности зрительного аппарата человека. К ним можно отнести глазные лупы, бинокли, бинокулярные микроскопы, хирургические бинокуляры и пр. Однако все эти приборы функционируют только в соответствии со своим назначением. Задача данной работы - создание универсального прибора, сочетающего в себе все их качества.

В патентах [1-4] приводится описание бинокуляров различных конструкций. Все они грешат чрезвычайной сложностью устройства, недостаточной универсальностью, а некоторые и недостаточной проработанностью оптико-механической системы. В работе [5] приводится модель зрительной трубы с составным объективом, в соответствии с которой был разработан ряд физических моделей оптических приборов [6-9]. К настоящему времени получен патент РК на полезную модель [10]. Был подан ряд заявок на изобретения [9-11].

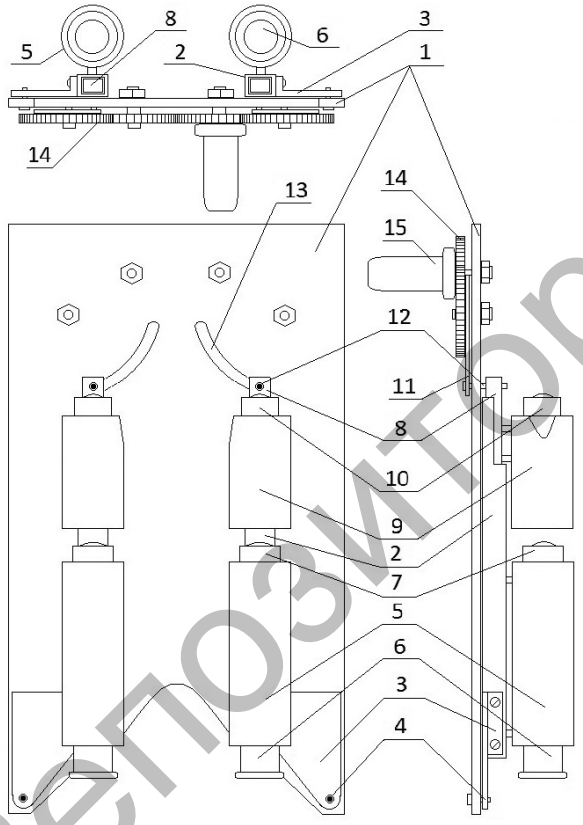


Рисунок 1. Вид сверху бинокуляра с боковыми проекциями

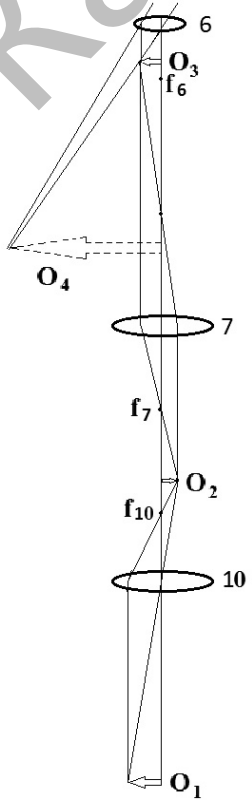


Рисунок 2. Схема оптического канала с построением хода лучей

На рисунке 1 приведена общая схема бинокуляра. Здесь на пластине 1, имеющей вырез для лица в задней части, установлены две направляющие 2, каждая в виде трубок прямоугольного сечения. Консоли 3 неподвижно закреплены на направляющих 2 и имеют на концах шарниры 4, оси которых установлены на пластине 1. Таким образом, направляющие 2 имеют возможность качания на шарнирах 4 в плоскости, параллельной пластине 1. На направляющих 2 неподвижно установлены задние тубусы 5, в задних торцах которых установлены окуляры 6, а в передних торцах - основные объективы 7. В обеих направляющих с возможностью продольно - скользящего движения размещены стержни 8

Репозиторий КарГУ

прямоугольного сечения. На стержнях 8 неподвижно установлены передние тубусы 9 с дополнительными объективами 10. На поводках 11 установлены оси 12, проходящие сквозь отверстия стержней 8 и образующие с ним подшипники скольжения. Пластина 1 имеет сквозные вырезы 13, выполненные с возможностью свободного прохождения осей 12. Поводки 11 закреплены на наружных парных шестернях 14, установленных на нижней грани пластины 1. На одной из шестерен 14 неподвижно установлена рукоятка 15. Четыре шестерни установлены на нижней грани пластины 1 на осях с возможностью вращения и находятся в зацеплении.

На рисунке 2 приведена оптическая схема одного из каналов бинокуляра с построением хода лучей. Здесь окуляр 6 с фокусом $\mathbf{f_6}$ и основной объектив 7 с фокусом $\mathbf{f_7}$ образуют классическую схему оптического микроскопа.

Дополнительный объектив 10 с фокусом f_{10} расположен впереди основного на оптической оси с возможностью контролируемого перемещения по ней. Дополнительный объектив 10 создает O_2 - действительное перевернутое изображение объекта O_1. Основной объектив 7 формирует действительное прямое изображение объекта O_3, которое рассматривается при помощи окуляра 6, формирующего O_4 - мнимое прямое изображение объекта O_1.

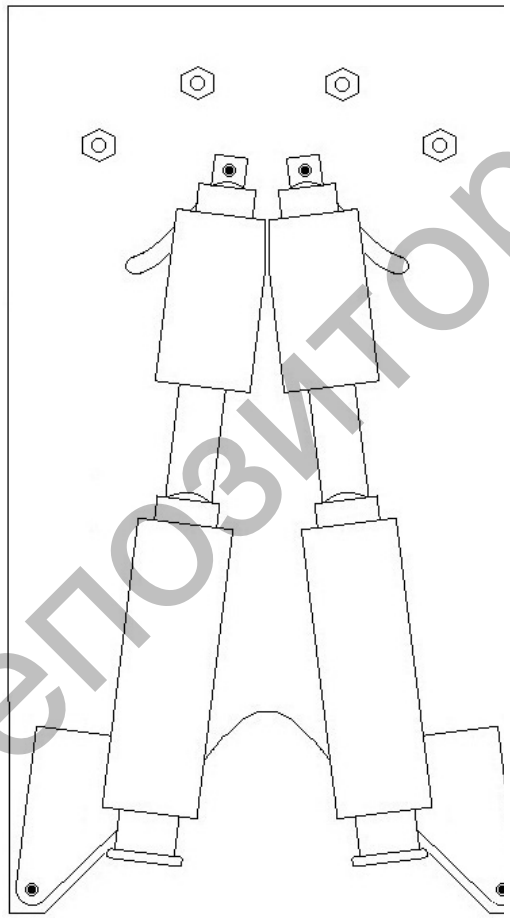


Рисунок 3. Вид бинокуляра в режиме бинокулярного микроскопа

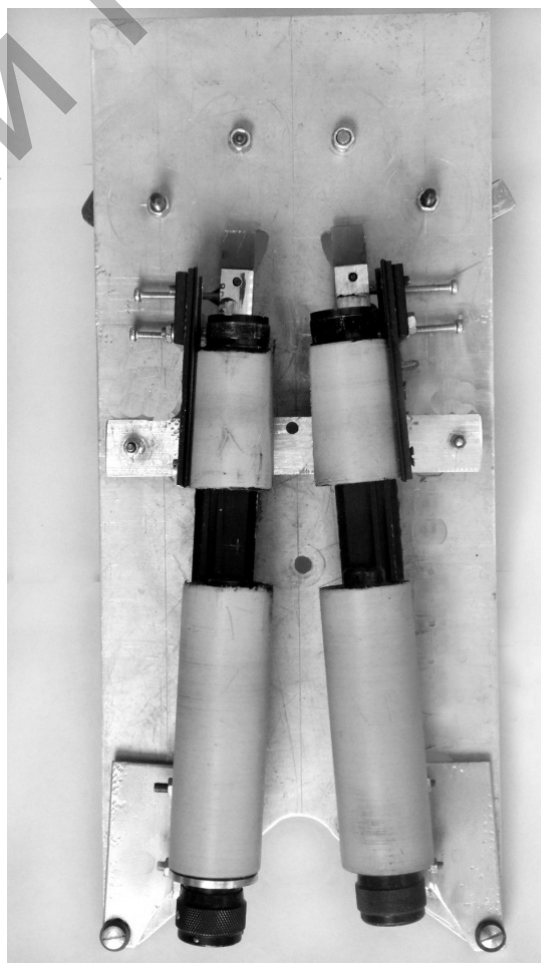


Рисунок 4. Фотография рабочего макета бинокуляра в промежуточном режиме

Репозиторий КарГУ

Бинокуляр используют следующим образом: Удерживая бинокуляр одной рукой, другой рукой берутся за рукоятку 15, и проводят наблюдение отдаленных объектов (рисунок 1). Для наблюдения близкорасположенных объектов начинают вращать рукоятку 15. Через шестерни 14, поводок 11 и ось 12 это движение передается стержням 4, которые с одновременным выдвижением из направляющих 2 заставляют их синхронно поворачиваться на шарнирах 4. Этим обеспечиваются согласование аккомодации с конвергенцией оптических осей и наблюдение объекта на всех промежуточных значениях дальности. При конвергенции окуляры 6 движутся по отрезкам окружностей с центрами в шарнирах 4 и сближаются - этим обеспечивается совмещение оптических осей бинокуляра с оптическими осями глаз.

Кроме того, возможно использование части данной схемы в другом качестве. В этом случае окуляры 6 и объективы 7 отсутствуют, а в фокальных плоскостях дополнительных объективов 10 установлены фотографические матричные сенсоры. Использование этой схемы обеспечивает возможность передачи визуальной информации на другие устройства. Данная схема может быть использована в конструкциях стереофотоаппаратов, роботов-андроидов, дальномерах и других приборах.

Был изготовлен рабочий макет бинокуляра в соответствии с предложенной схемой. В режиме бинокля его кратность равнялась 10, в режиме бинокулярного микроскопа - 20. Макет обеспечивал устойчивую работу в промежуточных режимах. Изображение практически не имело аберраций за счет использования качественных объективов и окуляров. Данное устройство может найти применение в тех случаях, когда накладываются ограничения на вес и габариты багажа, например, при походе в горы, при полетах в Космос, или же в научной экспедиции.

Литературы:

1. Патент US 2406526 A (AMERICAN OPTICAL COMPANY) 27.08.1946.
2. Патент US 4323298 A (BAIRD CORPORATION) 06.04/1982.
3. Патент US 5374820 A (SCHMIDT OPTEK B.V.) 20.12.1994.
4. Патент US 597540 A (OLYMPUS AUSTRIA GESSELSCHAFT) 26.10.1999.
5. А.Л. Шакиров. “Модель зрительной трубы с составным объективом” // Вестник КазНУ. серия физическая. 2(49), Алматы, РК, 2014, С. 77-82.
6. А.Л. Шакиров. “Модель оптического микроскопа с составным объективом” // Вестник КазНУ. серия физическая. 3(54), Алматы, РК, 2015, С. 80-87.
7. А.Л. Шакиров, В.В. Дьячков “Оптический микроскоп с тремя ступенями увеличения” тезис 9-ая Международная научная конференция "Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование" Сборник тезисов и докладов, 12-14 октября, Алматы, РК, 2016, С. 203 - 204.
8. А.Л. Шакиров “Универсальная оптическая фотоприставка” // Вестник КазНУ, серия физическая, 2 (61), Алматы, РК, 2017, С. 127 – 131.
9. Бияшева З.М., Дьячков В.В., Зарипова Ю.А., Шакиров А.Л., Юшков А.В. “Модель бинокулярного микроскопа с тремя ступенями увеличения”, V Международные Сарсембиновские чтения, Материалы международной конференции “Современные проблемы физики конденсированного состояния, нанотехнологии и наноматериалов”, Сборник научных трудов, 17-18 мая, 2018, Алматы, РК, С. 109 - 113.
10. Бияшева З.М., Дьячков В.В., Шакиров А.Л., Юшков А.В., Зарипова Ю.А. патент РК на полезную модель “Бинокулярные очки” № 3770 от 24.10.2018.
11. А.Л. Шакиров. Заявка на изобретение ЕАПО “Оптический микроскоп” №201700081 от 27.02.2017, положительное решение о выдаче патента.
12. А.Л. Шакиров. Заявка на изобретение РК “Универсальный бинокуляр” № KZ2018 от 18.10.2018.
13. А.Л. Шакиров. Заявка на изобретение ЕАПО “Универсальный бинокуляр” №201900015 от 11.01.2019.

Репозиторий КарГУ

А. Курмаш, К.Т. Ермаганбетов, Л.В. Чиркова
Карагандинский государственный университет имени академика Е.А. Букетова, г. Караганда, Республика Казахстан, ket3853@mail.ru

Самоорганизация электронов в полупроводниковых приборах

К неравновесным термодинамическим системам относятся открытые макроскопические системы, обладающие большим числом микроскопических степеней свободы. Под действием внешних сил и вследствие имеющихся нелинейностей такие системы могут самопроизвольно переходить в состояние с высокоупорядоченными пространственными или временными структурами. Подобные структуры называются диссипативными, так как они возникают и поддерживаются при непрерывном притоке и диссипации энергии.

Замкнутые, изолированные системы после окончания воздействия внешнего возмущения всегда возвращаются в состояние теплового равновесия, обладающее максимальной энтропией. В открытой неравновесной нелинейной термодинамической системе под действием внешнего возмущения могут развиваться процессы самоорганизации, в результате которых энтропия системы локально уменьшается. Эти процессы связаны с качественными изменениями в состоянии системы, возникающими, например, вследствие фазовых переходов в равновесных системах.

Теория неравновесных термодинамических систем развивается в двух направлениях [1-4]. Первое связано с развитием теоретических основ на основе использования систем нелинейных дифференциальных уравнений (теория бифуркаций, теория динамических систем, теория катастроф, теория солитонов, теория хаоса и др.). Второе – основано на выявлении и подборе наиболее подходящих физических величин и наблюдаемых параметров, пригодных для описания состояния неравновесных систем.

Многие полупроводниковые приборы работают в режиме управляемых электрических неустойчивостей, которые вызывают осцилляцию тока, напряжения или переходы между проводящими и непроводящими состояниями. Т.е., эти неустойчивости можно рассматривать как неравновесные фазовые переходы в сильно неравновесной термодинамической системе.

Если на полупроводник действует сильное внешнее возмущение – сильные электрическое и магнитное поля, сильное световое поле, интенсивная инжекция неосновных носителей заряда - в нем могут возникать неустойчивости как, например, токовый пробой, колебания и скачки токов и напряжений, гистерезис вольт – амперной характеристики и др.

При больших отклонениях от равновесия в однородно легированных полупроводниковых образцах возникают области сильного (или слабого) электрического поля, называемые ***электрическими доменами*** [2]. Свойства этих областей в значительной степени отличаются от свойств остальной части образца.

Домены могут быть подвижными и неподвижными (статическими). Статические домены могут располагаться вблизи контактов или неоднородностей полупроводникового образца. Движение доменов сильного поля происходит в том направлении, куда движутся основные носители заряда. Скорость движения доменов постоянна. Движущиеся домены приводят к возникновению колебаний тока. Они обусловлены исчезновением доменов в одних контактах и возникновением в других. Если времена исчезновения и появления колебаний тока малы по сравнению со временем прохождения колебаний по образцу, то период колебаний определяется отношением длины образца к скорости переноса домена.

В результате сильного отклонения от равновесия однородное распределение поля может стать неустойчивым и система перейдет в другое, резко неоднородное состояние. Это ситуация напоминает в определенном смысле фазовый переход. Переход в неоднородное состояние происходит скачком при определенных параметрах внешнего возмущения.

Репозиторий КарГУ

Интерес к исследованию электрических (доменных) неустойчивостей в полупроводниках и полупроводниковых структурах, наблюдаемый в настоящее время, во многом объясняется следующими обстоятельствами [2,3,5].

Во-первых, эти исследования открывают принципиально новый и достаточно простой способ преобразования электромагнитной энергии с помощью полупроводников, не содержащих ни электронно-дырочных переходов, ни каких-либо других искусственно созданных макроскопических неоднородностей. С этой точки зрения важное значение имеют полупроводники, где возможно появление подвижных и неподвижных (статичных) электрических неустойчивостей, приводящих к нелинейной вольт-амперной характеристике. В таких средах, в зависимости от условий эксперимента, возможны генерация и усиление электромагнитных колебаний, стабилизация тока и т.д. Соответственно, будет значительно прикладное значение таких полупроводников. Особый интерес в этой связи представляет исследование доменной неустойчивости в арсениде галлия, связанной с особенностями его энергетического спектра.

Во-вторых, возникновение электрических неустойчивостей в полупроводниках может быть связано либо со своеобразием энергетического спектра носителей заряда (как в случае арсенида галлия), либо с особенностями процессов захвата и генерации носителей заряда в них, либо со спецификой обмена энергией между различными степенями свободы твердого тела. В связи с этим исследование электрических неустойчивостей в полупроводниках представляет особый интерес для физики твердого тела.

Далее. Полупроводники могут рассматриваться как существенно неравновесные макроскопические термодинамические системы. Поэтому результаты, полученные при исследовании электрических неустойчивостей в полупроводниках, по-видимому, должны носить более общий характер, а не ограничиваться только этой областью науки.

Как уже отмечалось, домены могут быть подвижными и неподвижными (статические). Подвижные домены могут привести к колебаниям тока в образце.

Под действием сильного поля в полупроводниках возможно также возникновение токовых шнуров, плотность тока внутри которого существенно отличается от плотности тока в остальной части образца.

В условиях, близких к состоянию термодинамического равновесия, распределение напряженности поля в макроскопическом однородном образце само является пространственно однородным. При значительном отклонении от состояния равновесия однородное распределение поля может стать неустойчивым и система может перейти в другое, резко неоднородное состояние. Это явление в определенном смысле напоминает фазовый переход - переход в неоднородное состояние происходит скачком при некоторых значениях параметров (напряженности электрического поля, интенсивности светового потока и т.д.).

Именно образованием статических доменов было впервые объяснено появление падающего участка на вольт-амперной характеристике однородного образца. Далее было высказано предположение, что возникновение отрицательной дифференциальной проводимости связано с флуктуационной неустойчивостью пространственно однородного распределения электрического поля и заряда. Стационарное движение доменов впервые было объяснено нелинейностью. Этим же феноменом были объяснены колебания тока в германии, легированном атомами золота.

Для исследования распределения поля и заряда в образце при нарушении равновесия в нем как правило, используют зависимость плотности тока от напряжения, т.е. вольтамперную характеристику.

В нелинейной среде вольтамперная характеристика определяется тензором дифференциальной проводимости

Репозиторий КарГУ

$$\sigma_{\alpha\beta} = dj_\alpha / dE_\beta, \quad (1)$$

где
α, β – принимают значения *x*, *y*, *z*.
В пространственно однородной системе выражение (1) принимает скалярный вид

$$\sigma = dj/dE, \quad (2)$$

т.е. векторы *j* и *E* коллинеарны.

Дифференциальная проводимость в определенном интервале значений напряженности *E* принимает отрицательное значение. Это обусловлено тем, что при возникновении колебаний тока в цепи часть энергии, поставляемой источником постоянного тока, трансформируется в энергию электромагнитных волн [2].

Заметим, что изменение знака дифференциальной проводимости в пространственно однородной системе может привести не прямо к незатухающим колебаниям тока, а к изменению состояния системы – образованию доменов. Колебания тока при этом возникают в результате движения доменов.

На рисунке 1 показана зависимость плотности тока ***j*** от напряженности поля в пространственной системе координат. Как видно из рисунка, на вольт – амперной характеристике имеется участок с отрицательным сопротивлением.

Из рисунка 1, *а* следует, что в определенной области значений тока $j_\upsilon < j < j_p$ напряженность поля является многозначной функцией плотности тока. При заданном значении тока в указанном интервале система может находиться в одном из трех пространственно однородных состояний, в двух из которых (при E_1 и E_3) дифференциальная проводимость положительна, а в третьем (при E_2) – отрицательна. Такую вольт - амперную характеристику называют характеристикой *N*- типа. На вольт – амперных характеристиках *N*- типа дифференциальная проводимость меняет знак, принимая нулевые значения в точках ($E = E_p$, $j = j_p$) и ($E = E_\upsilon$, $j = j_\upsilon$).

Как следует из рисунка 1, *б* , в случае *S*–образной вольт- амперной характеристики плотность тока *j* является неоднозначной функцией напряженности электрического поля *E*. Дифференциальная проводимость меняет знак, обращаясь в бесконечность, в точках ($E = E_p$, $j = j_p$) и ($E = E_\upsilon$, $j = j_\upsilon$).

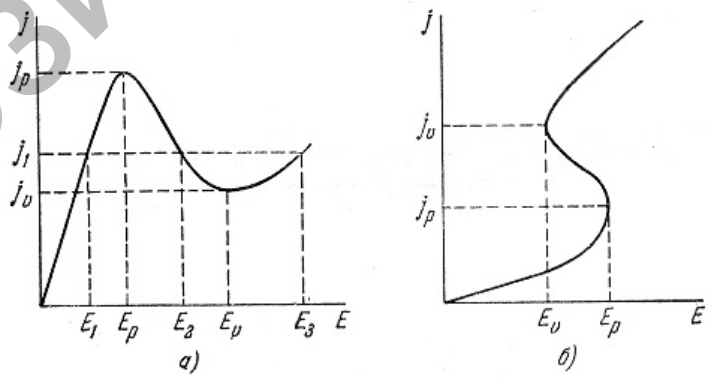


Рисунок 1. Вольт – амперные характеристики *а*) *N*– типа, *б) S*– типа

В изотропной пространственно однородной системе с униполярной проводимостью вектор плотности тока связан с вектором плотности напряженности поля соотношением:

$$\boldsymbol{j} = qn\mu\boldsymbol{E}, \quad (3)$$

Репозиторий КарГУ

где q – заряд, nи μ – концентрация и подвижность носителей заряда.

Концентрация и подвижность носителей заряда вообще зависят от напряженности электрического поля. Тогда, используя выражение (3), из (2) получим:

$$\sigma = qn\mu(1+d\ln\mu/dlnE + d\ln n/d\ln E). \quad (4)$$

Из последнего выражения следует, что для того, чтобы удельная проводимость принимала отрицательные значения, необходимо, чтобы наблюдалось резкое уменьшение с ростом напряженности электрического поля либо подвижности, либо концентрации носителей заряда, либо и того, и другого. В соответствии с этим выделяют два основных механизма, приводящих к отрицательной удельной проводимости: *дрейфовую нелинейность*, определяемую зависимостью подвижности носителей заряда от электрического поля $\mu = \mu(E)$, и *концентрационную нелинейность,* которая обусловлена зависимостью концентрации носителей заряда от электрического поля $n = n(E)$.

Полевые зависимости подвижности и концентрации носителей заряда вызываются влиянием следующих факторов.

Прежде всего, нагревом электронного газа в электрическом поле. Из-за того, что массы электронов (дырок) много меньше массы атомов, образующих кристалл, обмен энергией между электронами (дырками) и решеткой происходит значительно медленнее, чем обмен импульсом. Поэтому средняя энергия электронов (дырок) в сильном электрическом поле может заметно отличаться от энергии, характерной для них в состоянии термодинамического равновесия. В результате электронный газ в сильном электрическом поле нагревается.

К зависимости подвижности, коэффициента диффузии, концентрации свободных носителей заряда от напряженности электрического поля приводит изменение усредненных характеристик носителей заряда, таких, как подвижность, рекомбинационное время, скорость ионизации и т.д., из-за зависимости распределения носителей заряда по энергиям от вероятностей индивидуальных актов рассеяния носителей на рассеивающих центрах.

Существенную роль играют особенности энергетического спектра носителей заряда в полупроводниках.

К зависимости концентрации носителей заряда от напряженности электрического поля может приводить также перераспределение электронов между зоной проводимости и связанными состояниями при разогреве электронного газа. Усредненная вероятность переходов электронов на ловушки и обратно зависит от вида функции распределения электронов в зоне проводимости. А усреднение проводится с использованием неравновесной функции распределения, которая и зависит от напряженности электрического поля.

Далее, неустойчивость, называемая *перегревной,* может быть связана с особенностями зависимости времен рассеяния энергии и импульса от средней энергии носителей заряда. При этом изменение характера рассеяния энергии и импульса основной части носителей заряда может привести к изменению поведения системы горячих электронов – к изменению ВАХ. (Выше рассмотренные механизмы, приводящие к появлению падающего участка на вольт-амперной характеристике связаны с особенностью энергетического спектра носителей заряда. Действительно, возникновение ОДП было связано с переходом части электронов в особые состояния. Например, на локальные уровни или в те области энергетического спектра, где велики эффективные массы носителей).

Изменение формы вольт-амперной характеристики возможно также из-за разогрева решетки за счет джоулева тепла. Повышение температуры кристалла при разогреве его в электрическом поле вызывает уменьшение концентрации неравновесных носителей заряда, генерируемых при освещении образца, что приводит к ОДП. (До сих пор описывались случаи, когда под действием электрического поля существенно нарушалось равновесие в системе носителей заряда, а разогрев решетки не учитывался)

Репозиторий КарГУ

В современной электронике успешно применяются неупорядоченные полупроводниковые материалы, что обуславливает необходимость исследования пространственно-распределенных систем, в которых развиваются процессы самоорганизации.

Анализ физических механизмов возникновения нелинейных процессов (ударной ионизации, нелинейной рекомбинации, полевого разогрева носителей заряда, перехода носителей заряда с одного энергетического минимума к другому энергетическому минимуму с изменением эффективной массы носителей заряда), лежащих в основе функционирования тех или иных полупроводниковых приборов, и методов управления ими представляет особый интерес для углубленного понимания физических принципов их работы.

В качестве примера рассмотрим туннельный диод, находящийся под обратным смещением. Действие туннельного диода основано на прохождении свободных носителей заряда (электронов) сквозь узкий потенциальный барьер благодаря квантовомеханическому процессу туннелирования носителей заряда. Поскольку вероятность туннельного просачивания электронов через барьер в значительной мере определяется шириной области пространственного заряда в *p-n*-переходе, туннельный диод изготовляют на основе вырожденных полупроводников (с концентрацией примесей до 10^{25} - 10^{27} м$^{-3}$). В них уровни примесных атомов образуют энергетическую зону, сливающуюся с основными разрешенными зонами (валентной и зоной проводимости). В результате уровни Ферми располагаются не в запрещенных зонах *n*- и *p*- типов полупроводников, а в разрешенных зонах: в валентной зоне слоя *p* и в зоне проводимости слоя *n*. Следствием высокой концентрации примесей в прилегающих к *p-n* – переходу областях является малая толщина перехода в туннельном диоде (около 10^{-2} мкм). Сквозь такие тонкие потенциальные барьеры возможно туннелирование носителей заряда [6,7].

Если рассматривать систему, состоящую из источника энергии и туннельного диода, то физические процессы, происходящие в такой системе, будут удовлеворять основным принципам синергетики:

- когда между элементами системы отсутствует взаимодействие, т.е. когда на диод не действует источник энергии, потоки электронов через *p-n*- переход уравновешиваются и ток через переход отсутствует. Таким образом, элементы рассматриваемой системы (полупроводники *n*- и *p*- типов) обмениваются веществом (одинаковыми количествами электронов);

- когда на диод действует источник энергии, носители заряда на длине свободного пробега накапливают избыточную энергию за счет энергии источника и при сталкновениях с неидеальностями кристалла передают накопленную энергию кристаллу. В результате кристалл нагревается. Нагретый кристалл отдает тепловую энергию окружающей среде. Т.е. рассмативаемая система является открытой и находится в термодинамическом неравновесном состоянии.

Когда к туннельному диоду прикладывается обратное смещение, происходит следующее:

- электроны валентной зоны полупроводника *p*–типа, находящиеся на энергетических уровнях ниже уровня Ферми φ_{F_P}, располагаются напротив свободных энергетических уровней полупроводника *n*–типа, лежащих выше уровня Ферми φ_{F_n}. В результате этого возникает ток через переход, направленный от полупроводника *n*–типа к полупроводнику *p*–типа.

Таким образом, в системе происходит самоорганизация процессов в виде направленного переноса электронов от полупроводника *p*–типа к полупроводнику *n*–типа. Перенос заряда происходит путем туннелирования. Самоорганизация становится возможной за счет особенностей взаимодействия между элементами системы и их характеристик. Направление самосогласованного процесса определяется особенностями свойств взаимодействующих

Репозиторий КарГУ

элементов системы и природой взаимодействия между ними. В рассматриваемом случае, направление самосогласованного процесса определяется особенностями энергетической структуры двух полупроводников и направлениями поля внешнего источника энергии и внутреннего поля перехода.

Литературы:

1. Шелль Э. Самоорганизация в полупроводниках. Неравновесные фазовые переходы в полупроводниках, обусловленные генерационно-рекомбинационными процессами: Пер. с англ. – Мир, 1991. – 464 с. ил.
2. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках. В. Л. Бонч-Бруевич, И. П. Звягин, А. Г. Миронов. Гл. ред. физ.-мат.лит. Изд-во «Наука», 1972 г.
3. Хакен Г. Синергетика. – М.:Мир, 2000. 404 с.
4. Усыченко В. Г. Электронная синергетика. Физические основы саморганизации и эволюции материи: Курс лекций, - СПб.: «Издательство Лань», 2010. – 240 с
5. Николис Н., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. – М.: Мир, 2007. 96 с.
6. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Сов. радио, 1980.– 296 с.
7. Пасынков В. В., Чиркин Л. В. Полупроводниковые приборы: Учеб. для вузов – Высш. шк., 1987. – 479 с.

А.Н.Құрмаш
Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан,
E-mail:altynay.kurmash@mail.ru

P-n ауысуда жүретін физикалық үдерістердегі синергетика элементтері

Қазіргі заманғы электроника элементтерін жасау үшін, алдымен шалаөткізгіштерде өздігінен жүретін үдерістерді зерттеу қажет. Шалаөткізгіштен жасалған құралдарда жүретін физикалық үдерістердегі синергетика элементтерін зерттеудің қажеттілігі, біріншіден, шалаөткізгіштен жасалған құралдардың көпшілігінің негізінде синергетика ұстанымдары жатады. Екіншіден, шалаөткізгіштер және олардан жасалған құралдар синергетика заңдылықтарын зерттеуге мүмкіндік беретін ерекше орта. Синергетика заңдылықтарының дұрыс, бұрыстығын тәжірибе жүзінде анықтауға мүмкіндік беретін, бірден - бір қолайлы орта шалаөткізгіштер және олардан жасалған құралдар болып табылады.

Шалаөткізгіштерден жасалған құралдар электрлік тұрақсыздықтар пайда болатын күрделі динамикалық жүйе болып табылады. Электрлік тұрақсыздықтарға токтың тұрақсыздығы, кездейсоқ ток пен кернеудің ауытқуы тағы басқалар жатады. Шалаөткізгіштердегі электрлік тұрақсыздықтар сыртқы электр өрісінің әсерінен, қосалқы заряд тасушылардың инжекциялауы әсерінен, сыртқы фотондар өрісінің әсерінен тағысын тағы басқалай пайда болуы мүмкін. Термодинамикалық жүйеде өздігінен жүретін үдерістер пайда болу үшін жүйе тепе-теңдік күйінен шығарылған, ашық-сыртқы ортамен, энергиямен, ақпараттармен алмасу мүмкіндіктері бар болу керек.

Шалаөткізгіштен жасалған құралдардың жұмыс ұстанымдарының негізінде жататын бейсызық үдерістердің (соқтығысу арқылы иондалу, бейсызық рекомбинация, заряд тасушылардың энергиясының электр өрісінің әсерінен артуы, заряд тасушылардың энергия спектрінің бір минимумнан екінші минимумына көшу кезінде, олардың эффектив массаларының өзгерісі т.т.с) физикалық негіздерін зерттеудің маңызы ерекше. Себебі, бейсызық үдерістердің ерекшеліктеріне сүйеніп, жаңа шалаөткізгіш құралдарын жасауға болады.

Репозиторий КарГУ

Егер энергия көзі мен шалаөткізгіштен жасалған құралды бір ғана ашық, орнықсыз термодинамикалық жүйе деп қарастырсақ, ондағы заряд тасушылар өздігінен жүретін үдерістерге қатысады. Өздігінен жүретін үдерістердің бағыты мен қарқындылығы жүйе элементтерінің қасиеттеріне және олардың өзара әрекеттесу сипатына байланысты.

P-n ауысу кезінде өз бетімен жүретін үдерістер: P-n ауысу деп өткізгіштік тектері әртүрлі шалаөткізгіштерден және олардың арасында пайда болған электр өрісінен тұратын құрылым.

Егер энергия көзі мен шалаөткізгіштен жасалған құралды - *p-n* ауысу бір ғана ашық, орнықсыз термодинамикалық жүйе деп қарастырсақ, ондағы заряд тасушылар өздігінен жүретін үдерістерге қатысады.

Мысалға, заряд тасушылардың шоғырлану дәрежесінің градиенттерінің әсерінен, *p*-тектес шалаөткізгіштегі кемтіктер *n*-тектес шалаөткізгішке өздігінен өтсе, ал *n*-тектес шалаөткізгіштегі электрондар *p*-тектес шалаөткізгішке өздігенен өтеді, диффузия тоғы пайда болады. Нәтижесінде, шалаөткізгіштердің іргелес қабаттарында иондалған береген және алаған қоспалардың әсерінен зарядталған қос қабат пайда болады. Зарядталған қос қабаттың электр өрісі заряд тасушылардың диффузиялануына кері әсер етеді, дәлірек айтқанда диффузия құбылысына қарсы бағытталған ығу тоғын тудырады. Диффузиялауға бөгет болатын потенциалық тосқауыл пайда бола бастайды. Ығу тоғының шамасы диффузия тоғының шамасына теңескенде, шалаөткізгіштердің жапсарлас қабаттары арқылы заряд тасымалдануы тоқталып, олардың арасында термодинамикалық тепе-теңдік орнайды.

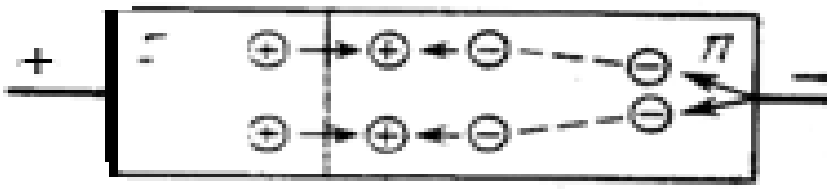
Зарядталған қос қабаттың электр өрісінің әсерінен *p-n*-ауысу өңіріндегі заряд тасушылардың энергиялары координатқа байланысты өзгереді. Валенттік энергия жолағының төбесіне және өткізгіш энергия жолағының түбіне сәйкесті энергиялардың координатқа байланысты тәуелділігі пайда болады. P-шалаөткізгіштегі Ферми энергия деңгейі E_{Fp} көтеріліп *n*- шалаөткізгіштегі Ферми энергия деңгейі E_{Fn} төмендеп олар өзара теңескенде шалаөткізгіштердің арасында термодинамикалық тепе-теңдік орнайды. Шалаөткізгіштердің арасында шамасы Ферми энергия деңгейлерінің айырымына тең $q\varphi_k = E = E_{Fn} - E_{Fp}$, диффузия құбылысын тежейтін, потенциалық тосқауыл пайда болады.

Сонымен, өткізгіштік тектері әртүрлі екі шалаөткізгіштерді негізгі заряд тасушыларымен еркін алмаса алатындай етіп түйістірсе заряд тасушылар келесідей өздігінен ұйымдасқан үдерістерге қатынасады:

- заряд тасушылардың реттелген бағытталған қозғалысы;
- шалаөткізгіштердің жапсарлас қабаттарының өздігінен зарядталуы;
- шалаөткізгіштердің іргелес өңірлерінде диффузия құбылысына кері әсер ететін потенциалық тосқауылдың пайда болуы;
- зарядталған қос қабат өңірінде электрондардың энергия деңгейлерінің өздігінен өзгеруі;
- *p* шалаөткізгіштің Ферми энергия деңгейі көтеріледі, ал *n* шалаөткізгіштің Ферми энергия деңгейі төмендеп, олар өзара теңескенде шалаөткізгіштердің арасында биіктігі Ферми энергия деңгейлерінің айырымына тең $q\varphi_k = E = E_{Fn} - E_{Fp}$ потенциалық тосқауыл пайда болады.

Қосалқы заряд тасушылардың инжекциясы және экстракциясы: P-n ауысуға тура бағытта түсірілген кернеудің әсерінен электрондар мен кемтіктердің диффузия құбылысын тежейтін потенциалық тосқауылдың биіктігі өз бетімен төмендеп шалаөткізгіштердің ауысумен іргелес өңірлерінде қосалқы заряд тасушылардың шоғырлану дәрежелері *өз бетімен артады*, бұл құбылысты *инжекция-бүрку* дейді.

Репозиторий КарГУ



Сурет 1. *n* – шалаөткізгіштің электрбейтараптығын қалыпқа келтіруді сипаттайтын сұлба

N –өңірге инжекциялаған кемтіктердің оң зарядтарының электр өрісі электрондарды тартады. Электрондардың оң зарядтармен тартылуы нәтижесінде олардың босатқан өңірлерінде теріс зарядтардың жетіспеуі пайда болады. Шалаөткізгіштің электрбейтараптығын қалпына келтіру үшін сыртқы тізбектен *өздігінен* қосымша электрондар келеді, яғни электрондар *өздігінен жүретін үдерістерге қатысады*. Келген қосымша электрондардың саны *өздігінен инжекциялаған кемтіктердің санына тең* болады.

Әдебиеттер:

1 Ермағанбетов Қ.Т., Чиркова Л.В. Физикалық электроникаға кіріспе: Оқу құралы. –Қарағанды: «Print Shop» баспасы, 2017. – 196 б.

2 Викулин И. М., Стафеев В. И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Сов. радио, 1980. – 296 с.

3 Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. ─ 8-е издание, исправленное. − М.: Лань, 2006. − 480 с.

4 Ермағанбетов Қ.Т., Электртехника және электроника негіздері (электроника): Оқулық. 2-бөлім/Қ.Ермағанбетов, Л.Чиркова.-Нұр-Сұлтан:Фолиант, 2019.-328б.

5 Чиркова Л.В., Ермаганбетов К.Т. Основы физической электроники: Учеб. пособие. – Караганда: Изд-во КарГУ, 2016.-106 с.

6 Ермағанбетов Қ.Т. Цифрлық электроника: Оқу құралы. – Қарағанды: ҚарМУ баспасы, 2001. – 175 б.

7 Ақылбаев Ж.С., Ермағанбетов Қ.Т. Электр және магнетизм: Оқулық. 1-б. – Қарағанды: ҚарМУ баспасы, 2003. – 480 б.

8 Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, - 1980.

9 Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985.

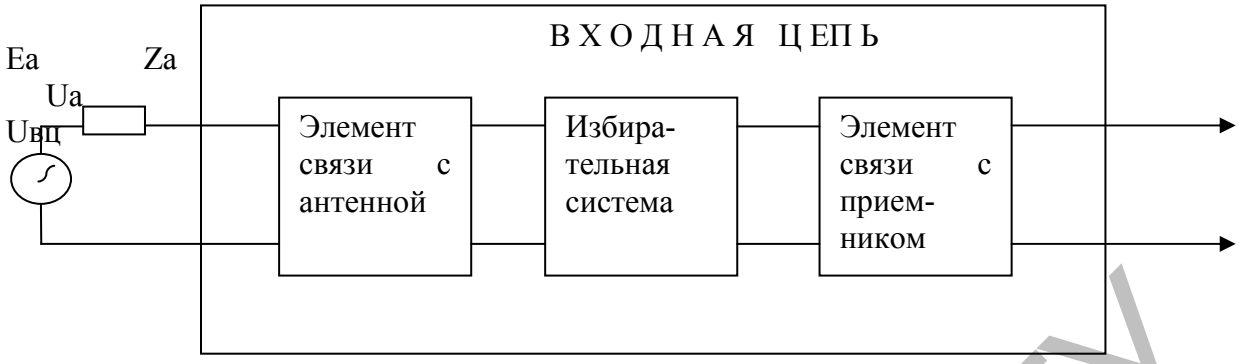
10 Усыченко В. Г. Самоорганизация электронов в электронных приборах в свете принципов механики и термодинамики//ЖТФ. 2006. Т.76. Вып.4. С.

Байдельдинов У.С., Атеев К.Б., Абиева М.С.
Каз Ну им.Аль-Фараби, г.Алматы-Казахстан, Baideldinov57@mail.ru

Перспективы совершенствования входных целей радиоприемного устройства

Выбор оптимального радиоприемного устройства стояла и будет стоять во все времена, так как диалектика развития радиотехнических систем и человечества не стоит на месте. Мы рассмотрим возможности совершенствование элементов входных цепей радиоприемного устройства исходя из основных параметров по чувствительности и избирательности. Естественно, как и любой школяр, мы проведем анализ имеющихся достижении в этой области мирового практикума, одним словом представим простую картинку и задумаемся.

Репозиторий КарГУ



Как видите перед нами полемика о трех перспективных пассивных элементах которые должны быть такими идеальными, чтобы достичь нашу цель. Так давайте разберемся, в чем важность каждого из элементов входной цепи.

Начнем с элемента связи антенны с избирательной системой, в чем его функция и из чего он состоит и как его можно оптимизировать? Принцип действия входного устройства: воспринятая антенной энергия электромагнитной волны, несущей сигнал, должна быть подведена к первому каскаду приемника. Для того чтобы на вход каскада поступил максимум принятой антенной энергии сигнала, необходимо согласовать сопротивление антенны и входное сопротивление каскада. Входная цепь и служит согласующим высокочастотным трансформатором сопротивления. Поскольку в антенне наводятся ЭДС не только сигнала принимаемой радиостанции, но и сигналы от всех других радиостанций, представляющие помеху, трансформатор должен выделить и предать на вход первого каскада преимущественно мощность или напряжение полезного сигнала. Для этого высокочастотный трансформатор настраивается на частоту принимаемого сигнала и поэтому представляет собой цепь, содержащую один или несколько колебательных контуров. Как мы знаем входная связь с антенной может быть только трех видов индуктивная (трансформаторная), емкостная и автотрансформаторная. Влияние антенны и входного сопротивления каскада на избирательные свойства входной цепи ослабляются специальными элементами связи. При выборе оптимального элемента связи с антенной мы должны учесть основные электрические характеристики входных цепей и элемента связи с антенной:

1.Коэффициент передачи напряжения, которой определяется отношением напряжения сигнала на входе первого АЭ приемника (Uвх) к ЭДС в антенне ЕА , а в случае магнитной (ферритовой) антенны – к напряженности поля сигнала.

2.Полоса пропускания – ширина области частот с допустимой неравномерностью коэффициента передачи.

3.Избирательность, характеризующая уменьшение коэффициента передачи напряжения при заданной расстройке модуля коэффициента усиления К(f) по сравнению с резонансным значением Ко и определяемая формулой односигнальной избирательности Se = Ko/ K(f)

4.Перекрытия заданного диапазона частот. Диапазон рабочих частот характеризуется коэффициентом перекрытия диапазона Кд = fo max / fo min.

5.Постоянство параметров ВЦ при изменении параметров антенны и АЭ. Это важно при ненастроенных антеннах, которые вносят в ВЦ, активное и реактивное сопротивления [1]

Как видим исходя из простой диалектики совершенствования всего материального для достижения нашей поставленной цели необходимы такие материалы по элементной базе которые не только не отвечали требованию электрических характеристик входной цепи но и превышали наши ожидания. При поиске таких элементов мы рассмотрим кварцевый резонатор который бы заменил основные элементы входной цепи. Кварцевые резонаторы на различные частоты необходимы в качестве надежных и стабильных источников гармонических колебаний. Таким образом, кварцевый резонатор — это надежная замена

Репозиторий КарГУ

колебательному LC-контуру. Если рассмотреть простой колебательный контур, состоящий из конденсатора и катушки индуктивности, то быстро выяснится, что добротность такого контура в схеме не превысит 300, к тому же емкость конденсатора будет плавать в зависимости от температуры окружающей среды, то же самое произойдет и с индуктивностью.

Не даром есть у конденсаторов и катушек такие параметры как ТКЕ — температурный коэффициент емкости и ТКИ — температурный коэффициент индуктивности, показывающие, насколько изменяются главные параметры этих компонентов с изменением их температуры.

В отличие от колебательных контуров, резонаторы на базе кварца обладают недостижимой для колебательных контуров добротностью, которая измеряется значениями от 10000 до 10000000, причем о температурной стабильности кварцевых резонаторов речи не идет, ведь частота остается постоянной при любом значении температуры, как правило из диапазона от -40°C до +70°C.

Так, благодаря высоким показателям температурной стабильности и добротности, кварцевые резонаторы применяются всюду в радиотехнике и цифровой электронике.

Да весь этот сыр бор мы подняли при рассмотрении функции колебательного контура, как для радиоприемного устройства так и для радиопередающего устройства исходя из вопросов чувствительности и избирательности. Мы знаем , что в радиопередающем устройстве, в колебательном контуре именно конденсатор изменяет первоначальную частоту переменного тока. По реальности у нас напряжение 220 вольт частота 50 Гц и какая длина волны у нас получается:

$$\lambda=\frac{c}{f}=\frac{3\cdot10^{8}}{50}=6000000\ метров$$ или 6 км

Вот такую длинную волну мы имеем и именно конденсатор увеличивает частоту и уменьшает длину волны для дальнейшего усиления и преобразования радиосигнала.

Таким образом, с одним из элементов пассивного элемента мы разобрались. Теперь не маловажный элемент, который играет не меньшую роль в приеме и передачи информации или электрического тока, это катушка индуктивности. Совершенно очевидно, что чем большее количество витков у катушки, тем сильнее ее магнитное поле. Также магнитное поле зависит и от тока через катушку. Поэтому вполне правомерно оценивать способность катушки создавать магнитное поле просто умножив ток через катушку (A) на количество витков (W). Такая величина так и называется ампер – витки.

Магнитное поле, создаваемое катушкой, можно значительно увеличить, если внутрь катушки ввести сердечник из ферромагнитного материала. Например, трансформаторная сталь позволит сделать магнитное поле примерно в 7..7,5 тысяч раз сильней, чем при отсутствии сердечника. Другими словами, внутри сердечника магнитное поле будет вращать магнитную стрелку в 7000 раз сильнее (такое можно только представить мысленно). Напряженность поля говорит лишь о теоретической способности магнитного поля. Реальную же способность к действию отражает другая величина магнитная индукция (B). Именно она показывает реальную силу, с которой магнитное поле действует на проводник с током в 1А.

$$[B]=\frac{Н\cdot м}{А\cdot м^{2}}=Тл$$

Если в проводнике длиной 1м протекает ток 1А, и он выталкивается (притягивается) с силой 1Н (102Г), то говорят, что величина магнитной индукции в данной точке ровно 1 тесла.

Репозиторий КарГУ

Магнитная индукция величина векторная, кроме численного значения она имеет еще и направление, которое всегда совпадает с направлением пробной магнитной стрелки в исследуемом магнитном поле. Строго говоря, любой элемент в электрической цепи имеет индуктивность, даже обычный кусок провода. Но дело в том, что величина такой индуктивности является очень незначительной, в отличие от индуктивности катушек. Собственно, для того, чтобы охарактеризовать эту величину используется единица измерения Генри (Гн). 1 Генри – это на самом деле очень большая величина, поэтому чаще всего используются мкГн (микрогенри) и мГн (милигенри). Величину индуктивности катушки можно рассчитать по следующей формуле:

$$L=\frac{\mu\mu_0 SN^2}{L}$$

Давайте разберемся, что за величину входят в это выражение:

– μ_0– магнитная проницаемость вакуума. Это табличная величина (константа) и равна она следующему значению:

– μ – магнитная проницаемость магнитного материала сердечника. А что это за сердечник и для чего он нужен? Сейчас выясним. Дело все в том, что если катушку намотать не просто на каркас (внутри которого воздух), а на магнитный сердечник, то индуктивность возрастет многократно. Посудите сами – магнитная проницаемость воздуха равна 1, а для никеля она может достигать величины 1100. Вот мы и получаем увеличение индуктивности более чем в 1000 раз.

– S– площадь поперечного сечения катушки
– N– количество витков
– L– длина катушки

Из формулы следует, что при увеличении числа витков или, к примеру, диаметра (а соответственно и площади поперечного сечения) катушки, индуктивность будет увеличиваться. А при увеличении длины – уменьшаться. Таким образом, витки на катушке стоит располагать как можно ближе друг к другу, поскольку это приведет к уменьшению длины катушки.

В заключении вывод, что колебательный контур нужно заменить кварцевым резонатором, после активного элемента использовать рекурсивный фильтр Калмана, активный элемент изготавливать по нано технологии и конечно роль трансформатора не умолим, и не заменим.

Литературы:

1. Н.Н. Фомин – Радиоприемные устройства. М – 2016.

А.И. Комаров[1], В.Г. Гудков[2], Д.В. Орда[1], Ю.С. Карамышева[2], Д.О. Искандарова[1]
[1]Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси", Минск, Беларусь, al_kom@tut.by
[2]Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр эпидемиологии и микробиологии», Минск, Беларусь

Влияние структуры и морфологии микроплазменных алюмооксидных покрытий на сорбцию патогенных биологических агентов

Введение. Лабораторная диагностика ряда паразитарных заболеваний нередко базируется на выявлении и идентификации их возбудителей. Аналогичный подход используется при лабораторном

Репозиторий КарГУ

контроле за контаминацией этими патогенными биологическими агентами (ПБА) эпидемиологически значимых объектов внешней среды, таких как вода, почва, продукты питания, предметы обихода в детских организованных коллективах и др.

Идентификация ПБА осуществляется различными методами, однако чаще всего яйца гельминтов и цисты простейших выявляются путем микроскопии этих объектов. Одним из наиболее распространенных методов пробоподготовки исследуемого материала является сорбционный метод, при котором используются различные сорбирующие материалы. Пожалуй, Al_2O_3 (оксид алюминия) является одним из наиболее известных и часто используемых с этой целью в лабораторной практике сорбентов [1, 2]. Существует также зарегистрированный и широко применяющийся набор для обнаружения яиц гельминтов и цист простейших производства РНПЦ эпидемиологии и микробиологии (Республика Беларусь), в составе которого в качестве сорбента содержится оксид алюминия [3].

Следует отметить, что, несмотря на одинаковую химическую формулу оксида алюминия (Al_2O_3), этот сорбент имеет различные физические формы и кристаллическую структуру, что, вероятно, может сказаться на выраженности его сорбирующих свойств в отношении ПБА. Следует учесть, что использование сорбента в виде порошков или гранул, помещаемых в пакет из водопроницаемого материала, как это делается при изготовлении указанных выше наборов, сопряжено с рядом недостатков. Так, материал пакета затрудняет проникновение достаточно крупных ПБА, а через крупные поры порошок и даже мелкие гранулы высыпаются. Несмотря на относительно большие размеры пакетика (5х5см), реальная площадь контакта сорбента с жидкой средой ограничивается весьма небольшой поверхностью образовавшегося комка сорбента. Немаловажно, что остатки мелкой взвеси даже гранулированного оксида алюминия затрудняют идентификацию искомых агентов при микроскопии этих препаратов. В качестве более удобной альтернативы существующим сыпучим сорбентам могут быть рассмотрены компактные оксидные материалы с высокой удельной поверхностью. Такими свойствами обладают алюмооксидные покрытия, получаемые на алюминиевых сплавах методом микродугового оксидирования (МДО) [4]. Этот метод позволяет формировать покрытия толщиной до 300 микрон и более, при этом варьирование технологическими параметрами процесса позволяет в широких пределах управлять структурой и пористостью покрытий.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния морфологии поверхности и структуры МДО-покрытий на сорбционную способность в отношении патогенных биологических агентов и оценка их эффективности в сравнении с используемыми сыпучими алюмооксидными сорбентами.

Материалы и методы: Оксидное покрытие формировалось на образцах из сплава АМг6 в виде дисков диаметром 24 мм высотой 6 мм, а также на образце фольги из сплава АД1 размером 30х30 мм толщиной 0,2 мм (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики образцов сорбента, подвергнутых МДО, и контрольного образца

Образец №	Форма и размер	Способ обработки поверхности
1	Диск d=20 мм, h=6 мм	Шлифование (Ra 2,5)
2	Диск d=20 мм, h=6 мм	Шлифование (Ra 2,5)
3	Диск d=20 мм, h=6 мм	Шлифование (Ra 2,5)
4	Диск d=20 мм, h=6 мм	Шлифование (Ra 2,5) + Лунки (d=50-60 мкм, h=30-40 мкм, шаг ~1 мм)
5	Фольга 25*25 мм, h=0,3 мм	Шлифование (Ra 2,5) + Отверстия (d=50-250 мкм)
6	Диск d=20 мм, h=6 мм	Шлифование (Ra 2,5) + Царапины (в двух направлениях, h= 80-100 мкм, шаг ~1 мм)
7	Диск d=20 мм, h=6 мм	Шлифование (Ra 2,5) + Царапины (в трех направлениях, h= 80-100 мкм, шаг ~1 мм)
КО	Гранулы, шарик d=0,4-1,2	Удельная поверхность $м^2/г$=358, масса – 1,0 г., общий объем $см^3/г$=0,6

Репозиторий КарГУ

Микродуговое оксидирование выполнялось на установке с тиристорным регулированием в анодно-катодном режиме с частотой 50 Гц при напряжении 260–300 В и плотности тока 55 А/дм^2. Продолжительность процесса МДО для всех образцов составляла 90 мин. В качестве электролита для образцов с моделированной поверхностной структурой использовался водный раствор гидроксида калия (КОН) и жидкого натриевого стекла (Na_2SiO_3) с концентрацией компонентов 2 и 5 г/л соответственно (базовый электролит). Температура электролита в процессе МДО поддерживалась в диапазоне 25-35ºС. С целью формирования керамического покрытия с повышенной пористостью оксидирование образцов 2 и 3 проводилось в электролитах с добавками углеродных наночастиц и повышенным содержанием Na_2SiO_3, концентрация которого составляла 8 и 10 г/л соответственно, по технологическим режимам согласно патенту [5]. Введение углерода в структуру покрытия осуществлялось для повышения его сорбционных свойств.

Для повышения удельной поверхности покрытия на образцах 4-7 перед оксидированием формировался рельеф в виде лунок путем вдавливания формующей стальной матрицы при различных нагрузках (образцы 4 и 5), а также бороздчатый рельеф и сетка царапин, нанесенная индентером из быстрорежущей стали с углом при вершине 60º при нагрузке 30Н (образцы 6 и 7).

Структурно-фазовое состояние поверхностного слоя покрытий исследовалось методами рентгеноструктурного и металлографического анализов. Рентгеноструктурные исследования образцов покрытий проводились на автоматизированном комплексе на базе дифрактометра ДРОН-3М в CuKα-излучении с применением вторичной монохроматизации рентгеновского пучка, металлографические – с использованием микроскопов XJM300 и МИМ-8. Исследования СЭМ проводили на микроскопе “Mira” (фирмы «Tescan», Чехия) с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром “Inca 350” фирмы “Oxford Instruments” (Великобритания).

Паразитологические исследования. Паразитологические исследования проводились с использованием двух тест-объектов ПБА: цист Giardia lamblia (возбудителя лямблиоза) и яийц Ascaris lumbricoides (возбудителя аскаридоза) из рабочей коллекции РНПЦ эпидемиологии и микробиологии. Десорбентом служил 0,08%-ный раствор соляной кислоты, аналогичный десорбент используется в коммерческом наборе [4]. При проведении исследований использовалось рутинное лабораторное оборудование и инструментарий, условия выполнения работ соответствовали требованиям ТНПА.

Дизайн исследования принципиально соответствовал методике, изложенной в инструкции по применению указанного выше набора и включал 2 основные стадии: по одному циклу сорбции обоих ПБА с помощью каждого из исследуемых сорбентов и десорбции патогенов с помощью единого десорбента. С целью идентификации ПБА подготовленные препараты просматривались под микроскопом при 100 – 600-кратном увеличении. Концентрация яиц аскариды и цист лямблии определялась в камере Горяева согласно инструкции по ее применению.

Эффективность испытанных сорбирующих материалов для обнаружения возбудителей кишечных паразитарных болезней рассчитывалась по формуле:

$$C = \frac{C_1}{n} \text{x} 100\%,$$

где:

C – эффективность сорбции;

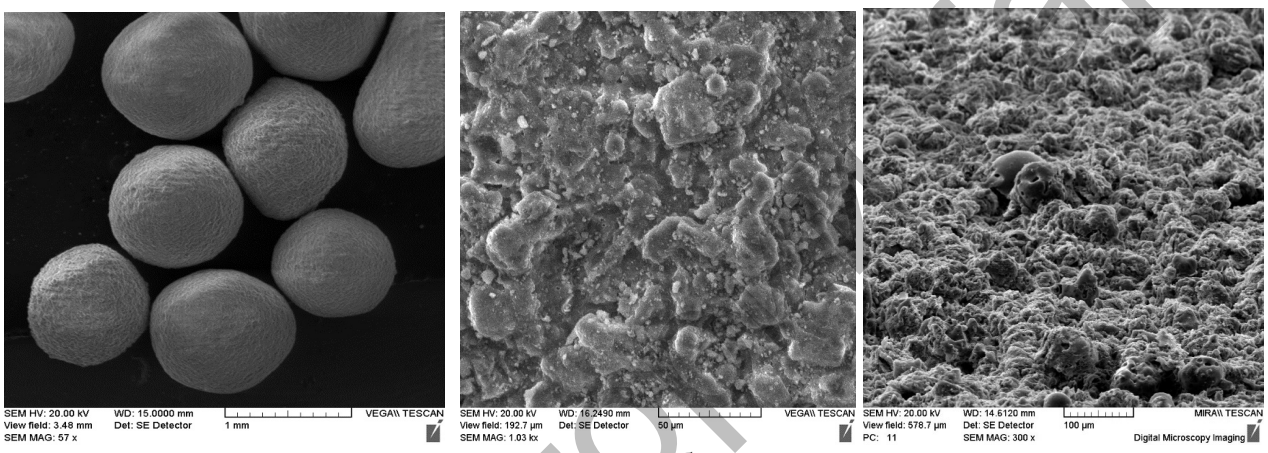
C_1 – количество возбудителей, обнаруженных после взаимодействия с сорбирующим материалом, определяемое как произведение концентрации ПБА в 1 мл на объем гомогенизированного осадка;

n – количество возбудителей в рабочей взвеси тест-объекта ПБА, использованных для взаимодействия с сорбирующим материалом .

Репозиторий КарГУ

Статистическая обработка проводилась общепринятыми методами вариационной статистики.

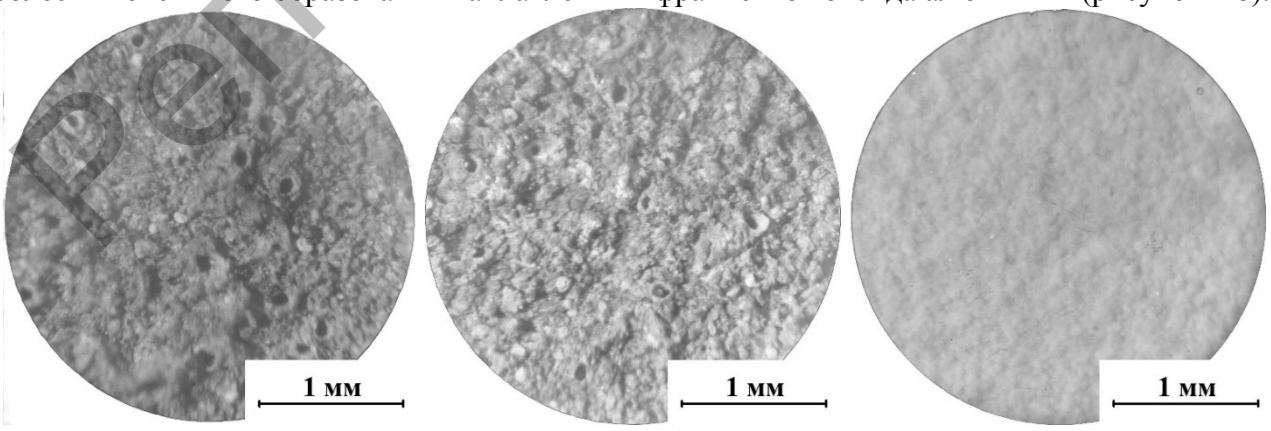
Результаты и обсуждение. Анализ морфологии используемых сорбционных материалов показал, что гранулированная разновидность сорбционного материала состоит из округлых, близких к сферической форме гранул размером около 1 мм (рисунок 1 а). Поверхность гранул имеет сложный рельеф, образованный спеченными частицами чешуйчатой формы (рисунок 1 б). Такой характер рельефа формирует развитую поверхность гранул, повышающую их сорбционную способность. Материал имеет низкую пористость, что свидетельствует о плотном компактировании порошка в процессе спекания. Выполненный рентгеноструктурный анализ показал, что гранулы представляют собой разупорядоченные аморфизированные формы оксида алюминия. Покрытие, полученное на образцах из сплава АМг6, имеет шероховатую развитую поверхность, образованную выступающими оплавленными фрагментами и порами, возникшими в результате выхода газов в процессе формирования покрытия (рисунок 1 в). Такая морфология поверхности является благоприятным фактором для использования МДО-покрытия в качестве сорбента. Кроме того, как следует из данных рентгенофазового анализа, покрытие полностью состоит из оксида алюминия и представлено модификациями γ-Al_2O_3 и α-Al_2O_3.



а б в

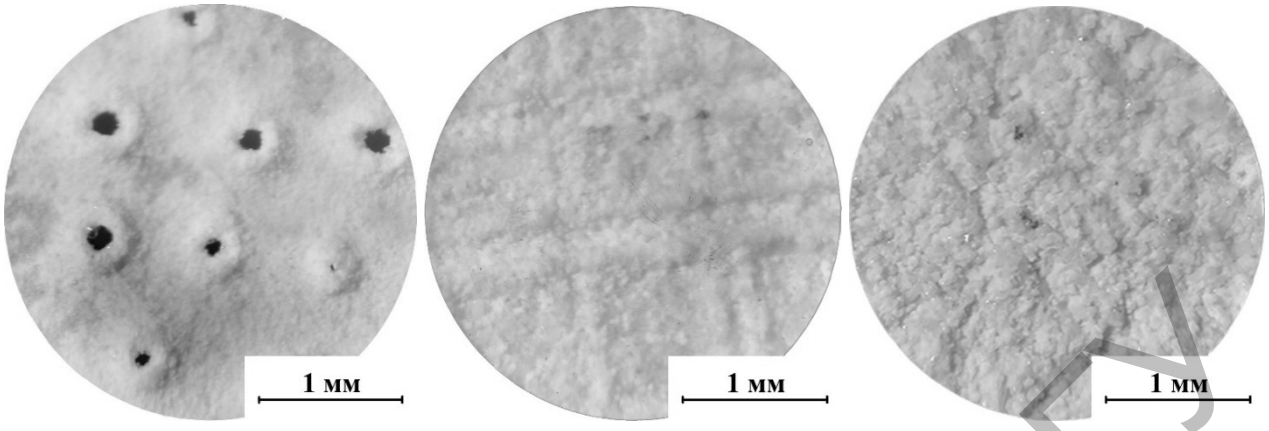
Рисунок 1 – Структура гранулированной формы сорбента (а, б) и МДО-покрытия (в)

Изменение технологических режимов одновременно с увеличением концентрации Na_2SiO_3 в электролите до 8 г/л и введением в него углерода, приводит к формированию покрытия с более шероховатой и развитой поверхностью, а также появлением округлых пор размером 50-60 мкм (рисунок 2 а). Дальнейшее увеличение доли Na_2SiO_3 в электролите до 10 г/л (образец 3. таблица 1) приводит к повышению удельной поверхности покрытия за счет более интенсивного образования наплавленных фрагментов оксида алюминия (рисунок 2 б).



а б в

Репозиторий КарГУ



г д е

Рисунок 2 – Структура поверхности керамического покрытия на образцах №2 (а), №3 (б) и на образцах с моделированной поверхностью (в, г, д, е – образцы №4, 5, 6, 7 соответственно)

Нанесение перед микродуговым оксидированием на поверхности образца лунок диаметром 50-60 мкм не приводит к заметному изменению морфологии поверхности покрытия, поскольку происходит «залечивание» лунок с некоторым выравниванием рельефа в ходе процесса микродугового оксидирования (рисунок 2 в). Формирование покрытия на образце с отверстиями начальным диаметром 50–250 мкм привело к уменьшению их размера до 10–175 мкм (рисунок 2 г, образец № 5, таблица 1). В этом случае, помимо увеличения площади поверхности образца, были созданы каналы фильтрации, имеющие, однако довольно большой разброс по размеру. Моделирование текстуры путем нанесения царапин глубиной 80-100 мкм в двух направлениях (перпендикулярно друг другу, образец № 6, таблица 1) приводит к формированию в процессе микродугового оксидирования комбинированной поверхностной структуры с макроячейками размером ~1 мм^2, в которых образуются кратеры и выступающие фрагменты оплавленного покрытия размером до 40 мкм (рисунок 2 д). При нанесении царапин в трех направлениях (с углом пересечения 60º, образец №7, таблица 1) процесс формирования керамического покрытия сопровождается некоторым выравниванием рельефа, однако сохраняются выступающие островки площадью 0,2-0,3 мм^2 (рисунок 2 е).

Результаты паразитологических исследований. Результаты исследования представлены в таблице 2. Приведенные в таблице 2 данные показывают, что все формы сорбента на основе оксида алюминия обладали сорбирующими свойствами по отношению к тест-объектам ПБА, однако эффективность сорбентов оказалась неодинаковой. Наиболее эффективным по результатам выделения обоих ПБА из водной суспензии оказался образец № 3.

Таблица 2. Сравнительная эффективность сорбирующих материалов

Образец сорбента по табл. 1 №	Тест-объекты ПБА					
	Яйца аскариды в 1л рабочей взвеси (24 161±674 ед.)			Цисты лямблий в 1л рабочей взвеси (61 194±879 ед.)		
	Кол-во яиц в 1 мл осадка	Объем осадка (мл)	Выделенные ПБА (%)	Кол-во цист в 1 мл осадка	Объем осадка (мл)	Выделенные ПБА (%)
1	2 825±266	1,0	11,6	232±5	1,0	<1,0%
2	5 417±166	1,0	22,4	442±11	1,0	<1,0%
3	7 733±116	1,0	32,0	538±10	1,0	<1,0%
4	6 742±97	1,0	27,9	498±4	1,0	<1,0%
5	247±7	1,0	1,0	74±2	1,0	<1,0%
6	17 325±164	1,0	71,7	26 570±465	1,0	43,4

Репозиторий КарГУ

7	20 858±285	1,0	86,3	33 767±735	1,0	55,1
КО	9 482±99	1,0	38,9	30 597±521	1,0	50,0

Доля выделенных с помощью образца № 3 яиц аскариды составила 86,3% что существенно (P < 0,05) больше аналогичного показателя для этого ПБА, выделенного с помощью всех других образцов, включая контрольный. Наиболее близким показатель выделения этого патогена был у образца № 2. Образец № 3 превосходил все другие и по эффективности выделения цист лямблий (55,1%). Наиболее близким (50,0%) этот показатель был у контрольного образца (P = 0,05), существенно ниже (P < 0,05) был процент выделения цист лямблий с помощью образца № 2.

Заключение. Разработана технология и изготовлены экспериментальные образцы новых форм сорбирующих материалов на основе оксида алюминия в виде МДО-покрытий на алюминиевом сплаве АМг6. Формирование комбинированной поверхности образца № 3, включающей оплавленные фрагменты различного размера, углубления и поры, обеспечивает наиболее эффективное улавливание микрочастиц. Кроме того, присутствие углерода в покрытии повышает его эффективность при использовании в качестве сорбента.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективе дальнейшей разработки и практического использования МДО-покрытия в качестве сорбентов ПБА.

Литературы:

1. Сорбент на основе оксида алюминия и способ его получения [Электронный ресурс]: пат. RU 2087186 / М.С. Зибарт, Ж.В. Виккман, М.Д. Хэйгер, С. Плеча. – Режим доступа: https://findpatent.ru/patent/208/2087186.html. – Дата доступа: 09.10.2019.

2. Материалы на основе оксида алюминия в качестве сорбентов кишечных вирусов и носителей культур клеток / В.Г. Гудков [и др.] // Принципы и перспективы диагностики новых и вновь появляющихся инфекционных заболеваний: ст. и тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Смолевичи, 27-28 февр. 1997 г. – Минск, 1997. – С. 78-79.

3. Набор для обнаружения возбудителей кишечных паразитарных болезней. ТУ BY 100558032.189-2010.

4. Витязь, П.А. Интенсифицирующее воздействие углеродных наночастиц на формирование микродуговых покрытий на сплавах алюминия / П.А. Витязь, А.И. Комаров, В.И. Комарова // Коррозия: материалы, защита. – 2011 – № 5. – С. 42-46.

5. Электролит для микродугового оксидирования алюминия и его сплавов: пат. BY 19595 / А.И. Комаров, П.А. Витязь, В.И. Комарова. – Опубл. 30.10.2015.

А.Ж. Сериков, М.Е Куанышбеков
Институт молекулярной нанофотоники, Е.А. Букетова, г. Караганда, Республика Казахстан, E-mail:abai_19_96@mail.ru

Лабораторный макет для изучения характеристик вынужденного излучения активного элемента на основе пленок нанопористого оксида алюминия, допированного молекулами красителя

В настоящее время проводятся исследования новых наноматериалов для использования в качестве активных элементов лазера. Они обладают свойствами отсутствующими у активных элементов лазера на основе однородных сред. Одно из актуальных направлений в современной лазерной технике –разработка малогабаритных и компактных активных сред для лазера на основе пористой оксида алюминия. В ряде работ наблюдалось вынужденного излучение в пленках пористого оксида алюминия (ПОА), допированного молекулами красителей [1, 2]. Физико-химические и оптические свойства пористого оксида алюминия могут изменяться и контролироваться в процессе его изготовления. Если поры

Репозиторий КарГУ

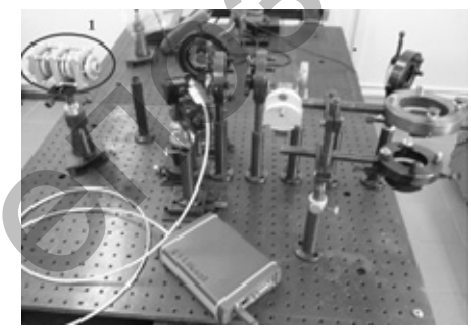
анодированного оксида алюминия заполнены молекулами органического красителя, обладающего высоким квантовым выходом флуоресценция, то такая система может быть использована в качестве активной среды для перестраиваемого лазера.

Для определения генерационных характеристик пленок на основе ПОА удобно использовать лабораторный макет. Удобство использования лабораторного макета связано с возможностью быстрого изменения его геометрических характеристик, таких как, расположение фокусирующей и собирающей линз, а так же самого активного элемента. Так же положительной стороной макета является его компактность по сравнению с экспериментальными измерительными установками. Поэтому, была проведена работа по разработке и изготовлению лабораторного макета лазера на основе пленки ПОА, допированных красителем родамин 6Ж. Разработана конструкция макета с возможностью проведения юстировочных работ. Проведены измерения свойств вынужденного излучения изготовленного макета.

Схема работы лабораторного образца активной среды приведена на рисунке 1. Для возбуждения лазерного излучения в активном элементе на основе пленок пористого оксида алюминия (ПОА), допированного молекулами красителя (2) используется фокусирующая линза 1. Для регистрации вынужденного излучения используется вторая собирающая линза (3), оптические фильтры, отсекающие лазерное излучение и пропускающие вынужденное излучение (4) и порт ввода света в оптоволокно (5) для спектрометра AvaSpec-2048.

Основа макета состоит из 3 кронштейнов, которые соединены между собой 4 шпильками размером М6 (рисунок 2, а). К кронштейнам при помощи 3-х юстировочных винтов прикреплены юстировочные головки. Юстировочные головки для линзы были изготовлены из дюралюминиевого сплава. Вид головки приведен на рисунке 2, б, в. Внешний диаметр головки составляет 48 мм, диаметр внутреннего отверстия для установки линзы составляет 22,5 мм. Линза в отверстии фиксируется при помощи крепежного элемента с внешней резьбой и внутренним отверстием 15 мм. Юстировочные головки для активного элемента и для порта ввода света в спектрофотометр были изготовлены из орг. стекла толщиной 2,5 мм, диаметр 48 мм. Детали были изготовлены на лазерном скрабере BODOR (BCL050EMU).. Для фиксирования элемента ПОА используется два элемента юстировочной головки .

а) б)



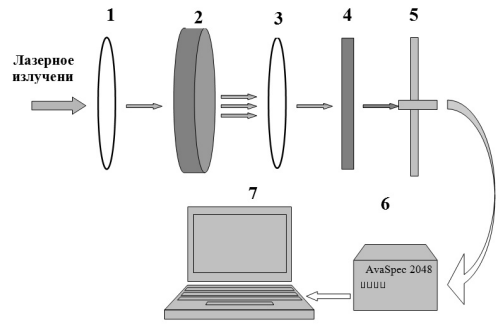


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования генерационных характеристик и лабораторный макет (1) активной среды (а), схема работы лабораторного макета активной среды (б): 1 – фокусирующая линза; 2 – активный элемент на основе ПОА, допированного молекулами красителя; 3 – оптические светофильтры; 4 - цилиндрические линзы; 5 – порт ввода оптоволокна; 6 - спектрометр AvaSpec-2048; 7 – компьютер.

Репозиторий КарГУ

Для проверки работы макета активной среды были использованы пленки ПОА, допированные молекулами красителя родамин 6Ж. Методика синтеза пленок подробно описана в работах [1, 2].

Структура анодных пленок оксида алюминия представляет собой систему упорядоченных пор с плотной упаковкой. Поры расположены перпендикулярно поверхности пленки, и их диаметр и расстояние между ними могут варьироваться изменением в условиях анодирования [3]. Морфология верхней и нижней поверхностей образцов показаны на рисунке 3. На поверхности пленки наблюдаются поры одинакового диаметра ~74 нм и с расстоянием между порами около 35 нм (рисунок 2,а). Задняя поверхность пленки также содержит поры с открытыми каналами пор. Это говорит об эффективном удалении барьерного слоя с задней поверхности пленки ПОА. Сорбция молекул красителя Р6Ж

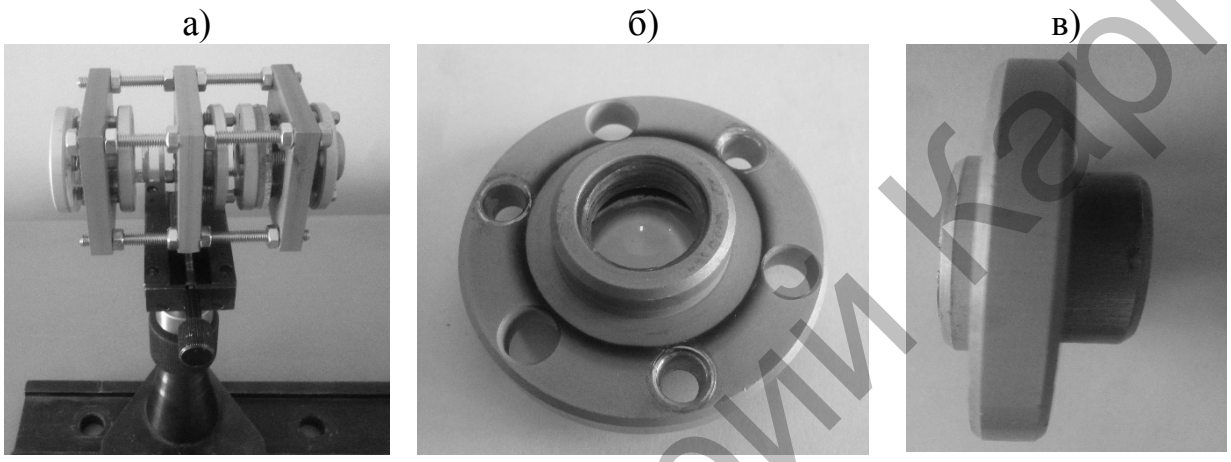


Рисунок 2 – Внешний вид лабораторного макета активной среды (а) и юстировочных головки для линзы: вид сверху (б) и вид сбоку (в).

В поры осуществлялась путем выдерживания пленок оксида алюминия в этанольном растворе люминофора с исходной концентрацией $C' = 10^{-2}$ моль/л в течение 12 часов при комнатной температуре с последующим высушиванием пленок в сушильном шкафу при температуре 100 °С в течение 1 часа.

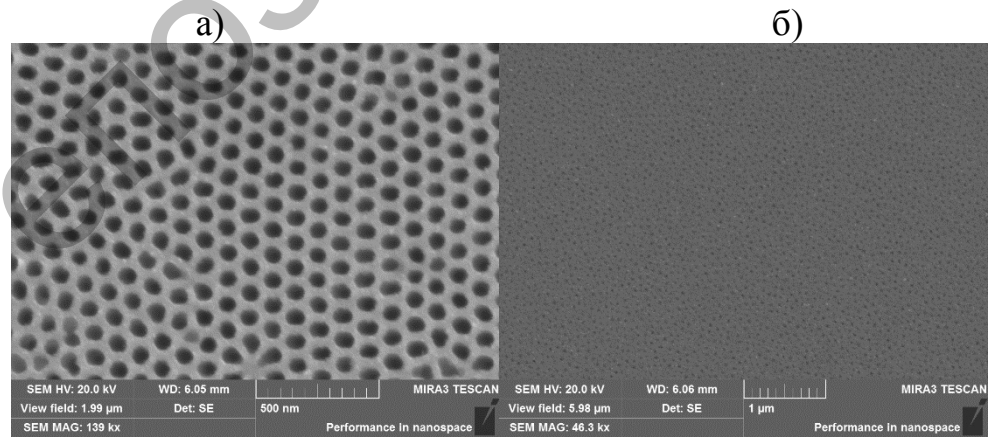


Рисунок 3 – СЭМ изображения пленки ПОА, а) верхняя сторона оксидной пленки, б) нижняя сторона пленки ПОА после удаления барьерного слоя

Репозиторий КарГУ

Внешний вид активного элемента и расположение пленки в юстировочной головке приведено на рисунке 4.

Генерация в макете была получена при использовании источника лазерного возбуждения LQ 215 (Solar). Схема получения вынужденного излучения образца ПОА, допированного красителем Р6Ж приведена на рисунке 1. Генерация наблюдалась при плотности мощности накачки 110 МВт/см^2. Спектр генерации приведен на рисунке 5.

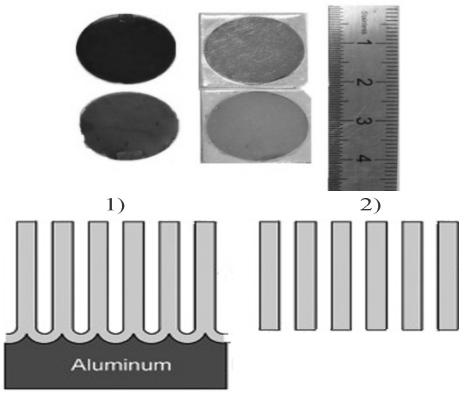


Рисунок 4 – внешний вид активной среды с алюминием и без . Схематичное представление пленки ПОА, с алюминием (1) и удаленным алюминиевым слоем (2)

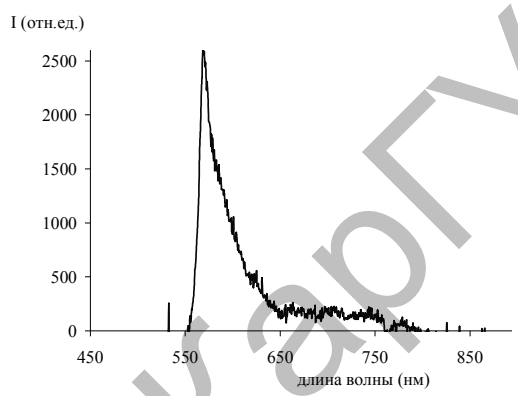


Рисунок 5 – Спектр генерации красителя Р6Ж в пленке ПОА

Выводы: Таким образом, был изготовлен лабораторный макет, позволяющий изучать спектрально-люминесцентные и генерационные характеристики вынужденного излучения активного элемента на основе пленок ПОА, допированного молекулами красителя. Удобство использования лабораторного макета связано с возможностью быстрого изменения его геометрических характеристик, таких как, расположение фокусирующей и собирающей линз, а так же самого активного элемента. Так же положительной стороной макета является его компактность по сравнению с экспериментальными измерительными установками.

Литературы:

1. Ibrayev N.Kh., Zeinidenov A.K. Plasmon–enhanced stimulated emission of Rhodamine 6G in nanoporous alumina. *Laser Physics Letters*. – 2014. – Vol. 11, № 11. – P. 115805–115811.

2. Aimukhanov A.K., Ibrayev N.Kh. Influence of gold nanoparticles on the properties of stimulated emission of 6-amino-1h-phenalen-1-one in the pores of anodized aluminum oxide // Journal of luminescence. – 2018. – Vol. 124. – P. 216-220.

3. Nielsch K., Choi J., Schwirn K., Wehrspohn RB., Gösele U. Self–ordering regimes of porous alumina: The 10% porosity rule // Nano Lett. – 2002. – Vol. 2. – P. 677–680.

Репозиторий КарГУ

Секция 4.2 *Педагогика және инновациялық білім беру саласында жаңа технологиялар.*
New technologies of the pedagogy and innovative education.
Новые технологии педагогики и инновационного образования.

Aubakirova G.T., Baigotanova A.E., Beketova A.
Karaganda Economic University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan
abai.kue@gmail.com

About application of neurolinguistic programming theory in english language teaching and information management

Over the years of independence, Kazakhstan has made significant progress along the path of integration into the world community, for instance, external economic relations have deepened and expanded, there is increasing inflow of foreign investments, the Republic joined the WTO in 2015, joint companies have been created, growing number of cooperation projects in education and other fields.Nowadays English has become the world's dominant language in politics, science, trade and cultural relations. In this regard, English has acquired the status of one of the most important areas of state policy in the field of education along with the development of Kazakh and Russian languagesin Kazakhstan.The first President of the Republic of Kazakhstan Mr.Nazarbayev in his Message to the people of Kazakhstan dated January 28, 2011 noted that “for a modern Kazakhstani, the knowledge of three languages is a prerequisite for their own well-being” and expressed the desire that by 2020 the proportion of the English speaking population, amounted to at least 20 percent [1]. Also, on April 27, 2012, at the XIX session of the Assembly of the People of Kazakhstan, the First President of the Republic of Kazakhstan identified the further development of the trinity of languages as an important aspect of economic and social modernization of the country, the meaning and role of the English language as "awindow to the world of innovation, technology and business" [2].

Currently, the fact that knowledge of the English language is an essential condition for the success and competitiveness of a modern specialist in the labor market, part of his intellectual capital is obvious. However, in practice, it can be stated that the level and quality of specialist training do not always meet market requirements. Therefore, when training non-linguistic specialists at a university, it is necessary to consider English language not as a secondary discipline, but as a necessary tool in training and in further professional activities, as knowledge of a foreign language gives students such opportunities as studying abroad through the academic mobility programs, internships, participation in international conferences and in joint international scientific research projects[3].

Practice shows that when learning a foreign (English) language, the same didactic methods and techniques can be effective in one situation and ineffective in another [4]. Here it is necessary to take into account psychological factors that can significantly affect the process of English language teaching. The most important psychological factors in learning English include motivation and interest in learning a language; ability to learn a language; the ratio of language and speech in the study; language barrier [3]. Motivation is a powerful and fundamental factor in learning a language, because if a person does not want to do something or does it through coercion, he will not achieve high results. For students studying English, an important motivating factor is their relevance in the future in the labor market. For specialists of a non-linguistic profile in the conditions of fierce competition in the labor market, knowledge of English gives not only an advantage, but gradually becomes a mandatory requirement.

Репозиторий КарГУ

Today, the psychotechnics of neuro-linguistic programming (hereinafter referred to as NLP), developed in the seventies of the last century by Richard Bandler and John Grinder is widely used in the practice of foreign language teaching.The concept of this technique is as follows: “neuro” means that a person perceives the world through five senses and his behavior comes from the results of neurological processes of seeing, listening, smelling, tasting, touching and feeling. Thus, neurology includes not only invisible thought processes, but also visible physiological reactions to events, since the human body and mind are united. “Lingvo” means that with the help of language a person realizes his thoughts, behavior and enters into communication with other people. “Programming” is the method used to obtain results in order to implement their ideas and actions.[5].

Currently, NLP is widely used in psychotherapy, training, management and administration, law, journalism, commerce, acting, and many other areas.Using the methods and techniques of NLP, many problems that a person has in life can be solved, for example, how to set a goal and find ways to achieve it, change one’s own behavior and predict someone’s behavior, simulate an upcoming situation, find contacts with other people and constructively solve conflicts and more.Using NLP opens up new prospects for managing the learning process for a teacher: the role of leadership in the implementation of the educational process.

With regard to the learning process, the following types of leadership can be distinguished: guardianship - leadership at the level of the environment (the teacher knows the “right path” leading to the goal, he directs students along it); coaching - leadership at the level of behavior (the development of specific behavioral skills in students and their consolidation to achieve the goal); training - leadership at the level of abilities (development of cognitive abilities, the formation of the necessary strategies for thinking and behavior); mentoring - leadership at the level of beliefs (the formation of the necessary beliefs conducive to successful learning); sponsorship - leadership at the level of identity (creating conditions for the development of the student’s internal potential and personality) [5].

According to practice, many indicators of achievement depend on the mental properties of the student’s personality, such as the speed of development of oral and written speech in English. Based on the ability to perceive information, students are divided into the main 3 types: visuals, when most of the information is perceived through vision; audiences, when there is a predominant perception of information by ear and kinesthetics, mainly receive information through tactile sensations and through movements [6].

In this regard, the teacher is faced with the task of identifying the student’s modality and correcting the educational process in accordance with its typology. There are many used NLP practices in learning foreign languages from short techniques to modeling strategies, since NLP is a powerful tool that allows to effectively develop the potential of thinking.

Accordingly, with the proper use of NLP techniques, the following progress is possible:

- Individual effective perception of new material with the possibility of converting it into a long-term automatic skill;
- Self-determination of more successful motivation for learning English.

It should be noted that when teaching students English the correct application of a complex of methods, the introduction of new teaching technologies based on the use of psychological aspects of language teaching affect the learning outcomes.

References:

1. Message of the President of the Republic of Kazakhstan N.A. Nazarbayev to the people of Kazakhstan dated January 28, 2011 // zakon.kz

2. Speech by the President of the Republic of Kazakhstan N.A. Nazarbayev at the XIX session of the Assembly of the People of Kazakhstan “Kazakhstan's Way: Stability, Unity. modernization "from 04/27/2012 g. // zakon.kz

Репозиторий КарГУ

3. Batunova I.V. The process of teaching a foreign (English) language in non-linguistic universities // Pedagogical Sciences: 2017, Issue No. 1 (55), S.25-27

4. Tenitilov S.V., Flerov O.V. Influence of modern pedagogical ideals on teaching foreign languages // Bulletin of the Russian New University. 2010. No. 1, S.95-99.

5. Shlyakhina A.S. Neuro-linguistic programming in teaching foreign languages // Young Scientist.- 2010., No. 6 - S.363-366.

6. Belyanin V.P. Neuro-linguistic programming and teaching foreign languages // electronic resource http://www.nlp.ru/center/e/fl.html date of the last change 09.04.2019

Kozhabekova E.K., Suiinzhanova U.P., Serikbaeva F.B., Medetbekova G.K
SKSPU, Shymkent, Kazakhstan email: elmira_199191@mail.ru

Pedagogical and psychological bases of teaching with students

Learning content of the educational content of students is carried out in different ways. The form of learning as a didactic category reflects the outward appearance of the learning process. It depends on the objectives, content, methods and equipment of the learning process, the material conditions, the participants' composition, and so on.

The form of education varies according to the number of students, the time and the place of study, the order of implementation. In modern school practice the following forms of education are developed: individual, group, full-class, collective, homogeneous, classroom and out-of-school classroom and extracurricular, school and out-of-school, of course, there is no scientific substantiation of such classification. However, from this point of view, the diversity of forms of education can be adjusted slightly. In a grouped form of education, pupils are trained and educated in groups of different interests. In the form of a full-fledged form of education, the teacher simultaneously identifies all students, homework, tasks, and conducts regular work on common activities for all class members.

Collective form of learning. This is a distinctive feature of the type of education that fosters in the classroom: the classroom is considered as a collective, united in the direction of common, homogeneous work with a common goal of preserving the peculiarities of interaction and interaction.

The main interrelationships in paired study are performed with the participation of two pupils. Classroom and out-of-class, out-of-school and out-of-school workshops are marked by their location. [1.26 p]

Form of training is a structure of a part of the educational process, a particular type of lecture (lectures, lectures, seminars, travel, optional lectures, examinations, examinations, etc.). Organizational learning forms can be considered differently.

- Introductory lesson for the purpose of priority in the learning process; knowledgeable in-depth lectures; practical lesson; Systematization and generalization of knowledge; knowledge, skills and skills control; combination lessons.
- Didactic purposes - theoretical, practical, labor,

forms of mixed lessons;

Individual lessons: tutorial, tutorship, mentorship, guitar, family study, self-study. Collective - group lessons include lectures, seminars, conferences, competitions, study tours and business games. Forms of learning appear, depend on the level of movement, society, production, and science, and they are interchanged. In the history of world educational experience, different educational systems have been created, each of which has been used in accordance with the appropriate learning forms.

Working with students is a pedagogical problem

Репозиторий КарГУ

The mental development of a hacker is an increase in his behavior in his behavior. It tells about the development of consciousness and human understanding of the world, its attitudes towards the natural, social environment. And consciousness is a high form of objective reality.

Consciousness appears in man's actions. As a result of labor and public relations, a person understands himself and his environment in the environment. His consciousness develops. As a result of the development, there are manifestations of man. They include self-control and self-esteem, self-esteem, self-esteem, and so on. belonging to the Such external manifestations of consciousness should be remembered and retained by the teacher in the teaching and education of psychology. After all, the development of consciousness and self-consciousness is one of the necessary conditions in the system of public relations (at home, children's upbringing and education institutions, industries, etc.) to bring up and develop a particular place in human beings. [2.285 p]

Thus, the development of a personal student is the development history of the functional capabilities, psychological processes, moral qualities, knowledge of the education, the development of material and spiritual wealth created by human beings and the future of the same wealth in the nervous system.

The role of the child's development is very important. It is the basis of development. Types of activity: play, study, social work, art, activity, sport etc. Depending on the age of the children, the areas of their activities, as well as their contents, organizational methods and approaches, and motives are changing. This can be seen from a variety of types of activities.

Working with students is a pedagogical problem

The mental development of a hacker is an increase in his behavior in his behavior. It tells about the development of consciousness and human understanding of the world, its attitudes towards the natural, social environment. And consciousness is a high form of objective reality.

Consciousness appears in man's actions. As a result of labor and public relations, a person understands himself and his environment in the environment. His consciousness develops. As a result of the development, there are manifestations of man. They include self-control and self-esteem, self-esteem, self-esteem, and so on. belonging to the Such external manifestations of consciousness should be remembered and retained by the teacher in the teaching and education of psychology. After all, the development of consciousness and self-consciousness is one of the necessary conditions in the system of public relations (at home, children's upbringing and education institutions, industries, etc.) to bring up and develop a particular place in human beings.

Thus, the development of a personal student is the development history of the functional capabilities, psychological processes, moral qualities, knowledge of the education, the development of material and spiritual wealth created by human beings and the future of the same wealth in the nervous system.

The role of the child's development is very important. It is the basis of development. Types of activity: play, study, social work, art, activity, sport etc. Depending on the age of the children, the areas of their activities, as well as their contents, organizational methods and approaches, and motives are changing. This can be seen from a variety of types of activities.

Psychological basics of work with students

The subject of social relations is characterized by the fact that each student is a person, as a holder of socially significant qualities.

In addition to the term "individual student", we use the term "human", "individual", "individuality" in our case. Each of these concepts is distinctive, but closely related. Among these, the most generalized, multi-dimensional combination - the concept of "man." Man - a manifestation of the highest level of life's development, as a fruit of the public labor movement and of the nature of creation, is not separated from the living world by its human nature.

Interdependence - the unique features and attributes of a particular natural and social individual.

Репозиторий КарГУ

Depending on the concept of "individual student," first of all, a person's public qualities are recognized. The social essence of a person is formed in his relationship with the society.

In terms of society, the quality and quality of the person are varied. Sociology of society defines the psychological type of society.

An individual has multi-stage structure. Hence, the highest level of psychological structure of individual students is the need-cause zone - the orientation of the individual, his or her community, other people, relationships, and social and job responsibilities. At the same time, the significance of the individual student is not only its direction, but also its ability to realize its capabilities. And this, in its turn, is linked to the human flexibility, ability, knowledge and dexterity, emotional, volunteer, and mental functions. [4-3]

A person does not come to life with the ability, his character, and his curiosity, all of which are formed on the basis of a certain naturally occurring human life. The basis of the human body, that is, its genotype determines its anatomical-physiological features, the movement of the nervous system. The owner of the biomedical structure is the person who is gaining an individual degree in the past, with the ability to experience accumulated experience in the form of knowledge, tradition, natural and spiritual culture.

The development of individual students is related to continuously expanding their capabilities and increasing their needs. This level of development is measured by a zone of relationships that are characteristic of a person. The rule of human development is insignificant and does not exceed everyday life. And the person with high level of development is distinguished by his spiritual status and social value values.

References:

1. Nemov R.S. Psychology Almaty 2003 (pages 198-201).
2. Content of the psychological service system at school. Taraz 2002
3. Shevardrin N. I. «Psycho diagnostics, correction and improvement of personality» M, 1998 г.
4. Zhumabayev A. Content of psychological service at school.// Taraz city. - 2002, 8 - 11 p.
5. Kerimov LK The tragic subdivision and its transformation.

M.R.Mamedova, A.S.Askarova, S.A.Bolegenova, S.A.Bolegenova, N.R.Mazhrenova, Zh.K.Shortanbayeva
Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)
Madinamamedova777@gmail.com

The perspectives for using online courses to implement the concept of lifelong learning

In the rapidly developing society access to the education is the key to stay informed on all the latest scientific and technological progress.The education is not always accessible to the population who are trying to catch up with the fast pace of life. However, there is a solution in the face of online courses, which has been implemented by several other countries and which has shown tremendous success in its performance over the years and that’s been introducedto our educational systems too.

A recent message from the head of our state, Kassym-Zhomart Tokayev, to the people of Kazakhstan refers to the quality of education and, in particular, higher education. High-quality education and progress in the field of science will ensure the progress of the nation, therefore, due attention must be paid to raising the level of scientific research and its application in practice.

At all times one of the most important functions of the education system was its continuity, which is the possibility of personality in various periods of his life to be trained and acquire new knowledge in kindergartens, schools, colleges, universities. In recent decades, given the rapid

Репозиторий КарГУ

development of scientific and technological progress, which requires constant improvement of knowledge, students, teachers, and everyone elseneeds to take actions towards self-development.

In connection with the transition of the education system to the Bologna process, the continuity of the learning process in higher education will be held on 1st and 2nd levels of education. Further, of course, possible to enter doctoral studies, but not every University graduate continues his studies in the University. After graduation, the student starts his career and almost immediately encounters a lack of knowledge or complete lack of, for example, in a new area of interest. Electronic educational resources that universities commonly use in their activities assist the independent work of teaching. They give the ability to view, remember or pass the training course again. However, electronic educational resources aren't enough, especially if the student is a versatile personality. Nowadays to be fully prepared, is the key to achievingsuccess. Therefore, it will be more convenient to suggest using massive open online courses, as this area is one of the most popular, which in recent years has grown rapidly and is gaining momentum. [2]

The use of massive open online courses (MOOC) provides the opportunity to hear the best lecturers from all over the world, allows you to gain knowledge without the job training, and reduces the need of educational migration.

As one of the promising directions of development of continuous education, the article discusses. The use of MOOC in the process of training teachers creates the conditions for the construction of individual educational trajectories, the maximum individualization of the learning process. Therefore, it is concluded that intense need to develop such courses, especially for the system of advanced training and professional retraining of teachers at all levels. [1]

Since 2010, KazNU has been developing distance and e-learning and uses Moodle as Learning Management System (LMS). Moreover, in 2014 KazNU in cooperation with the teaching staff began to work on the creation of MOOC, and is currently on the Internet at http://open.kaznu.kz. MOOC operates its own platform based on the Open EDX system.

Currently at various stages of development are 35 MOOCs. In 2017 it is planned to work on the development of high-quality MOOC, publication on the platform and the active participation of the audience. The next stage is to establish close cooperation between the representatives of the consortium, which will create a national platform of open education in close cooperation with MES of the RK (Republic Kazakhstan).The following universities are partners for open education: Al-Farabi Kazakh National University, Atyrau University, KSTU university of the first president of the RK, Ahmet Yesevi University, Kazakh state women's pedagogical university, Narxoz University, Zhubanov University, Bolashaq academy, KAFU training future leaders, Bolashaq University, Saken Seifullin University, Alikhanov University etc.

The high productivity of online courses is characterized by the fact that through the use of available tools, such as presentations, videos, tests, chat and the ability to repeatedly review the lesson, the maximum study of the course is achieved anywhere and at any time. Moreover, it's more comfortable to follow each student's progress and no one is late for lectures due to the application you can connect to the lesson even from a mobile phone.

Open access registration of anyone to the chosen course, which is available at any convenient time for training and anywhere the only thing is required, is theInternet.

The transition to modules only after completing the tasks of the previous module disciplines, allows you to control the process, plus there is a feedback system of the student and teacher.

Distance learning is the perfect complement to traditional methods of training, and in certain conditions, and alternative, which allows the teacher not to interrupt the process of self-development and self-education in the rapidly changing conditions of modern life. [3]

Self-selection of distance learning courses offered by various organizations and experts, which enabled teachers to improve their level of knowledge in a particular area, to form readiness for effective design of educational programs based on individual educational needs of students;

Репозиторий КарГУ

designing educational environment in accordance with the modern needs of a changing information environment.

In recent years Kazakh universities create their own platforms for hosting online courses. Signing up for the course teaching comprises many ways of teaching: lectures, seminars, practical work, individual assignments, video materials, discuss their results on the forums.

In order to improve the quality of education that meets modern requirements, Kazakhstan universities, together with Russian universities, will create online courses in the field of sustainable waste management for Russian and Kazakh universities using the best practices of European experience. The project is «Improving competence in sustainable waste management in higher education institutions of Russia and Kazakhstan». Its members are partner universities: Tampere University of Applied Sciences, TAMK, Finland (Grant holder); Lillebaelt Academy (University of Applied Sciences), Denmark; Valladolid University, Spain; ITMO University (St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics), Russia; Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Russia; Tyumen State University, Russia; Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan; Sh.UalikhanovaKokshetau State University, Kazakhstan; M.Auezov South Kazakhstan State University, Kazakhstan.

The training of highly qualified personnel in the field of sustainable waste management will give impetus to the development of research in collaboration with local enterprises and the creation of innovative technologies for the reuse of valuable components from waste. The cooperation of companies and universities as part of education should be used to the maximum extent possible during the training process to train qualified specialists, and online modules will provide the opportunity for continuing professional training for interested groups.

Teachers of Thermophysics and Technical Physicsdepartmentare responsible and developing the following courses:

1. Basics of waste utilization
2. Reuse of side products and outputs
3. Physical-chemical treatment methods in waste management
4. Waste-to-energy plants and technologies
5. Energy efficient technologies in waste treatment

Training seminars were held for teachers at universities in Finland, Denmark, the Russian Federation, and Kazakhstan on the basis of Sh.Ualikhanov Kokshetau State University and M. Auezov South Kazakhstan state University.

Teachers of the Department of Thermophysics and Technical Physics of Al-Farabi Kazakh National University are responsible for the development of two modules: Non-energy and energy technologies for waste disposal.

For these courses, programs have been developed that are discussed with leading experts from large enterprises and state environmental services (TPP-1; TPP-2; Almaty Electric Networks; Atameken National Chamber of Entrepreneurs of the Republic of Kazakhstan, etc.). It is planned to include new disciplines in modular educational programs with the participation of employers:"Processes and equipment for waste separation at marshalling yards, storage facilities and processing enterprises", "Environmental aspects and assessment of the impact of production and consumption waste on the environment", "Technological processes of energy waste management", "Thermodynamic basics of waste management", "Environmental aspects and efficiency of energy recovery." An agreement was reached on cooperation with the leadership of the waste sorting complex in Almaty.

Information about the project is available on the university website; trainings for the department staff on the use of online training tools (e-learning tools) and modern pedagogical approaches.

Work in this direction undoubtedly needs to be expanded, not only to stimulate small and medium-sized businesses in the field of waste recycling, but also to raise information work to a new

Репозиторий КарГУ

level. We hope that our training courses will be able to make a significant contribution to the greening of the upbringing and education of society.

The main results of the planned work - eight developed online training modules on sustainable waste management for students and employees of companies will be posted on the itmo.courses.ru platforms of ITMO University (Russia) and MOOCAl-Farabi KazNU (Kazakhstan) in February 2020 year.

Piloting of the courses will began in September, each university will post the prepared courses on schedule. The pilot will receive feedback from students, teachers and employers, which will improve the content and structure of the courses. It should be noted the ability of making changes to the posted courses.

References:

1. Бугайчук К. Л. Массовые открытые дистанционные курсы: история, типология, перспективы // Высшее образование в России. - 2013. - № 3. - С. 148-155.

2. Велединская С. Б. Смешанное обучение (blended-learning) и его возможные перспективы в ТПУ. Уровневая подготовка специалистов: государственные и международные стандарты инженерного образования // Сборник трудов научно-методической конференции. — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. — С. 105–106.

3. Tomlinson B., Whittaker C. Blended learning in English teaching: course, design and implementation // British Councilю - London, 2013. – Vol. 3, No. 2. – P. 23-32.

Mussaibekov R.K., Dautov A.O., Shuyushbayeva N.N.
Kokshetau State University named after Sh.Ualikhanovrashid1956@bk.ru

Applying of aesthetic elements in mathematics and physics

Frequently among of numbers and mathematical signs, we do not notice all the beauty and logic of the evidence of this science. The beauty of science was once noticed by N.E. Zhukovsky. He wrote: “Mathematics has its own beauty, both in painting and in poetry [1]

For thousands of years, the Kazakh peo ple used a unique structure that called a yurt. This is a very beautiful home, the development of which goes into a very distant past. In the VI century BC. on the expanses of the Great Steppe in Kazakhstan, the settlement area reached 2-3 thousand. Already from the X century throughout the Great Steppe, a single type of collapsible dwelling prevailed, which served the Turks both during the Seljuk campaigns, as well as during the time of Genghis Khan. It should be noted that the yurt is the main city-forming element of nomadic people. Kazakhs, like their ancestors, preferred yurts. It was at this time that the Kazakh yurt was the pinnacle of the development of nomad architecture; it was more than the rest of the yurts. The yurt took into account: proportion, ornament: on the outside it is larger, and on the inside it is smaller and more colorful, and this has been preserved to this day [2-7].

The main elements of the wooden base of the yurt: kerege, uyk, shanrak, yesik. Let us explain these elements. Kerege is a sliding part of the yurt, its base is trellised. Uyk - dome poles. Shanrak is a circular top of the dome; a door made of wood with folds is a yesik. Kereges are formed from separate sections - a rope, each of them is made of saganak - these are slats connected to each other along the diagonal axis. The planks are interconnected and in accordance with the fact that the grid of the sliding grate has depending on the form of connection of the planks, the grid of the sliding grate formed in this case is divided into two types of kerege: wind eye (a large mesh of light poles) and net eye (small grid of square planks, and the planks are more massive than the parts of the wind eye, but the mesh in this case is smaller). Wind eye is resistant to strong winds, and net eye has the property of waterproofing during prolonged rains.

Репозиторий КарГУ

There are dome poles in the yurt, which are called uyks and their sizes depend on the size of the yurt. For example, for a six-rope yurt, the length of the stick reaches up to 240–250 centimeters. It should be noted that basically the uyk is round, in the upper part it narrows and its end is a pointed cut (tetrahedral) inserted into the shanrak's nest. In turn, the upper part of the yurt shanrak is a circle and spacer mounting rails. The door consists of three parts: a jamb, wooden wings, a felt cloak with a patterned mat. In the jamb there are: bosaga, tabaldyryk and mandaysha. Bosaga - side racks, tabaldyryk - threshold, mandaysha - the upper bar of the jamb. In the school, in comparison with other parts of the yurt, there are no standard sizes. Yesyk (felt cloak) in the Kazakh yurt is an indispensable attribute.

Of course, in the construction of yurts, the Kazakhs used individual elements from mathematics.

Mathematics has long served people as a reliable help in their lives. People knew how to count and studied geometric shapes in those days when they did not learn how to write. With the advent of writing, numbers appeared and very soon after them, mathematics began to develop. Why was math needed in ancient times? It was a reliable help in practical, commercial calculations, land surveyors - to measure land, it served many other earthly purposes. But gradually, mathematics went far beyond the practical needs of mankind. Playing with numbers and figures was not only a means, but also an end in itself. As humanity developed and appeared more and more new areas of application of mathematics to solving specific problems from practice. For a long time, the most important of these was the construction of housing, which served as a shelter from adverse weather, for sleeping, raising offspring, storing supplies, resting, corresponding to the ability to keep warm. But at the same time, people faced a problem: how to provide as much space for housing with the smallest surface and shape of the dwelling. They tried to solve the problem: the dwelling, which form is most comfortable for living in terms of the ratio of the volume of housing space and heat loss through its surface. When studying geometric material, it turned out to be important to find objects in the surrounding world in the form of geometric shapes, to highlight their most important properties. To do this, you need to answer the following questions:

1. Is it possible to compare two buildings and determine which one is better?
2. Which home is the most comfortable?
3. What shape of the building is the cheapest?
4. How to consider the ability of the house to keep warm?
5. Why does a cat curl up in a lump in cold weather?
6. Why is the kettle spherical?
7. Is all this related to the conservation of heat?

The answers to all these questions are given by isometric theorems of geometry.

Man used the word proportion in the meaning of harmony, beauty. Proportions in architecture are one of the most important means of creating an artistic and aesthetic image, with its help can be expressed monumentality, solemnity, or, conversely, modesty, simplicity, naturalness. The standard of beauty, received with the light hand of Leonardo da Vinci, the name "golden ratio" ("Divine proportion") (Luca Pacholli), is such a division of the segment into two parts, when the smaller of them refers to the larger as well as the larger to the entire segment (figure 1).

$$\frac{a}{b} = \frac{b}{a+b}$$

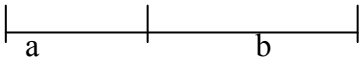


Fig.1

We calculate what parts the "golden section" divides a single segment.

Репозиторий КарГУ

a+b=1, b=1-a, where $\frac{a}{1-в}=\frac{a-1}{1}$, from $a^2-2a+1=a$, $a^2-3a+1=0$, $a_{1,2}=\frac{3}{2}\pm\sqrt{\frac{5}{4}}=\frac{3\pm\sqrt{5}}{2}$.

So 0<a <1, there $a^2-3a+1=0; a=\frac{3}{2}\pm\sqrt{\frac{5}{4}}$; a=$\frac{3-\sqrt{5}}{2}\approx 0.382, b\approx 0.618.$

The human is pleased with all sorts of relationships, but only those that are in relation $\frac{a}{в}$. Soviet architect I.B. Zholtovsky [8] made an analysis of the architectural monuments of Ancient Greece and the Italian Renaissance. He found that there is another proportion, closely related to the golden ratio, widely used in architecture. With the help of its unit segment is divided into parts 0.528: 0.472.

The manifestation of the laws of the golden ratio was used in the architecture of the Kazakh yurt, the whole life of the Kazakhs was connected with it, so it occupied a special place in everyday life. The great French architect Le Corbusier [9] admired the completeness, versatility, and interchangeability of parts of the yurt. It was that he considered as one of the prototypes of his concept "Home - a car for housing." Speaking about the Kazakh yurt, we can say with confidence that, as a dwelling, it was not only precisely designed and thought out taking into account the needs of the nomads, and its decoration was distinguished by ornamental grace of decor, but the very principle of constructing a yurt was a reflection of their views on the world [10].

$S_{cylinder}$=53,78m^2, $S_{sideofcone}$=53,18m^2, S_{whole}=106,96m^2, $V_{cylinder}$=69,88m^3,V_{cone}=15,16m^3,V_{whole}=85,04m^3[11, 12]

In architecture, there is a formula that allows you to evaluate the home: $K=\frac{36\pi V^2}{S^2}$, where K – isoperimetric comfort coefficient, V – the volume of the dwelling, S - total surface area [14, p.144]. Substituting the numerical data in the formula, we can calculate the meaning of K:

$$K=\frac{36*3.14*(85.04)^2}{(106.96)^3}=\frac{817534,76}{1223669,63}\approx 0,668$$

Comparing the comfort coefficients of various types of housing, fill out the table:

№	Type of home	Isoperimetric comfort coefficient
1	East Siberian Plague	0,356
2	Our usual home	0,441
3	Kirdi Peoples House in Cameroon	0,632
4	Yurt of Kazakhs	0,668

It is customary to call the coefficient of a comfortable home, the real value of K, equal to 1, and this is possible only for the sphere, and the coefficient does not depend on its radius. If the meaning K larger, the greater the cubic capacity can be obtained per unit area.

Among the Kazakh people, the numbers 3,7,9,30,41 are considered “holy” . The number "3" means the unity and integrity of the three zhuzes (senior, middle and junior); “7” means “seven riches” (Zhety Kazyna) (it is appropriate to say here that the father of the world-famous oriental stars Abu Nasyr Muhammad Darhan biuzlakat-Turki al-Hakim al-Mashur al-Mugallim Sani al-Farabi (Abu Ali ibn Sina- Avicenna) on his deathbed in his last breath, when six medicines did not

Репозиторий КарГУ

help, said: “Bring the seventh medicine” [14, 347] - he still had hope for the seventh medicine.); "41" is one saint out of forty-one. Another tradition is associated with this number. When forty days pass after the birth of a baby, they bathe him, pouring 41 tablespoons of water into a basin, etc. It is generally accepted among Turkic peoples that God created four elements - fire, earth, water and air. Pythagoras wrote that "numbers rule the world." He perceived: “1” - as fire, “2” - earth, “3” - water, “4” - air [13, p. 179]. Another saying of his: "Each number has a characteristic peculiar only to him" [15]. And the great thinker and poet Goethe said: “Numbers do not lead the world, but they teach how to lead” [16.86] - that there was a big secret in the numerical space, even in those days. Even numbers 2,4,6,8 ... were considered female numbers, odd 3,5,7 ... were male. For different nations, mystical numbers are 3,7,9,12,13,40,666, etc. For example, among the Indians, 666 is considered the number of the devil, Satan.

G.N. Potanin considers the numbers 3,7,9 sacred, holy, says that they are more often found in oral literature. The reason for this phenomenon G.N. Potanin [17.98] considers it incorrect to search in praise of the seven planets in heaven.

The Kazakh people have many names, sayings associated with the number seven. From the sacred number seven, the name Zhetibay was given to the child. The names of the children with hope went further from Zhetibay: Kyrykbay (from the number of kyryk - forty and further from fifty, etc.), Elubay, Alpysbay, Zhetpisbay, Seksenbay, Toksanbay, Zhuzbay and further to Mynbay (from Myn-thousand). In the world of numbers, besides these, people's names are rare. “Seven planets”, a country of seven genera, under seven layers of earth, to be passed in seven days, seven nights, a child under seven years old gets beaten from the earth, seven funeral cakes, seven stacks of Tauke Khan and other similar numerous phrases are often found in the Kazakh language . As they say, “Drive the flock - the leader of the rams, speak - an eloquent speaker”, “Seven Relatives” of Kaztugan Suyinshiuly [18, 191] and today on the lips of the people. Seven treasures is one of the philosophical concepts in the traditional Kazakh worldview. The fast horse of a brave man is its wings. The potty hound is a reliable friend that enhances his authority. A shotgun is a formidable fire. A trap - an oath, a network, a net - tricky ways, a dagger - awesome. The people of Seven Treasures made the basis of the needs of life. The significance of what the Kazakh people call the Seven Treasures “Seven Riches” lies here.

There are a lot of books on numbers, for example, the work of Diophantus of Alexandria [19]. Diophantus' Arithmetic "laid the foundation for a new algebra; it used alphabetic symbolism and negative numbers were introduced, it is a small but quite capacious work devoted to numbers. However, what is published is enough to get an initial idea of the "sacred science of numbers", immersion in which the elemental searches and impulses of a person unusually clarify, helping him to embark on a strict true path that naturally leads to the goal [20].

Familiarization of students with the elements of mathematics is useful in a cognitive sense and convinces them that the material studied in the school and included in the school course was obtained as a result of cognition of the world, verified by practice, and not given in a finished form.

References:

1. Chumakova G.V. High School Math Week 2010
2. Argynbaev H. New materials on archeology and ethnography of Kazakhstan. 1961
3.Mukanov M.S. Kazakh yurt. 1981
4. Masanov E.A. Kazakh felt production. 1969
5.Orazov A. Settlements and dwellings of the Turkmen. 1963
6. Shaniyazov K.Sh. To the ethnic history of the Uzbeks. 1974
7. Sharygin D. The myth of Dido and the isoperimetric problem. "Quantum" No. 1, 1997
8. Zholtovsky IV. Projects and buildings. M., 1955
9. Le Corbusier. XX century architecture. M .: Progress, 1977. p. 330
10. Pogorelov A.V. Geometry: Textbook. for 7-11 cl. general education. institutions. - 5th ed. - M .: Education, 1995 .-- 383 p.

Репозиторий КарГУ

11. Geometry: Textbook. for 10-11 cells secondary school / L.S. Atanasyan, V.F. Butuzov, S.B. Kadomtsev et al. - 2nd ed. - M .: Education, 1993 .-- 207 p. : ill.
12. Dalinger V.A. Methodology of work on the formulation, proof and consolidation of the theorem: A book for teachers / OmIPKRO. - Omsk, 1995.196 s., Ill.-9, tab. 12.
13. Abu Nasyr Al-Farabi. Chosen Treatises. - 2009. - p. 347
14. Kozhabaev K.G. Educational-developing teaching of mathematics and preparation for the future teacher: Textbook / Kokshetau: Kokshetau State University named after Sh. Ualikhanov, 2009-273p.
15. Pythagoras. The Sacred Science of Numbers // Book on Numberology [Electronic Resource]. Access mode: http: // www.new - numerologu.ru / books / kl_6.htm.
16. Tursunov E.D. Ancient Turkic folklore: Origins and formations.-2001.-p. 170
17. Potanin G.N. Oriental motifs in the medieval European epic. - 1899. - p. 98
18. Berdibaev R. Sargylmas Kazyna. - 1983 .-- p. 248
19. Diophantus of Alexandria. Arithmetic and a book about polygonal numbers. Series: Physical and Mathematical Heritage. Publisher: LCI - 2007
20. S. Yu. Klyuchnikov. The sacred science of numbers. M .: Belovodye, 1996 .-- 192 p.

С.Д. Дәрібеков, Ж.Т. Үмітбек.
Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды Мемлекеттік Университеті,
Қарағанды қаласы Қазақстан

Сапалық есептерді шығаруда компьютерді пайдалану

Сандық және сапалық есептерді шығаруды көптеген зерттеушілер шешу әдісімен сипатына қарай бөледі. Бірақ ғылыми әдістемелік әдбиеттерді талдауда сапалық есептерге нақты анықтама берілмейді немесе оларды практикада қолдануды еске алмайды. Ал көптеген зерттеушілер мен ұстаздар және әдіскерлер сапалық есептерге берілісінде (шартында) сандық мәндері жоқ есептерді жатқызады [1].

Бірақ есептің шартының сипаты оның шешуінің сипатына келмей жатады. Ондай есептер математикалық өрнектердің көмегі арқылы шешіледі.

Сондықтан сандық және сапалық есептерді шешу оқушыларды нақты ғылыми проблемаға жақындатады. Ол физикалық құбылыстарды таңдауға, оның модулын жасауға және оған сапалық талдау жасауға итермелейді. Осындай есептерді пайдалану физиканы тереңдетіп оқытуда ерекше тиімді болады. Бірақ мұндай есептерді шешу жеткілікті физикалық біліммен дағдыны талап етеді.

Сандық және сапалық есептерді шығару физика пәні бойынша оқу процесін ұйымдастырудың бір бөлігі болып табылады. Бұл жерде сапалық есептер оқыту әдістемесінің функциясын атқарады. Сапалық есептер функциясының тиімділігін арттыру үшін ол оқытудың әрбір кезеңдерімен формаларына қатысуы қажет. Қазіргі кезде негізгі мектептерде сапалық есептерді шығару тек сабақ үстінде іске асырылады.

Оқу процесіне компьютерлік технологияның енуіне байланысты сапалық есептердің оқу материалдарын меңгерілудегі мәселесі кеңейді [4,5].

Сапалық есептерді шығаруды сабақта қолдану тек қана уақытпен шектелмейді, олардың сабақтағы орны мен оқушылардың жұмысын ұйымдастырумен де ерекшеленеді. Қазіргі кезде мектептерде сапалық есептерді шығаруды іске асыру тек сыныптан тыс формасында жүзеге асырылып келеді.

Мектептегі білім берудің алға қоятын басты мақсаты оқушыларды дүние таным әдістерімен таныстыру. Дүниетаным әдістемесі ол үш бөлімнен тұрады: теориялық болжамдарды тәжірибеде тексеру, теориялық және тәжірибеден алынған мәліметтерді салыстыру арқылы қорытындыға келуге итермелейді.

Репозиторий КарГУ

Оқушылардың көпшілігі есеп шығаруға қатыспайды. Аталған процесті тек сырттай бақылайды. Бұл жерде оқытудың формасымен білімді жеке меңгертудің арасындағы қарама қайшылыққа кездесеміз. Сондықтан сапалық есептерді білім беру процесіне қолданудың әдістемесіне технологиялық жағынан өзгерістер енгізу қажет.

Оқыту процесінде есептерді шығару әртүрлі функцияларды іске асырады. Бірақ олардың алдына қойылған барлық функцияларды тек белгілі бір есептер жүйесі атқарады. Қазіргі кезде сапалық есептерге кездейсоқ пікірлер қалыптасқан. Мектеп оқулықтары қалыптастыратын білім мазмұнын толықтай анықтамайды. Оқушыларда дағды мен епті қалыптастыру үшін арнайы бағдарламалар түзіледі. Оны зерттеуді жүйелі түрде іске асыру мектеп оқулықтарында жаттығулар мен есептер арқылы аз берілген. Бірақ есептердің көптеген бөлігі физикалық ұғымдарды қалыптастыруға бағытталған, тек аздаған бөлігі ғана білім саласының басқадай элементтерін қалыптастыруға арналған.

Сапалық есептер негізінен сапалық сипатқа ие бола отырып репродуктивті сипатқа ие. Қазіргі мектептерде қолданылып жүрген оқулықтарда тек белгілі бір физикалық шамаларға арналған сапалық есептерді шығарудың мысалдарын келтірумен шектеледі.

Көптеген зерттеушілер сапалық есептерді бөліп жеке қарастырмайды. Сондықтан осы уақытқа дейін физиканы тереңдетіп оқыту кезінде оларды қолданудың арнайы әдістемелерін де жеткілікті түрде қарастырылмаған [2].

Есептер жүйесін құрастырған кезде танымдық іс – қимылды іске асыру мүмкін емес.

Оларға:

- Танымдық іс – қимылды белсенді жүргізу;
- Оқушыларда білімнің құрылымдық элементтерін қалыптастыру;
- Оларда логикалық және шығармашылық ойлау қабілетін дамыту;
- Оқушыларда біліммен білу методологиялық сапасын қалыптастыру.

Сапалық есептерді оқу процесінде қолдануда ой ерекшелікке қол жеткізу көптеген логикалық және әдістемелік шарттарды сақтағанда ғана қол жеткізуге болады.

Сондықтан көптеген әдістемелік әдебиеттерде жалпы дидактикалық принциптерге талдау жасалған [3].

Оқушыларға білім беруде сапалық есептерді қолдану кезінде кейбір логикалық және әдістемелік шарттарды орындау қажет.

Жоспарлы және жүйелілік принципі: Оқушыларға сапалық есептерді шығаруға саналы түрде алға қойылған барлық білім беру мақсатын іске асыруға қол жеткізу керек. Ол үшін сапалық есептермен белгілі бір жүйе бойынша жұмыс жасауы талап етіледі. Сондықтан сапалық есептерді шығаруды оқытудың барлық кезеңдерінде іске асыру, оқушылардың басқада іс – қимылдарымен органикалық байланыста болу үлкен роль атқарады.

Ғылыми және қолжетімділік принципі: Физиканы тереңдетіп оқыту кезінде оқытылатын материалдық теориялық деңгейін яғни есептердің ғылыми деңгейін жоғарлату қажеттілігі пайда болады. Бірақ сапалық есептердің ғылыми деңгейі оқытылатын материалдың физикалық мағынасы математикалық аппаратын күрделендірмей көмектесуі қажет.

Көрнекілік принципі: Есеп шығарған кезде оқушылар көбіне өздері көзімен көрген құбылыстармен ақпараттарды қолдануға дайын тұрады. Сондықтан есептің шартын абстарктылы ойға құрмай, әртүрлі көрнекіліктерді: суреттер, фотобейнелер, сұлбелер т.б.с.с қолданғанда есеп шығаруға қызығушылықтары біршама артады.

Тәжірибеден алынған материалдарды теориямен байланыстыру принципі: Қазіргі кезде көптеген әдіскерлер физиканы оқытуда көбінесе баяндау әдісі қолданылатындығына көптеген сындар айтады. Сондықтан сапалық есептерді шығарған кезде теориялық талқылаулармен тәжірибелік әдістерді біріктіре оқыту көптеген нәтижеге қол жеткізуге мүмкіндік береді. Мектепте сапалық есептердің шарттары тәжірибеден алынған қоршаған ортада бақыланған физикалық құбылыстарға құрылғаны жөн.

Репозиторий КарГУ

Сапалық есептерді шығаруды қалыптастыруды кезең – кезеңмен жүргізу принципі: Есеп шығарудың логикалық жүйеге келтіруге мүмкіндік береді.

Адам баласы өзінің күнделікті өмірінде сапалық сипатқа ие болатын проблемалармен кездесіп отырады. Мектеп оқушыларына сапалық есептерді шығарудың әртүрлі жолдарын меңгерту керек.

Оқу процесінде компьютерлік технологияның тереңдеп енуіне байланысты сапалық есептерді шығаруда оны қолдану көптеген күрделі есептерді шығарумен алынған ақпараттарды талдауға көп көмегін тигізеді. Мысал ретінде қарапайым гармоникалық қозғалыстың кинематикалық параметрлерін зерттеу уақыттан көп ұтыс берумен бірге олардың арасындағы тәуелділіктерді графикалық түрде көрсетуге үлкен мүмкіндік береді.

Тербелмелі қозғалыстың теңдеуіне *A* тербеліс амплитудасын, ω деңгейлік жиілігі , φ_0 бастапқы фазасы және *t* уақыты енеді.

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

Бастапқы тербелмелі қозғалыстың жылдамдығы:

$$v(t) = \frac{d}{dt}x(t) = A\cos\sin(\omega_0 + \varphi) = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}) \quad (2)$$

Үдеуі:

$$a(t) = \frac{d}{dt} \quad v(x) = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi + \pi) \quad (3)$$

Бұл теңдеулерден жылдамдықпен үдеудің амплитудалық мәндері сәйкесті $\mp A\omega_0, \mp A\omega_0^2$ *тең.* Тербеліс фазасы $\varphi = \omega t$ гармоникалық тербеліс теңдеуіндегі тригонометриялық функцияның аргументі. Сондықтан тербеліс қозғалысты қарастырған кезде фазаның физикалық мағынасын ашу қажет. Ол үшін кез келген уақыт сәтіндегі ығысуды анықтайды. Мысалы фаза $\varphi = \frac{\pi}{6}$ тең болғанда ығысу *x=A/2,* ал $\varphi = \pi$ тең болғанда ығысу *x=0*, $\varphi = \frac{3\pi}{2}$ болғанда *x = -A.* Яғни фаза бір – бірінен 2π шамасына еселі болатындығы байқалады.

Мектеп оқушыларына бастапқы фаза $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{6}$ болған жағдайдағы кинематикалық параметрлердің өзгерісін компьютердің көмегі арқылы көрсету тиімді болады.

Жылдамдық фазасы ығысу фазасынан $\frac{\pi}{2}$, ал үдеу фазасы π айырылмайтындығы көрінеді. Ал $x = 0$ болған уақытта υ жылдамдық ең үлкен мәнге ие болса, онда *x* ең үлкен теріс мәнге ие болғанда *a* үдеу ең үлкен мәнге ие болады. Көрнекілік мақсатында *x, υ, a* уақытқа байланысты өзгерістері 1,2 өрнектері арқылы қарастырылады.

Енді қарапайым қарастырып отырған гармоникалық тербелістің кинематикалық парамтерлерінің өзгерісін көрсету мақсатында оларға сәйкес мәндер беріп өзгерісін қарастырайық.

Тербеліс амплитудасы $A = 2 \times 10^{-2}$ *м,* дөңгелек жиілігі $\omega = \pi$, бастапқы фазалары $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{6}$ өзгерістерін график түрінде компьютердің көмегімен кескіндейтін болсақ, онда: $A = 2 \times 10^{-2}$ *м*, $\omega = \pi$, $\varphi = \frac{\pi}{3}$

$$x(t) := A \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi)$$

$$v(t) \rightarrow -2 \cdot \pi \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4} + \pi \cdot t\right)$$

Репозиторий КарГУ

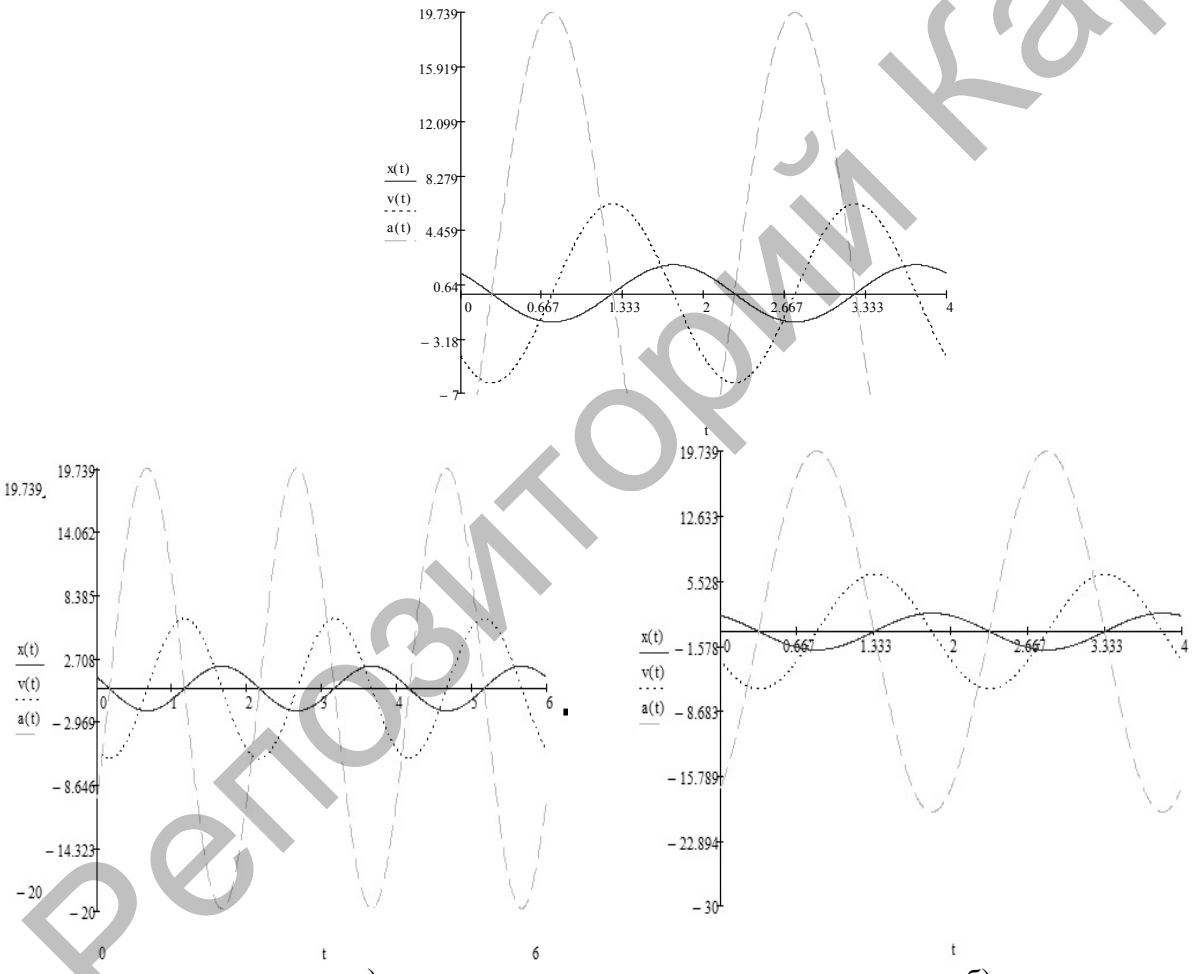
$$a(t) \rightarrow -2\cdot\pi^2\cdot\cos\left(\frac{\pi}{4}+\pi\cdot t\right)$$

$$a(t) := \frac{d^2}{dt^2}x(t) \quad v(t) := \frac{d}{dt}x(t)$$

1 сурет – Тербеліс амплитудасы 2×10^{-2} м $\omega = \pi, \varphi = \frac{\pi}{4}$ кезіндегі кинематикалық параметрлердің өзгерісі

Кинематикалық параметрлерді салыстыру үшін параметрлерді $A = 2\times 10^{-2}$ м, $\omega = \pi, \varphi_0 = \frac{\pi}{3}$ $\varphi_0 = \frac{\pi}{6}$ тең деп алып, графигін салайық.

Кинематикалық параметрлердің жоғарыда көрсетілген өзгерістерге байланысты графиктерін талдайық.



а) б)

Сурет 2 (а, б). Тербеліс амплитудасы 2×10^{-2} м $\omega = \pi, \varphi = \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{6}$ кезіндегі кинематикалық параметрлердің өзгерісі

Тербеліс амплидасын A=2×10^{-2} м мен дөңгелек жиілігі ω=π тұрақты мәндер беріп, бастапқы фазасын

Репозиторий КарГУ

$\varphi_0 = \frac{\pi}{3}; \frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{6}$ деп өзгерткен кезде гармоникалық тербелістің кинематикаға параметрлерінің өзгеірістерін графикті түрде(1,2 сурет) көрсетілген. Суреттерден салыстыратын болсақ онда бастапқы фазасы артқан сайын аталған параметрлердің шамасының өзгеретіндігін көруге болады.

Амплитуданы 2 есе арттырсақ онда $a=A\omega^2$ *a* үдеу 2 есе артады. ω=const тұрақты. Оны графикте көрсетуге болады. Осындай талқылауларды амплитуда *A* мен дөңгелек жиілік ω мен әртүрлі мәндерінде қарастырып өзгерістерін көрсетуге болады:

Егер бастапқы фазаны φ_0- $\pi/3$, $\pi/2$ өзгертсек жылдамдық азаяды, ал φ_0- $\pi/4$, $\pi/6$ өзгертсек жылдамдық артады.

Тербеліс амплитудасы *A* мен жиілігін тұрақты етіп алатын болсақ онда тербеліс ϑ жылдамдығымен *a* үдеуінің амплитудалық мәндері бастапқы фазасы өскен сайын $30^0, 45^0, 60^0$ үдеу (-21 *м/с*^{2}, *-14,135 м/с*^{2}, *8.646 м/с*^{2}) азаяды.

Сапалық есептерді оның ішінде тербелмелі қозғалыстың кинематикалық параметрлерінің өзгерісін, тербеліс амплитудасына, бастапқы фазасына, тербеліс жиілігіне қарай графикте көрсетуде компьютерлік технологияның алатын өзгерістерінің жоғары екендігіне көз жеткізуге болады.

Дәстүрлі график салу әдісін қолданатын болсақ, бұл оқушылардың көптеген уақытын алар еді. Сондықтан осындай сапалық есептерді компьютерде салып көрсету оқушылардың пәнге деген қызығушылығын арттырып, еп, дағдыларын қалыптастырады.

Әдебиеттер:

1. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. – М.: Мир, 1975.
2. Спажакин В.А. Качественные задачи// Физика. – 2006. -№40/03.
3. Коновалихан С.В., Качественные задачи. ЭСШ РАО №75, Г. Черноголовка, Московская область // Физика. – 2010. - №42/03.
4. Ашуров А.Е. Физиканың компьютерлік әдістері: Оқу құралы. – Шымкент.: М.О. Әуезов атындағы ОҚМУ, 2007.
5. Нұрқасымова С.Н., Ашуров Ә.Е. Физиканы оқытудың компьютерлік әдістері. Оқу құралы. – Алматы: New book, 2018. – 176 бет.

Ж.Ж. Есембекова
Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті,Қарағанды қ., Қазақстан, zhulduz_18_04@mail.ru

Бағалауда электрондық құралдарды қолданудың психологиялық – педагогикалық аспектілері

Еліміздегі білім жүйесінің жаңаша білім беру мазмұнына көшуі қазіргі мектептердің әлемді кешенді суреттей алатын оқушыны дайындауын көздейді. Оқушылардың білім нәтижелерін бағалау оқыту үдерісінің маңызды бөлігі болып табылады, оқыту үдерісін басқарудың түйінді кілті бағалауда деп те айтуға болады. Заманауи мектептің табыстылығы оқу тәжірибесін жаңартуға бағытталған мұғалімнің жаңаша бағалау көзқарасының қалыптасуымен айқындалады.

2016 жылдан бері мектептер балалардың білімі мен дағдысын бағалаудың жаңа жүйесіне біртіндеп көшіп келеді. Бұл жүйені мамандар алты жыл бойы дайындап, бірқатар мектептерде қанатқақты жоба ретінде сынап көрді. Ал бүгін балаларға үлкен өмірге жалтақтамай қадам басуды үйрететін осы «критерий бойынша бағалаудың» пайдасын қарапайым мысалмен түсіндіргіміз келеді.

Репозиторий КарГУ

Мұғалімдердің пікірінше, баға – баланың оқу барысындағы бағытын айқындау үшін қажет. Алайда дәстүрлі бес балдық бағалау жүйесі бұл талаптың үдесінен шыға алмайды. Сондықтан да мектепте білім беру жүйесіне критерий бойынша бағалау әдісі енгізілген.

Критериалды бағалау – белгіленген критерийлер негізінде білім алушылардың нақты қол жеткізген нәтижелерін оқытудың күтілетін нәтижелерімен сәйкестендіру үдерісі.

Критериалды бағалау жүйесін енгізудің мақсаты әрі қарай оқу үдерісін жетілдіре түсу үшін бағалау критерийлері негізінде білім беру үдерісіне қатысушылардың барлығына білім алушылардың оқу нәтижесі туралы нақты ақпарат алу болып табылады.

Критериалды бағалаудың екі түрі бар:

- *қалыптастырушы бағалау*: жыл бойы оқушының үлгеріміне қатысты комментарий беріп, кеңес айтамыз, оқушы тараудың немесе тоқсанның соңына дейін үлгермей жатқан тұсын жетілдіруі керек, бірақ баға қоймаймыз;

- *жиынтық бағалау*: әр тараудың және тоқсанның соңында қорытынды жұмысқа балл қойылады; оқу жылының аяғында ол балды бес балдық жүйе бойынша бағаға айналдырамыз [1].

Психологиялық және педагогикалық зерттеулерде бағалаудың әр түрлі жақтары мен қасиеттері көрсетілген: мазмұны, орны, қызметі, оқытушының бағалау барысындағы қызметінің құрылымы және тағы сол сияқты. Алайда, бағалаудағы келесі мәселелер шеттеп қалған: нақты көрсеткіштер бойынша бағалаудың бірыңғай жүйесін жасау, бағалаудағы субъективтілік, бағаны қоюда мұғалімнің және оқушының жеке ерекшеліктері, қарым-қатынасы. Егер бұл мәселелерді және сұрақтарды шешпесе, онда жеке тұлғаны дамыту бағытындағы міндеттерді орындауға қол жеткізу өте қиын болары сөзсіз.

Оқушылардың оқу жетістіктерін критерийлер бойынша бағалау үрдісін ұйымдастыру барысында оқушылардың оқу-танымдық қызметінің төмендегідей психологиялық және педагогикалық ерекшеліктері ескерілуі керек:

- өз бетінше білімін, біліктілігін және дағдыларын жетілдіруге және жаңа жетістіктерге ұмтылуға дайын болуы керек;

- өзінің жетістіктерін нақты бағалай алуы керек;

- өзінің алдына қойылған міндеттерін түсіне алуы керек;

- оқушының жеке білім алу бағытын таңдауға және оны құрастыруға ұмтылуы;

- оқу және өз бетінше дайындалу сабақтарының барысында оқу-танымдық белсенділікке ұмтылуы;

- сыныптастарымен қарым-қатынас жасауға ұмтылуы;

- оның құрбы-құрдастарының алған бағаларына көңіл аударуы, яғни оның өзара бағалауға ұмтылуы;

- теориялық және критерийлік ойлауының қалыптасуы;

- талғампаздығы;

- ақпаратты қабылдау барысында ынтасының тұрақтылы; бір мақсатқа бағытталуы[2].

Бағалау тәсілдері критериалды бағалаудың түрлеріне, пән мазмұнына қарай ерекшеленуі мүмкін. Қалыптастырушы бағалау оқу үдерісінің ажырамас бір бөлігі болып табылады, тоқсан барысында мұғалім тарапынан жүйелі өткізіліп отырады. Қалыптастырушы бағалауда баға, балл қойылмайды, мұғалім мен білім алушы арасында үздіксіз кері байланыс қамтамасыз етіледі. Қалыптастырушы бағалау кезінде білім алушылардың қателесуіне, оны түзетуіне құқығы бар. Бұл білім алушылардың мүмкіндігін анықтауға, қиыншылығын табуға, оң нәтижеге қол жеткізуіне көмектесуге, дер кезінде оқу үдерісін түзетуге мүмкіндік береді.

Әр сабақта, жеке тақырыптарды өту барысында оқытудың жекелеген мақсаттарын әртүрлі формаларды пайдалана отырып, қалыптастырушы бағалау жүргізіледі: әр түрлі белсенді формасымен ауызша сұрау; қысқа мерзімді тесттер, рөлдік ойындар, «миға

Репозиторий КарГУ

шабуыл», оқушыларға презентация жасау, сапалық, эксперименттік және сандық есептерді шешу, зертханалық жұмыстарды орындау. Әрбір осындай бағалауды мұғалім қалыптастырушы бағалау парағы түрінде рәсімдейді. Оқушылардың жетістіктері туралы белгілерді тек мұғалім ғана емес,сонымен қатар өзара бағалау және өзін-өзі бағалау арқылы оқушылардың өздері де енгізе алады.

Қалыптастырушы бағалау үшін тапсырмаларды оқу мақсаттарына толық сәйкес келетін етіп таңдау қажет. Тапсырмалар сол бағалау парағына орналастырылады.

7-9 сыныптарда зертханалық жұмыстарды жүргізу кезінде 1-кестеде көрсетілген жетістік критерийін қолдануға болады.

Кесте 1. Зертханалық жұмысты қалыптастырушы бағалау парағы

Пән: Физика	Күні:	Оқушының аты-жөні:		
Бөлім: 9.2 «Динамика: деформация, Ньютон қозғалысының күші және заңдары» Сабақтың тақырыбы: Зертханалық жұмыс «Ньютонның екінші заңын зерттеу»				
Оқу мақсаттары	Дағдылар	Табыс критерийлері Оқушылар оқу мақсатына жетті, егер:		
Ньютонның екінші заңын тәжірибе жүзінде растау	Синтез	жұмыстың мақсатын тұжырымдады		
	Есте сақтау	қажетті жабдықты атап өтті		
	Білімді қолдану	тақырып теориясын толық жеткізді		
	Анализ	жұмыс барысын құрды		
	Білімді қолдану	қажетті формулаларды жазды		
	Білімді қолдану	өлшеулер жүргізді		
	Математикалық сауаттылық	есептеулер жүргізді		
	Білімді қолдану	кесте әзірледі		
	Анализ	шамалардың өлшенген және есептелген мәндерін кестеге толтырды		
	Рефлексия	қорытынды және эксперименттерді жетілдіру бойынша ұсыныстар жасады		
ББ оқушыларының жеткен жетістіктері туралы қорытынды шешім қабылдау	Белгі (Жетті/ Ұмтылады)	Мұғалімнің қолы:		

Қалыптастырушы бағалау білім алушыға нақты тапсырманы немесе сабақтағы іс-әрекетті орындау кезінде берілетін кері байланысқа негізделген. Осылайша, ұсынылған қалыптастырушы бағалаудың құрылымынан жалпы мынадай элементтерді атап көрсетуге болады: білім алушыларды бағалау үдерісіне белсенді қатыстыру, білім алушылардың қабілеттеріне қарай оқытуды бейімдеу, сапалы және сындарлы (конструктивті) кері байланыс беру. Яғни, қалыптастырушы бағалау – көптеген өзара байланыстағы элементтер арқылы оқу мен бағалауды кіріктіруге мүмкіндік беретін мұғалімнің тәжірибесі.

Соңғы уақытта барлық электронды ресурстар мен дидактикалық материалдар кеңінен таңымал. Мұғалімдерге өзіндік жұмысын жеңілдететін, әрі тиімді бағдарламалық кешендерді жасауға көмек болатын жаңа технологиялық шешімдер қажеттігі туындады. Осындай топ шешімдеріне мынадай бағдарламалық қосымшалар мен сервистерді жатқызуға болады:

Репозиторий КарГУ

«Plickers», «Learning.apps», «Kahoot.it», «ZipGrade», «ISpring QuizMaker», «Socrative», яғни осындай бағдарламалар негізінде мұғалімдер барлық оқушылардың білім алу үрдісіне қызығушылықпен, ауыртпалықтарсыз және барынша мұғалім мен білім алушылар уақытының аз жұмсалуы нәтижесінде жетуге болады [2].

«Plickers» – статистикалық жұмыс жасау үрдісін жеңілдететін және сыныптың жауабын лезде бағалап беретін қосымша. Біз жарнамалардағы QR-кодтарды көргенде, ол кодтар нақты бір сайтқа қосымша ақпарат алу үшін сілтеме жасайтынын білеміз. Бірақ, бұл QR-кодтардың жалғыз қолданысы емес. Бұл бағдарламалық қосымша мұғалімнің ұялы телефонын немесе планшетын оқушылардың карточкаларындағы QR-кодтарды оқу үшін пайдаланады. Әр оқушыда жеке карточка болады. Карточканың төрт қабырғасы жауаптың төрт нұсқасын білдіреді, оларды бұру арқылы оқушы дұрыс нұсқасын таңдайды. Алдын ала бағдарламаға сыныптың тізімі ендіріледі, сол арқылы әр оқушының сұраққа қалай жауап бергенін білуге болады. Plickers – бұл оқушылардың білімін тікелей сабақта бағалаудың ыңғайлы бағдарламалық қосымшасы, себебі бүкіл сынып сауалнамасын 1 минут ішінде жүргізуге мүмкіндік береді.

LearningApps.org интерактивті модульдердің көмегімен оқу және оқыту процесін қолдауға арналған Web 2.0 қосымшасы болып табылады. Қолданыстағы модульдер оқу мазмұнына тікелей енгізілуі мүмкін, сондай-ақ оларды өзгертуге немесе жедел режимде құруға болады. Әзірленген интерактивті блоктар жалпыға қолжетімді.

Тіркелген оқытушы жеке тапсырмаларды жасап және сақтай алады. Ресми тіркелмеген пайдаланушылар үшін қол жетімді ресурстар бар. Қолжетімді навигациямен қамтылған және оны пайдалану оңай. Сервис құралдары оқытушыға сапалы электронды көрнекі құралдар, аудио немесе бейнематериалдар дайындауға, сондай-ақ оқушылармен және әріптестерімен қашықтықтан қарым-қатынас жасауға мүмкіндік береді. Тапсырмаларды әр түрлі үлгілерге, сондай-ақ дайын жаттығуларға блогтар мен сайттарға жариялауға болады.

Әрбір мұғалім өзінің кәсіби пән саласындағы нақты міндеттерді шешу үшін қандай да бір модульді қолдана алады:

Сабақтың кез-келген кезеңдері: тақырыпқа кіріспе; тірек білімдерді өзектендіру, жаңа материалды зерделеу, теориялық және практикалық білімді бекіту, білімді меңгеруді тексеру және оларды түзету, рефлексия;

• сабақтан тыс іс-әрекеттегі сабақтардың кез-келген кезеңдері;

• түрлі жарыстар ұйымдастыру;

• Жасалынған жаттығу құрастырылған жобаның өнімі бола алады.

Физикадан жаттығулар жасау үшін, біздің ойымызша, LearningApps.org сервисінің төмендегі үлгілері ыңғайлы [3].

1. Жіктеу. Екі-төрт топ құрылды, олармен әртүрлі элементтерді байланыстыру қажет – бұл физикалық шамалардың атаулары, физикалық шамалардың өлшем бірліктері, формулалар, заңдардың тұжырымдары, мәлімдемелер, мысалдар, сызбалар, графиктер болуы мүмкін. Элементтер бір уақытта пайда болады және олар қай топқа жататындығын көрсету керек.

2. Пазл "Угадай-ка". Ұғымдарды, бекітулерді, формулаларды, мысалдарды тиісті топтар бойынша бөлу қажет. Бір пазлда бірнеше топ тағайындалуы тиіс. Топтар саны бір пазл ұяшығының өлшемін анықтайды. Топтар бойынша дұрыс таратылғаннан кейін сурет, бейне немесе мәтін ашылады.

3. Бөлу. Екі топ құрылады (дұрыс және дұрыс емес Бекіту), мәтіні, формулалары, кестелері немесе суреттері бар кестелер түріндегі элементтер бір-бірден пайда болады және оларды тінтуірмен тиісті топқа сүйреп апару қажет.

4. Викторина. Бір немесе бірнеше дұрыс жауап нұсқаларын таңдау арқылы сұрақтар жасауға болады. Сурет, аудиоматериал және бейнематериалдарды кірістіру мүмкіндігі бар.

Репозиторий КарГУ

5. Бос орындарды толтыру. Ұсынылған мәтіндегі рұқсаттамаларды тиісті сөздермен, фразалармен немесе ашылмалы тізімдегі деректермен толтыру қажет.

6. Кім миллионер болғысы келеді? Танымал телешоу негізіндегі қосымша. Қосымшада күрделілік деңгейі біртіндеп өсетін бірнеше тапсырма бар.

7. Жұпты табу. Осы үлгіні пайдалана отырып, жұп табу қажет жаттығулар жасауға болады: мәтін немесе сурет, бейне немесе аудио.

8. Кроссворд. Жаттығуды жасау кезінде тиісті өрістерге өз сұрақтары мен жауаптарын енгізу қажет, қалғандары көлденең және тігінен сөздерді орналастыра отырып және қиылысу орындарын анықтай отырып, бағдарламаны жасайды. Фондық суретті пайдалануға болады.

Кестеде 7-сынып физика курсы бойынша өздігінен әзірленген интерактивті жаттығулардың мысалдары көрсетілген.

Тапсырманың атауы	Интернет сілтеме Сабақ тапсырмасының орны	Қалыптасатын әмбебап оқу әрекеттер
Пазл «Жаңа күш (Архимед күші)»	https://learningapps.org/display?v=pxd2cnkpc18 Сабақтың тақырыбы: «Сұйықтықтың оған батырылған денеге әсері. Архимед Күші» Тірек білімдерді өзектендіру. Сабақ тақырыбын анықтау. Сабақтың мақсаты мен міндеттерін анықтау	Болжау, Мақсат, Бағалау, Іздеу, Ақпаратты таңдау
Пазл «Физикалық шамалар, аспаптар, физикалық шамаларды өлшеу бірліктері»	https://learningapps.org/display?v=pjxp15cma18 - сабақ тақырыбы «Физика нені оқытады». - 7 сыныпта физика пәнінен қорытынды сабақ - «Физикаға кіріспе» бағдарламасы бойынша сабақтан тыс іс-әрекет бойынша қорытынды сабақ 6 сынып Зерттелген материалды қайталау. Білімді түзету	бағалау Ерікті өзін-өзі реттеу Өз ойларын жеткілікті дәлдікпен жеткізе білу

Осылайша «Learningapps.org» онлайн-сервисімен жұмыс істеу білім алушылардың пәнді үйренуге деген ынтасын арттырады, интерактивті тапсырмалар мен шығармашылық өнімдер құру мүмкіндіктерін жақсартуға көмектеседі. Құрастырылған модульдер интерактивті және әртүрлі деңгейдегі оқушылармен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Білім беру материалдарын визуалды түрде тиімді етіп көрсетеді[4].

Сонымен тиімді қалыптастырушы және жиынтық бағалау білім алушы жетістігінің қойылған оқу мақсаттарына қаншалықты сәйкестігін көруге мүмкіндік береді. Қалыптастырушы және жиынтық бағалау нәтижелерін мұғалім оқу үдерісін жоспарлау, рефлексия оқытудың жеке тәжірибесін жетілдіру үшін қолданады. Сабақ барысында электрондық құралдарды қолдану тәсілдері оқушыларды оқытуға ғана емес, мұғалімдердің шығармашылық әлеуетін арттыруға, өзін-өзі тәрбиелеуге және өзін-өзі жетілдіруге көмектеседі. Сонымен қатар қашықтықтан оқыту ерекшеліктерімен танысып, үйренуге мүмкіндік береді. Көптеген оқушылардың электронды дидактикалық материалды жасауға қызығушылықтары мен қабілеттері артады, және оларды пайдаланудың оқу-әдістемелік кешеніне негізделген материалды таңдауға көп мүмкіншілік береді.

Интерактивті тапсырмаларды пайдалану білім алушыларды сабаққа белсене араласуға, жаңа білім алуға және зерттелетін тақырыпқа қызығушылықты арттыруға себеп болады.

Репозиторий КарГУ

Әдебиеттер:

1. Негізгі және жалпы орта мектеп мұғалімдеріне арналған критериалды бағалау бойынша нұсқаулық. – Астана, 2017: «Назарбаев Зияткерлік мектептері» ДББҰ Педагогикалық шеберлік орталығы.

2. Кохаева Е.Н. Қалыптастырушы бағалау: әдістемелік құрал\ Астана: «Назарбаев Зияткерлік мектебі» ДББҰ, Педагогикалық шеберлік орталығы, 2014ж.

3. Самерханова Э.К., Теселева А.С. Использование онлайн-сервисов для оценивания образовательных результатов обучающихся на уроках информатики в информационно-образовательной среде школы.//Проблемы современного педагогического образования. – 2017. – №57-12. – С.266-274

4. Э.К. Мусенова, Ж. Турсынова, Ж.Сүйінбек, Ж. Есембекова Физиканы оқытуда интерактивті тапсырмалар құруда электрондық құралдарды қолдану // Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университетінің Хабаршысы, №2(56) - Ақтөбе, 2019. – Б. 304-308.

К.З. Жакупова
Магистрант физико-технического факультета КарГУ им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан kulyash.zhakupova.64@mail.ru

Критерии выбора методов и технологии при обучении физике студентов творческих специальностей

Качество современного профессионального образования понимается как мера соответствия образовательного результата запросам государства, общества и личности. В таких условиях возникает необходимость значительных изменений в подходах, содержании, технологиях подготовки будущих специалистов.

В концепции модернизации образования РК указано, что основная цель – подготовка квалифицированных специалистов, конкурентоспособных на рынке труда, компетентных, ответственных, свободно владеющих своей профессией, готовых к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готовых к постоянному профессиональному росту.

Карагандинский гуманитарный колледж готовит специалистов педагогических специальностей.Современный учитель– это личностьс высоким уровнем профессиональных, педагогических, психологических, социальных качеств, со сложившимся позитивным мировоззрением, нацеленная на постоянное саморазвитие и профессиональный рост, обладающая высокими нравственными взглядами и убеждениями. Чтобы отвечать современным требованиям, будущий педагог помимо овладения необходимых основ профессиональных знаний, должен уметь системно мыслить, выявлять и разрешать возникающие противоречия, овладевать навыками многовариантного решения задач.Физика как предмет естественнонаучного цикла обеспечивает приобщение обучающихся к научному стилю мышления, знакомит с общими и специфическими методами познания окружающего мира, проникновение которых в гуманитарную сферу помогает преодолеть разрыв между гуманитарной и естественнонаучно составляющими культуры.

Однако, уже на протяжении нескольких десятилетий, неуклонно наблюдается тенденция понижения интереса учащихся к предметам естественнонаучного цикла, особенно творческих специальностей:например таких, как учитель музыки основной школы, учитель художественного труда,считающих, что в их профессиональной деятельности знания физики не нужны. Результаты анкетирования, проведенного в 2018-2019 учебном году среди 63 студентов отделения «Художественный труд» и 32 студентов отделения «Музыкальное образование» позволили выявить следующие противоречия:

Репозиторий КарГУ

- между образовательным потенциалом физики с профессиональной подготовкой студентов творческих специальностей колледжа и недостаточной разработанностью методического обеспечения, позволяющего реализовать этот потенциал при формировании профессиональных компетенций выпускников;

- между способами вхождения физики в профессиональное обучение и конкретной технологией их реализации при освоении профессиональных модулей в процессе подготовки учащихся.

Таким образом, возникаетпроблема по активизации познавательного интереса студентов выше упомянутых специальностей к обучению физике, интеграции приобретенных знаний физики со знаниями, относящимися сугубо к профессиональной деятельности, чтобы обеспечивалась практическая направленность. Целью исследования является теоретическое обоснование, выбор и реализация эффективных методов и технологии обучения физике студентов творческих специальностей колледжа.

Следует отметить, что познавательный интерес обучающихся может возникнуть лишь при формировании у них представления о том, что физика является элементом общечеловеческой культуры, о связи развития физики с развитием общества. техники и других наук, припонимании(осознании) студентами значения знании по физике в повседневной жизни и в будущей профессиональной деятельности. В Карагандинский гуманитарный колледж поступают молодые люди в возрасте 15-18 лет, имеющие основное среднее образование, но уже выбравшие профессию педагога. Следовательно, обучение физике необходимо строить так, чтобы через преподавание данного предмета формировать и развивать компетенции, которыми должен владеть будущий педагог. В этом и заключается критерий выбора методов и технологии обучения физике будущих учителей, ведь современный учитель-это духовно развитая, творческая личность, владеющая методологическими, общекультурными, предметно-ориентированными компетенциями. Развитие данных профессиональных компетенции возможно только при эффективном применении современных, интерактивных технологии обучения. Китайская мудрость гласит: «Скажи мне-и я забуду, покажи мне-и я запомню, вовлеки меня –и я научусь!».Интерактивное обучение[1 - 5] как нельзя лучше соответствуют этим словам,потому что это - прежде всего диалог, в ходе которого осуществляется взаимодействие не только учителя и ученика, но и учеников между собой, благодаря совместной работе процесс обучения превращается не просто в диалог а в комплексную системную работу,которая так необходима человеку, вступающему в жизнь в современном мире, который нуждается в конкурентоспособных специалистах, умеющих решать нестандартные задачи.

Следовательно, в настоящее время методы и технологии интерактивного обучения являются одними из наиболее перспективных при преподавании естественных наук, в том числе физики. Так, *кооперативная форма обучения,* позволяет преодолеть пассивность отдельных учеников, включив их в учебную деятельность, благодаря чему приносит более высокие учебные результаты по сравнению с традиционными фронтальными формами и методами. Основная цель обучения на данном этапе - посредством совместных практических действий связать прежние коллективные знания, умения и опыт учащихся группы с предстоящим новым знанием. На этапе изучения нового материала: обоснование и теоретическое доказательство тех эмпирических формул и зависимостей, которые группы обнаружили на предыдущем этапе. На этапе применения изученного материала организация в виде группового выполнения системы упражнений и короткого индивидуального теста. Далее идет выполнение группового домашнего задания или проекта. Для повышения интереса к предмету здесь можно использовать задания и творческого характера,учитывая специфику специальности, например, мини проект «Физика и музыка», «Использование оптических иллюзии при конструировании и моделировании одежды», «Физика и живопись»

Репозиторий КарГУ

и т.д. Группа при этом сама определяет порядок работы, распределяет задания между членами группы. Единственное требование - каждый член группы должен знать, как решается задача из домашнего задания, и группа, как правило, собирается для обсуждения решений. Любой член группы имеет возможность понять решение всех задач из домашнего задания, выполненного другими членами группы, задать друг другу вопросы, откорректировать неправильные решения и оформить окончательный вариант задания для сдачи преподавателю на проверку. В процессе проверки групповых домашних заданий можно выборочно приглашать отдельных членов команды для вопросов и комментариев по решениям конкретных задач из домашнего задания. Для повышения ответственности каждого члена группы рекомендуется сочетать групповые домашние задания с индивидуальными. Здесь очевиден уровень ответственности каждого за результаты работы всей группы. Это лишний раз мотивирует учащихся к сознательному выполнению домашних заданий.

Далее используются:

Метод учебного турнира- проводится после изучения нового материала;

Метод командной поддержки индивидуального обучения - учащиеся работают в малых группах под индивидуальными заданиями;

Метод кооперативного взаимообучения -заключается в постоянной взаимопомощи и взаимоподдержке учащихся;

Метод группового исследования -команды, формируются по неформальным признакам, исследуют какой-нибудь вопрос учебной темы с целью подготовки группового доклада и выступления перед всей группой;

Метод «кооп - кооп» - близок к методу группового исследования, но с одним отличием: каждый член команды не просто сдает материал по своей части, но и выступает перед ней с мини-докладом;

Лабораторный метод- группы формируются по случайному признаку;

Поисковый метод -группы формируются для решения какой-либо практически направленной учебной задачи или выполнение прикладного проекта.

Анализ занятий, проведенных с использованием кооперативной формы обучения, показал возрастание познавательного интереса обучающихся к физике, и, соответственно, качества успеваемости. В процессе взаимодействия обучающиеся научились формулировать собственное мнение, правильно выражать свои мысли, строить доказательства своей точки зрения, уметь аргументировать её, слушать другого человека и уважать альтернативное мнение, также моделировать различные ситуации и разрешать их совместными усилиями, учились строить конструктивные отношения в группе, определять свое место в ней, избегать конфликтов, разрешать их, искать компромисс, стремиться к диалогу, анализировать информацию, развивать навыки проектной деятельности, самостоятельной работы, что способствовало формированию ключевых компетенции будущих педагогов.

На сегодняшний день использование интерактивных форм и методов обучения является содержанием обучения нового направления, вектор которого ориентирует будущего специалиста, будущего педагога на саморазвитие, самосовершенствование и самореализацию своих знаний и навыков. Качество подготовки будущих учителей музыки, художественный труд напрямую зависит от использования инновационных технологий, позволяющих активизировать учебный процесс и познавательную деятельность студента.

Литературы:

1. Абдулов Р. М. Использование современных интерактивных средств обучения при развитии исследовательских умений учащихся в обучении физике // Педагогическое образование в России. – 2012. – № 5. – С. 180 –184.

Репозиторий КарГУ

2. Алексеева, Л. Н. Инновационные технологии как ресурс эксперимента // Учитель. – 2014. – № 3. – С. 78 – 80.

3. Кашлев С.С. Интерактивные методы обучения. – М.: ТетраСистемс , 2013. – 224 с.

4. Мастропас З.П., Синдеев Ю.Г.. Физика. Методика и практика преподавания. Ростов-на-Дону.: Феникс, 2012, – 288 с.

5. Мансуров А.Н., Мансуров Н.А. Физика 10-11 для школ с гуманитарным профилем обучения: книга для учителя. М.: Просвещение, 2000. – 160с.

Л.Ф.Ильина, А.С.Каюмова.
Карагандинский Государственный Университет им. Е.А.Букетова, г.Караганда, Казахстан, aneka.08@mail.ru.

Об организации научно- методической работы студентов- физиков в плане их подготовки к профессиональной деятельности в современных условиях

В целях максимальной индивидуализации образовательной траектории учащихся, учета их склонностей и способностей особое значение приобретает организация обучения в профильных классах.

Для реализации среднего общего образования в классах с физико- математическим уклоном необходимо, как минимум,2 условия: соответствующая учебно- методическая литература и преподаватели, способные это обучение организовать.

На кафедре физики и нанотехнологий физико- технического факультета Карагандинского государственного университета им.акад.Е.А.Букетова накоплен соответсвующий опыт для решения поставленных задач.

Во- первых, в течение многих лет выполняется НИР (научно- исследовательская работа): «Дидактические принципы и сравнительный анализ методики преподавания физики в вузе и школе», координированная АПН Казахстана.

Во-вторых, систематически работает Научно- методический семинар кафедры, направление работы которого планируется на каждый учебный год.

В- третьих, ведутся соответствующие спецкурсы.

В-четвертых, преподаватели кафедры в течение многих лет работали и работают (по совместительству) учителями физики в физико- математических классах школ г.Караганды.

В-пятых, выполняются магистерские диссертации и дипломные работы по применению современных образовательных, в частности, интерактивных технологий при изучении конкретных разделов физики как в вузовском, так и в школьном курсах. Результаты оформляются актами внедрения.

В-шестых, по вопросам методики преподавания физики представляются доклады на конференции разных уровней: университетские, региональные, республиканские, международные и публикуются статьи.

Речь идет о нетрадиционных разделах физики, таких, как неинерциальные системы отсчета, силы инерции; статика; динамика твердого тела, в то время как классическая механика- это механика материальной точки и инерциальных систем отсчета.Используются своеобразные подходы в механике жидкостей и газов. Детально анализируются механические колебания и волны.

Известно, что молекулярная физика состоит из двух основных частей: молекулярно-кинетическая теория и термодинамика. При классических, т.е. общепринятых подходах, не учитывается тот факт, что любая система, в том числе и идеальный газ- это статистическая система, в основе изучения которой необходимо введение математической вероятности

Репозиторий КарГУ

случайного события, теорем о вероятностях, эргодической гипотезы, формул элементарной комбинаторики; распределений- гауссовского, максвелловского, больцмановского.

В термодинамике достаточно традиционно излагаются вопросы, связанные с I началом, но упор делается, например, на удельные теплоемкости, хотя гораздо удобнее вводить молярные, базирующиеся на теореме о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекул. Что ж касается II начала термодинамики и его приложений; введения таких понятий, как энтропия, то на школьном уровне, т.е. доступно, изложить этот материал весьма непросто.

Без изучения молекуярно- кинетических свойств жидкостей, молекулярная физика не может быть полноценной частью общего курса физики, а переход от идеальных газов к жидкостям не возможен без рассмотрения газов реальных.

Классическая последовательность изучения раздела «Электричество и магнетизм» такова: понятие об электростатическом поле, его напряженность, потенциал; законы постоянного тока; понятие о магнитном поле, величины и законы, его характеризующие, причем вводится, только вектор магнитной индукции; сила Ампера и, как следствие из нее, сила Лоренца; электромагнитная индукция. Элементы теории Максвелла практически отсутсвуют. Мы рассматриваем не только теорему Остроградского- Гаусса, но и следствия из нее, без чего невозможен переход от поля точечного заряда к полю плоского конденсатора. Вводим две характеристики магнитного поля: его напряженность и вектор магнитной индукции, причем независимо друг от друга. Вводим теорему о магнитодвижущей силе; сначала силу Лоренца, а на ее основе силу Ампера, так как сила Лоренца- первична. Предлагаем изучение теории Максвелла с использованием минимального математического аппарата.

Что же касается оптики, то классические ее разделы, особенно интерференция и дифракция,рассматриваются более глубоко, чем принято при реализации базового образования. Так в разделе: «Интерференция света» приводится расчет интерференционной картины от двух когерентных источников, ход лучей, в тонких пленках, а в разделе: «Дифракция света» вводится принцип Гюйгенса Френеля с методом зон Френеля, что дает возможность проанализировать дифракционную картину на телах простой геометрической формы [2].

Достаточно подробно рассматриваются основы специальной теории относительности (СТО).

Даются преобразования координат, закон сложения скоростей, механический принцип относительности Галилея. Анализируются экспериментальные основания СТО: аберрация света, опыт Физо, опыт Майкельсона. Формулируются постулаты СТО, из которых следует относительность времени. Выводятся преобразования координат и закон сложения скоростей СТО. Приводятся основные кинематические и динамичесие следствия из них.

Изучение нетрадиционных разделов физики в средней школе (на примере молекулярной физики) рассмотрено в работе [3]; методика разработки электронного учебно- методического пособия по электричеству и магнетизму для средней школы в работе [4]; использование интерактивных технологий при изучении молекулярно- кинетических свойств жидкостей в школе и в вузе- в работе [5].

Научные основы элементарного курса физики на примере электростатики проанализированы в [6]; на примере раздела «Законы сохранения в механике»- в [7]; на примере раздела: «Механические колебания и волны»- в [8].

В течение последних 3-х лет особое внимание было уделено модернизации физпрактикума, особенно по молекулярной физике. Ведь курс молекулярной физики- это не только уравнение состояния идеального газа (с определением универсальной газовой постоянной) и основное уравнение МКТ (с определением постоянной Больцмана). Это- основы статистической теории идеальных газов: максвелловское распределение молекул по

Репозиторий КарГУ

скоростям, больцмановское распределение молекул в поле тяготения Земли, изучение законов движения броуновских частиц.

Такие лабораторные работы могут быть только виртуальными.

Известно, что максвелловское распределение получило экспериментальное подтверждение через несколько десятилетий после создания соответствующей теории. Речь идет об опытах Штерна. Виртуальная лабораторная работа по максвелловскому распределению отработана и включена в физпрактикум [9].

На опытах Перрена основана виртуальная лабораторная работа, посвященная изучению распределения броуновских частиц в поле сил тяжести Земли[9].Одним из экспериментальных оснований и экспериментальных подтверждений основ МКТ является броуновское движение. Поэтому особый интерес представляла виртуальная лабораторная работа по определению и анализу средней длины свободного пробега броуновских частицот их концентрации при постоянном диаметре и от диаметра- при постоянной концентрации [9].

Эта работа велась несколько лет; в ней непосредственное участие принимали студенты, дипломники, магистранты [9].

Последние данные включены в статью [10]; она находится в печати.

Кроме того, ведется работа над созданием физпрактикума по молекулярной физике.

В настоящее время проводится планомерная работа студентов старших курсов в качествепреподавателей- дублеров на младших курсах по организации и проведению физпрактикума по механике, молекулярной физике, электричеству и магнетизму, причем со студентами всех специальностей физико- технического факультета. С нашей точки зрения, она особенно актуальна для студентов, которые всю общую физику изучают в одном семестре.

Литературы:

1. Ильина Л.Ф., Бадаева Л.С. Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика. Учебно-методическое пособие. Караганда, 2014.

2. Ильина Л.Ф., Куралбаева Ж.Ш. Физика. Часть 2. Электричество и магнетизм. Оптика. Учебно- методическое пособие. Караганда, 2014.

3. Ильина Л.Ф., Бадаева Л.С. Изучение нетрадиционных разделов физики в средней школе (на примере молекулярной физики). Вестник КарГУ. №2(78)/2015. С. «Физика», Караганда, 2015. С.79-85.

4. Ильина Л.Ф., Куралбаева Ж.Ш. Методика разработки учебно- методического пособия по электричеству и магнетизму для средней школы. Вестник КарГУ №2(78)/2015. Серия «Физика». Караганда, 2015

5. Бадаева Л.С., Ильина Л.Ф., Темирханова Т.М. Использование интерактивных технологий при изучении молекулярно-кинетических свойств жидкостей в школе и в вузе. Вестник КарГУ, №3, 2015г. Серия «Физика». Караганда. 8с.

6. Ilina L.F., Ishmukhametova A.B., Scientific bases of elementary physics course as an example of electrostatics. ВестникКарГУ,№4, 2016, Серия «Физика».Караганда. С. 68-74.

7. Kovel T.S., Ilina L.F. Scientific bases of elementary physics course on the example of the part «Conservation laws in mechanics». ВестникКарГУ,№1, 2017, Серия «Физика».Караганда. С. 89-96.

8. Ilina L.F., Kharisova A.A. Designing of the multimedia presentations on the example of the section: «Mechanical oscillations and waves» and their use in high school, and school courses of physics. ВестникКарГУ,№2, 2017, Серия «Физика». Караганда. С. 69-76.

9. ZhangbyrbayYe.R., Ilina L.F. The system of organization of the IWS and IWST studies by the example of «Transport phenomena». ВестникКарГУ,№3, 2018, Серия «Физика». Караганда. С. 93-102

10. Ильина Л.Ф., Каюмова А.С., Жанбырбай Е.Р., Болатбекова М.М. К модернизации физпрактикума по молекулярной физике в вузовском курсе. Вестник КарГУ,№3, 2019, Серия «Физика». Караганда. В печати

Репозиторий КарГУ

Костангельдинова А.А., Анохина Т.В.
Кокшетауский государственный университет им.Ш.Уалиханова

Влияние информационного обучения на развитие творческого потенциала обучающихся

Одним из основных приоритетов современной образовательной политики является формирование личности, адаптированного к жизни в информационном обществе. Главной задачей педагога является – формирование у обучающихся умения приспосабливаться к жизни в быстро меняющихся условиях, используя систему методов, процессов и программно-технических средств, интегрированных с целью сбора, обработки, хранения, распространения и использования информации.

Использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в образовательном процессе изучалось многими учеными. Систему подготовки педагога к использованию ИКТ рассматривали М.И.Жалдак [1], Н.В.Морзе [2]; в работах Г.В.Шугайла информатизация и компьютеризация образовательного процесса выступили предметом исследования; психологические условия компьютерного обучения изучались в работах Ю.И.Машбици, Н.В.Тализина; вопросы, связанные с зарубежным опытом информатизации затрагивались в работах И.И.Капустяна, М.П.Лещенко, О.В.Овчарук.

Использование ИКТ в современном образовательном пространстве – закономерное явление. И его внедрение создает предпосылки для интенсификации образовательного процесса. ИКТ не только позволяют широко использовать на практике психолого-педагогические разработки, обеспечивающие переход от механического усвоения знаний к овладению умением самостоятельно приобретать новые знания, но и способствуют раскрытию, сохранению и развитию личностных качеств обучающихся. Но эффективность его использования в обучении зависит от четкого представления места, которое они должны занять в сложном комплексе взаимосвязей, возникающих в системе взаимодействия «педагог – обучающийся».

Практический педагог в своей ежедневной практике должен соблюдать методическую направленность в обучении: не только «чему учить?», «зачем учить?», «как учить?», но и «как учить результативно?». Педагогическая технология будет оптимальной, если ее использование:

– влияет на достижение каждым обучаемым уровня обученности, развития и воспитания в зоне ближайшего развития;

– не увеличивает научно обусловленных временных затрат педагога и обучающегося, дает результаты за определенный интервал, обозначенный стандартом образования.

Специфика педагогической технологии определяет особенности построения педагогического процесса, который должен гарантировать достижение поставленной цели. В основе педагогической технологии лежит структуризация процесса взаимодействий педагога и обучающегося на каждом занятии в урочной и внеурочной системе обучения.

В педагогической деятельности все большее значение приобретает педагогическая инноватика, направленная на улучшение развития, воспитания и обучения школьников.

В основу классификации инноваций следует положить следующие общие критерии: первый связан со сферой, в которой происходит инновация; второй – способ возникновения новаторского процесса; третий – широта и глубина новаторских методов; а четвертый – основа, на которой определяется и возникает новизна.

Компьютерное обучение оказывает заметное влияние на содержание образования, на взаимодействие основных участников учебно-воспитательного процесса – педагога и обучающегося, на цель и задачи современного образования. При этом не должно быть

Репозиторий КарГУ

ошибки, поскольку сам компьютер диктует методы и содержание обучения и обеспечивает полноценную организацию учебной деятельности обучающихся.

Практика развития творческого потенциала обучающихся основывается на разработке и реализации специальных компьютерных программ и учебных материалов. На занятии нужно работать со специальными программами обучения для одаренных обучающихся, чтобы научить их творчески мыслить, умению общаться, способствовать формированию лидерских и других личностных качеств, которые помогут в будущем социализации личности.

Идея использовать компьютеры в обучении школьников принадлежит профессору С.Пейперту (р. 1928). С.Пейперт, работая с Ж.Пиаже, в 60-е годы прошлого века пришел к выводу, что ребенок развивается, если имеет условия для творческой деятельности в соответствующей среде [3].

Ребенок, будучи от природы весьма одаренным и творческим учеником по теории Ж.Пиаже о когнитивном развитии может постепенно терять «вкус» к обучению и одна из причин формирования у ребенка боязни и нежелание учиться [4]. С.Пейперт усматривает в принятом в современном ему обществе разделении всех людей на способных и не способных к обучению, на приверженцев точных наук и «гуманитариев» и он убежден, что дело не в способностях, а в организации процесса обучения [3].

С.Пейпертом предложена концепция школы будущего, начальными моментами которой являются природное любопытство детей и средства для удовлетворения этого любопытства. С.Пейперт не пытается переложить на компьютер функции педагога или учебника. Основная идея – это микромиры, некоторые модели реального мира, которые с той или иной степенью детализации творит сам ребенок [3].

ИКТ меняют методы и приемы проведения занятий, создают другое качественное состояние учебного процесса. Обучение с помощью компьютера изменяет функции педагога, а также соотношение между прямыми и непрямыми воздействиями на обучающихся.

В деятельности педагога возникает зависимость от состояния, возможностей безупречного функционирования оборудования для ИКТ. Установление связей путей функционирования основных звеньев в системе компьютерного обучения позволяет педагогам и психологам четко определить круг задач, решаемых с помощью компьютера в учебном процессе, и сформулировать конкретные требования к этой технике. Применение компьютеров требует обоснования, исходя из задач системы управляемого обучения. Компьютеры, как средство обучения, накладывают отпечаток на интеллектуальную деятельность педагогов и обучающихся, влияют на их эмоциональное состояние, меняют психологическую нагрузку, характер самостоятельной и аудиторной учебной работы. Учебный процесс при этом, с одной стороны, упрощается, но с другой – в определенной степени усложняется. Учебный процесс по своей природе связан с непрерывным моделированием. Например, в составе ИКТ выделяют четыре компонента: модель знаний, модель обучающегося, дидактическую интерактивную систему, систему контроля. Методы реализации этих моделей усложняются, поскольку вычислительная сложность задач, решаемых с помощью ИКТ, заставляет применять стохастические методы, эвристику и нечеткую логику, случайные алгоритмы на основе нейронных сетей и генетических подходов [5].

Развитие компьютерного обучения связано с решением многих проблем: дидактических, технических, психологических, организационных. В первую очередь, они связаны с разработкой дидактических основ, включающих структуризацию системы знаний, новые принципы организации процесса обучения, эффективные способы диалогового взаимодействия, выбор новых критериев качества учебного процесса, выделение главных факторов его интенсификации, определение принципов проведения компьютерных экспериментов с моделями изучаемых явлений, процессов формирования учебных базовых понятий и ассоциаций с применением баз данных и других способов предъявления учебной

Репозиторий КарГУ

информации и т.д. При этом педагоги обращают внимание на то, что при использовании новых технологий в обучении нельзя потерять коллективный, а иногда и соревновательный характер обучения. Это означает, что, индивидуально работая на компьютере, обучающийся должен иметь возможность сравнивать свои достижения с достижениями других.

Для успешной реализации концепции информатизации образования, в частности системы общего среднего образования, необходимо обеспечение учебных заведений вместе с аппаратными средствами также и педагогическими программными средствами, разработанными в соответствии с действующими программами изучения учебных предметов в общеобразовательных учебных заведениях [3].

Таким образом, современные педагогические технологии в сочетании с современными информационными технологиями могут существенно повысить эффективность образовательного процесса, решить стоящие перед образовательным учреждением задачи воспитания и формирования личности, способной к самообразованию и адаптации в информационном обществе.

Литературы:

1. Жалдак М.И. Использование компьютера в учебном процессе должно быть педагогически взвешенным и целесообразным /М.И.Жалдак // Компьютер в школе семье. – 2011. – № 3. – С. 3-12.

2. Морзе Н.В. Концепция обучения обучающихся общеобразовательных учебных заведений /Н.Морзе, Г.Проценко // Информатика и информационные технологии в учебных заведениях. – 2012. – № 1. – С. 8-23.

3. Пейперт С. Переворот в сознании: дети, компьютеры, плодотворные идеи / С. Пейперт. – М.: Педагогика, 1989. – 224 с.

4. Пиаже Ж. Речь и мышление ребенка / Ж. Пиаже. – СПб.: Союз, 1997. – 226 с.

5. Хован И.В. Научно-образовательные сети в Интернете как образовательная среда для одаренных детей и подростков / И.В.Хован, Т.А.Яншина // Инновационные подходы к диагностике одаренности: мировой опыт: материалы междунар. конгресса (г. Киев, 19–20 июня 2013 г.).

6. Раков С.А. Формирование математических компетенций педагога математики на основе исследовательского подхода в обучении с использованием информационных- технологий: автореф. дис. ... докт. пед. наук / С.А. Раков. – Харьков: ХНПУ, 2005. – 44 с.

7.Триус Ю.В. Компьютерно-ориентированные методические системы обучения: монография / Ю.В. Триус. – Черкассы: Ворота – Украина, 2005. – 400 с.

8. Базурин В.М. Выбор программных средств для создания моделей физических процессов и явлений / В.Н. Базурин. – Кривой Рог: Изд. отдел НМет А,У 2011. – Вып. IIX. – С. 225-230 .

9. Быков В.Ю. Информатизация региональной системы образования: общее описание и основные компоненты реализации / В.Ю.Быков, Н.Нарядная, В.М.Саух // Компьютер в школе и семье. – 2006. – № 3. – С. 3-6.

Ж.Т.[1]Камбарова, С.Е.[1]Сакипова, Қ.Б.[2]Копбалина, П.А.[1]Жанбирбаева
[1]Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан, [2]Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,kambarova@bk.ru

Физика сабақтарында құзыреттілікті-бағдарланған әдіс-тәсілді қолдану ерекшеліктері

Кіріспе. Заманауи қоғамда білім беру адам тұлғасының дамуына бағытталуы тиіс. Қазіргі уақытта тұлғаның жан-жақты дамуы үшін жағдайларды құру мәселесі кез келген сатыдағы білім беру процесінің басты мақсаты болып табылады. Қазіргі заманғы сатыда білім берудің негізгі есебі білім берудің жоғары сапасына жету және тұлғаның, қоғам мен мемлекеттің сұраныстарына сәйкес келуі болып табылады. Тұлғаның дамуы потенциалы

Репозиторий КарГУ

шығармашылық ой, бастамашылдық, өз бетімен жұмыс істеу қабілеттігінің дамуына негізделген қажетті негіз болып табылады.

Физиканы оқытудағы іс-әрекеттілік түрлерінің бірі- есептерді шығару болып табылады. Оқу үрдісіндеесептер физика бойынша білімдерді игеруде, кеңейтуде, тереңдетуде, жүйелеу және жалпылаудамаңызды рөл атқарады. Олардың негізіндебілім алушыларда пәнаралық білімдер қалыптасады, білімдерді күрделенген жағдайларда қолдануға шығармашылық қызығушылық дамиды, өздік жұмыстың практикалық дағдылары меңгеріледі, логикалық және шығармашылық ойлау дамиды [1]. Оқушылардың білімалған жетістіктерін бағалау бойынша халықаралық бағдарлама PISA (Programme for International Student Assessment) – экономикалық ынтымақтастық және дамуұйымымен іскеасырылатын массалық тестілеудің ауқымды жобасы. Ол сауаттылықтың алуан түрлерін (оқу, математикалық, жаратылыстану-ғылыми, компьютерлік) бағалауға көзделген [2].

Физикадағы құзыреттілікті-бағдарланған есептердің ерекшеліктері. Кілттік құзыреттіліктерді қалыптастырудың PISA форматында физика бойынша құзыреттілікті-бағдарланған тапсырмаларды құрастыру үшін негізгі бағдар болып табылады. Өзінің мазмұны бойынша олар екі аспекттен құрылады: оқу және ғылыми-зерттеушілік. Өкінішке орай, оқулықтаржәне дидактикалық құралдарда мұндай есептер тымаз. Сондықтан оқытушалар үшін жалғыз ғана амал – өз бетінше құзыреттілікті-бағдарланған есептерді құрастыру болып табылады.

Құзыреттілікті-бағдарланған есептерді құрастыру еңбекті көп қажет етеді. Сондықтан білім алушылардың құзыреттілікті-бағдарланған есептерді шығаруға оқыту және оларды физика бойынша оқу процесінде қолдану әдістемесін өңдеу қажет.

Құзыреттілікті-бағдарланған есептерді шығару кезінде әр түрлі әдістерді, ойлауды және интуицияны қажет ететін әр түрлі жағдайларда білім алушылардың физикадан білімдерін қолдану қабілеттерін қалыптастыруға көп назараударылуы қажет. Тапсырмалардың мазмұны әдеттегідей физика бойынша оқыту бағдарламасының негізін құрайтын дәстүрлі бөлімдер мен (Механика, Молекулалық физика және термодинамика, Электр және магнетизм, Оптика, Атом және ядро физикасы) немесе тақырыптармен байланысты болуы тиіс.

PISA форматында құзыреттілікті-бағдарланған тапсырмаларды құрастыру кезінде құзыреттілікті-бағдарланған есептердің ерекшеліктерін ескерген жөн.

Құзыреттілікті-бағдарланған есептердің ерекшеліктері мынада: тапсырмалар-сұрақтардың тізбекті тұжырымдау және нақты есепті шешу үшін қажетті ақпараттың қосымша мөлшерін бір уақытта берілуі. Сұрақтардың әрқайсысы анықталған функциясын орындайды.

– Бірінші сұрақта қосымша ақпарат беріледі.

– Екінші сұрақта «сұрақ» пен «ақпарат» арасында сәйкессіздік, яғни «ақпараттық шулар» пайда болады.

– Үшінші сұрақта тағы қосымша ақпарат беріліп, бір түр мәтінінен екіншісіне өту жобаланады. Бұл сатыда қойылған сұраққа толық жауап берілуі мүмкін.

Келесі сұрақ өмірдегі есептерді (мәселелерді) шешу үшін білім алушылардың ғылыми – практикалық білімдерін қолдану мақсатымен тұжырымдалады. Соңғы сатыда келесі сұрақ тұжырымдалады: есепте нақты ақпаратты тауып, оны салыстыра отырып, ұсыныс түрінде жауап беру керек. Жауап еркін формада берілуі мүмкін. Сұрақ заттық түрде емес, ал алған нәтижені бағалау мақсатында тұжырымдалады.

Кейде бұл сұрақтар өзара байланысқан және оны тізбектей орындау процесінде білім алушылар заңдылықтарды байқап, кейбір жалпылауға келу керек. Кейде сұрақтар тәуелсіз болуы мүмкін, және келесі сұраққа жауап алдыңдағы сұраққа жауаптың дұрыстығымен шартталмауы мүмкін.

Репозиторий КарГУ

Бір тапсырмада әр түрлі типті сұрақтар ұсынылуы мүмкін: алғашқыда жауапты таңдауымен сұрақ-тапсырмалар, қысқаша жауаппен немесе қарапайым шешім, ал соңында толық жауаппен сұрақтар беріледі.

PISA форматында құзыреттілікті-бағдарланған тапсырмалар білім алушыларда келесілерді қалыптастыруға мүмкіндік береді:

- қойылған сұраққа толық жауапты беру, еркін формада жауапты беруіскерліктері;
- бір түрмәтіннен басқа түрмәтініне өтуіскерлігі;
- қосымша ақпаратты қарастыру іскерлігі;
- өмірлік есептерді (мәселелерді) шешуде ғылыми-практикалық білімдерді қолдануіскерлігі.

PISA тесттерге ұқсастық бойынша құзыреттілікті-бағдарланған тапсырмаларды құрастыру үшін оларды үш деңгейге жіктейді: жаңғырту деңгейі, байланыстарды орнату деңгейі, пайымдау деңгей. Деңгейлерді бөлу білім алушылардың жалпы дайындық деңгейлеріне негізделген.

Бірінші деңгей (жаңғырту деңгейі) физикалық құбылыстардың, заңдардың, әдістерді жаңғыртуынан және күрделі емес есептеулердің орындалуынан құрылады. Білім алушылар стандартты, анық тұжырымдалған жағдайларда базалық білімдерді қолдана алады. Олар қарапайым мәтіндік есептерді шығара алады, физикалық шамалары арасындағы тәуелділіктерді түсіне алады, белгілеулердің стандартты жүйесін қолдана алады, кестелермен графиктердегі мәліметтерді оқып түсіндіре алады.

Екінші деңгей (байланыстарды орнату деңгейі) берілген есепті шығару үшін қажетті ететін әр түрлі тақырыптардан материалдардың байланысын және интеграциясын орнатуынан құрылады. Білім алушылар әр түрлі, жеткілікті күрделі жағдайларда өздерінің білімдерін қолдана алады. Олар есептеулерді реттеп, салыстыраалады, есептеулер жүргізе алады, белгілі формулаларды қолдана отырып, базалық мәтіндік есептерді шеше алады.

Үшінші деңгей (пайымдау деңгейі) – жалпылаумен интуицияны қажет ететін ойлар. Білім алушылар ақпаратты құрастырып, жалпылай алады, стандартты емес мәселелерді шеше алады, бастапқы мәліметтер негізінде қорытындылар жасап, оларды негіздей алады. Олар физикалық заңдармен теориялар туралы білімдерді қолдана алады, күрделі емес ситуацияның физикалық моделін құрастыра алады. Олар әр түрлі кестелермен графиктердегі мәліметтерді түсіндіре алады.

1 кесте - Құзыреттілікті-бағдарланған тапсырмалардың құрылымы

1. Танысу	2. Түсіну	3. Қолдану
1.1…… негізгі бөліктерін атаңыздар	2.1. ... себебін түсіндіріңіздер	3.1. ... туралы ақпаратты графикалық түрдесуреттеңіздер
1.2. … барлығын бірге топтастырыңыздар	2.2. ... үшін қажетті қадамдардың жалпы сипаттарын суреттеңіздер	3.2. ... мүмкіндік беретін тәсілге ұсыныс беріңіз
1.3. ... қатысты түсініктер тізімін құрыңыздар	2.3. Сіздердің ойларынша ... арасында байланыстарды көрсетіңіздер	3.3. .... көрсететін суреттің (сұлбаның) нұсқасын жасаңыздар
1.4. …анықталған реттілікпен орналастырыңыздар	2.4. ... даму болжамын құрыңыздар	3.4. ... мен ... салыстырыңыздар, кейін … дәлелдеңіздер
1.5. …мәтін формасындамазмұндаңыздар	2.5. ... жағдайға түсінік беріңіздер	3.5. ... дәлелдейтін эксперимент жүргізіңіздер
4. Талдау	5. Жинақтау	6. Бағалау

Репозиторий КарГУ

4.1. ... ерекшеліктерін атаңыздар	5.1. Басқа нұсқаға ұсыныс жасаңыздар	6.1. ... саралау жүргізіңіз және … дәлелдеңіздер
4.2. ... тұрғыдан құрылымды талдаңыздар	5.2. ... мүмкіндік беретін жоспар құрыңыздар	6.2. ... үшін тиімді шешімдіанықтаңыздар
4.3. ... тұрғыдан ... сипаттайтын .... негізгі қасиеттер тізімін құрыңыздар	5.3. ... мүмкіндік беретін өзгеше тәсілдіанықтаңыздар	6.3. ... үшін ... маңызын бағалаңыздар
4.4. ... негізінде ... жіктеу құрыңыздар	5.4. ... ойын ойлап табыңыздар	6.4. ... бағалаудың мүмкін болатын критерийлерін анықтаңыздар
4.5. Мәтінде (модельде, сұлбада және т.б.) ... табыңыздар	5.5. .... өз жіктеуге ұсыныс жасаңыздар	6.5. ... сыни пікірлердіатаңыздар

Үшінші деңгейлі тапсырмаларда білім алушылар өз бетімен ситуациядағы мәселені анықтап, оған сәйкесті физикалық модельді құрастырып, оны пәндік білімдер құралымен шеше алады. Физикалық пайымдаумен жалпылауды қолдана отырып, қойылған есепті шеше алады, тапсырмада қарастырылған ситуация ерекшеліктерін ескеруімен шешімді түсіндіреді.

1 кестені қолдана отырып, кешенді есептерді оңай құрастыруға болады. Кестенің алты бағасынан бір тапсырманы таңдай отырып, танысу, түсіну, алған білімдерді қолдану, оларды талдау, синтездеу және бағалау сұрақтарынан құрылатын дидактикалық толтырылуының толықтылығы қамсыздалады [3].

PISA форматында құзыреттілікті-бағдарланған тапсырмаларды құрастырған кезде білім алушыларда келесі құзыреттіліктер қалыптастырылады [4,5]:

1. Жоғары пәндік құзыреттілік. Ол жалпы оқу іскерліктер мен дағдылармен ұқсас (оқи алу, жаза алу және есептеу алу іскерліктері, барлық операциялармен талдау мен синтез).

2. Пәндік құзыреттілік. Ол зерттелінетін пәнмен байланысты.

3. Коммуникативті жазба құзыреттілік. Бұл мәтінмен диалог.

Қорытынды. Негізгі бағдарламалық материалдың меңгерілуімен және оқушылардың өз бетімен орындауы үшін тапсырмалардың қол жетімділігімен және алуан түрлі тапсырмалардың орындалуымен қамсызданады (құбылыстың физикалық мәнін түсіну, салыстыру мен талдау іскерлігі, логикалық ой қорытынды жасау).

Құзыреттілікті-бағдарланған тапсырмалар жиі сабақ барысында үй тапсырма ретінде қолданылады. Сонымен, физиканы оқытуда құзыреттілікті-бағдарланған әдіс-тәсілді қолдану ерекшеліктері қарастырылды.

Әдебиеттер:

1. Михасенок Н.И., Пыхтина А.С. Реализация компетентностного подхода через задачи по физике. // Развитие мышления в процессе обучения физике. - 2014. - № 1. - С. 71-74.

2. http://postnauka.ru/longreads/53548

3. Иващенко О.Н. Пути реализации компетентностного подхода при проектировании урока физики. // Наука и современность. - 2013. - № 22. - С. 148-153.

4. http://festival.1september.ru/articles/564046/

5. Камбарова Ж.Т. Күрделілігі жоғары есептерді шығару әдістемесі. Молекулалық физика және термодинамика: Оқу құралы. – Қарағанды: ҚарМУ баспасы, 2019. - 153 б.

Репозиторий КарГУ

М.Р. Кушербаева
Абай атындағы ҚазҰПУ,докторант

Қазіргі заман талабына сай жаңартылған білім беру жүйесі

Білім беру жүйесі- сабақтастығы бар білім беру бағдарламалары мен әр түрлі деңгей мен бағыттағы мемлекеттік білім беру стандарттары жүйесінің, оларды әртүрлі ұйымдастыру құқықтық формадағы, типтегі және түрдегі білім беру мекемелерінде іске асырушы тармақтардың, сонымен бірге білім беруді басқару органдары жүйесінің жиыны.Білім беру жүйесі қоғамның әлеуметтік- экономикалық дамуында жетекші роль атқарады, сондай-ақ оны әрі қарай айқындай түседі. Ал білімнің қалыптасып, дамуының жалпы шарттары философияның негізгі мәселесі-рухтың материяға, сананың болмысқа қатынасы тұрғысынан зерттелетін ілім-таным теориясы деп аталады. Таным теориясының басқа ғылыми теориялардан түбірлі айырмашылығы -ол білімнің қалыптасуы мен негізделуінің жалпы ұстанымдарын, объективтік қатынастарды қалыптастырады.Орыс педагогы К.Д.Ушинский айтқандай, қазіргі заман талабына сай, әр мұғалім, өз білімін жетілдіріп, ескі бірсарынды сабақтардан гөрі, жаңа талапқа сай инновациялық технологияларды өз сабақтарында күнделікті пайдаланса, сабақ тартымды да, мәнді, қонымды, тиімді болары сөзсіз. Бұл жөнінде Қазақстан Республикасы «Білім туралы» Заңының 8-бабында «Білім беру жүйесінің басты міндеттерінің бірі-оқытудың жаңа технологияларын енгізу, білім беруді ақпараттандыру, халықаралық ғаламдық коммуникациялық желілерге шығу» деп атап көрсеткен.[1] Елбасымыз Н.Ә. Назарбаев жолдауында айқандай: «Болашақта өркениетті дамыған елдердің қатарына ену үшін заман талабына сай білім қажет. Қазақстанды дамыған 50 елдің қатарына жеткізетін, терезесін тең ететін-білім». [2] Сондықтан, қазіргі даму кезеңі білім беру жүйесінің алдында *оқыту үрдісінің жаңашаландыру* мәселесін қойып отыр. Оқытудың әртүрлі технологиялары сарапталып, жаңашыл педагогтардың іс -тәжірибесі зерттеліп, мектеп өміріне енуде.

Қазіргі білім беру жүйесінің мақсаты - бәсекеге қабілетті маман дайындау. Мектеп-үйрететін орта, оның жүрегі - мұғалім. Ізденімпаз мұғалімнің шығармашылығындағы ерекше тұс - оның сабақты түрлендіріп, тұлғаның жүрегіне жол таба білуі. Ұстаз атана білу, оны қадір тұту, қастерлеу, арындай таза ұстау - әр мұғалімнің борышы. Ол өз кәсібін, өз пәнін , барлық шәкіртін , мектебін шексіз сүйетін адам.Өзгермелі қоғамдағы*жаңа формация физика мұғалімі-педагогикалық құралдардың барлығын меңгеріп, өз пәнін жетік білетін, үнемі өзін-өзі жетілдіруге талпынған, рухани дамыған, толысқан шығармашыл тұлға құзыреті.*

Қазіргі нарық жағдайындағыжаңа формация физикамұғаліміне қойылатын талаптар мынадай: бәсекеге қабілеттілігі, білім беру сапасының жоғары болуы, кәсіби шеберлігі, әдістемелік жұмыстағы шеберлігі.Осы айтылғандарды жинақтай келіп, *жаңа формация физика мұғалімі- рефлекцияға қабілетті, өзін-өзі жүзеге асыруға талпынған әдіснамалық, зерттеушілік, дидактикалық-әдістемелік, әлеуметтік тұлғалы,коммуникативтілік, ақпараттық және тағы басқа құзыреттіліктердің жоғары деңгейімен сипатталатын рухани-адамгершілікті, азаматтық жауапты, белсенді, сауатты, шығармашыл тұлға болып табылады.*Дәстүрлі білім беру жүйесінде білікті мамандар даярлаушы кәсіби білім беретін оқу орындарының басты мақсаты-мамандықтарды игерту ғана болса, ал қазір әлемдік білім кеңістігіне ене отырып, бәсекеге қабілетті тұлға дайындау үшін адамның құзырлылық қабілетіне сүйену арқылы нәтижеге бағдарланған білім беру жүйесін ұсыну- қазіргі таңда негізгі өзекті мәселелердің бірі. Жалпы алғанда «құзырлылық» ұғымы жайлы ғалым К.Құдайбергенова «Құзырлылық ұғымы-соңғы жылдары педагогика саласында тұлғаның субъектілік тәжірибесіне ерекше көңіл аудару нәтижесінде ендіріліп отырған ұғым.Құзырлылықтың латын тілінен аудармасы «компетенс»белгілі сала бойынша жан-жақты хабардар білгір деген мағынаны қамти

Репозиторий КарГУ

отырып, қандай да бір сұрақтар төңірегінде беделді түрде шешім шығара алады дегенді білдіреді» деп көрсетеді. Бұл жайлы Б.Тұрғанбаева «... өзінің практикалық әрекеті арқылы алған білімдерін өз өмірлік мәселелерін шешуде қолдана алуын-құзырлылықтар деп атаймыз » деп анықтаса, Ресей ғалымы Н.Кузьминаның көзқарасы бойынша, «Құзырлылық дегеніміз - педагогтің басқа бір адамның дамуына негіз бола алатын білімділігі мен абыройлығы ».Олай болса, құзырлылық-нәтижеге бағдарланған ***жаңа білім беру жүйесінің*** сапалық критерийі, әртүрлі кенеттен болған ситуацияларда мәселелерді шешу үшін қажетті білімді немесе әрекетті көрсете білу қабілеті, білім мен өмірлік ситуация арасындағы байланысты орнату мүмкіндігі.

Жаңа формация физика мұғалімінің сабаққа дайындалуына қойылатын талаптар мынадай болуы қажет:

1.Дидактикалық талаптар: -сабақтың білімділік мақсатының нақты тұжырымдамасы және дамытушылық, тәрбиелік мақсаттармен байланысы; -оқушылардың дайындық деңгейін ескеретін оқу бағдарламасының талаптары мен сабақ мақсаттарына сәйкес болатын сабақ мазмұнын анықтау; -оқушылардың ғылыми білімді меңгеру деңгейін сабақта және оның әрбір кезеңдерінде біліктілігі мен дағдыларының қалыптасуын болжау; -оқушылардың әртүрлі ұжымдық және жекелеген жұмыстарын үйлестіру,өз бетінше жұмыс тәсілдерін таңдауы; -сабақта барлық дидактикалық шарттың жүзеге асуы; -оқушылардың қарқынды білім алуына жағдай жасау.

2.Психологиялық талаптар:-пәндік сабақты оқып-үйрену кезінде оқушылардың дамуын жоспарлау; -тақырыпты меңгерудегі психологиялық мақсаттар мен өткен сабақтардағы жетістіктердің мақсатты нұсқамасын ескеру; -оқушының дамуын қамтамасыз ететін әдістемелік тәсілдер мен педагогтік-психологиялық әсер етудің жекеленген құралдарын алдын-ала анықтау.

3.Гигиеналық талаптар: -температуралық жағдай; -ауаның физикалық-химиялық жағдайы; -жарықтылығы; -шаршауға ,өте қатты болдыруға жол бермеу мүмкіндіктері; -қызмет түрлерінің ауысуы /тыңдап отырып есептеу,графикалық практикалық,зертханалық жұмыстармен алмастыру/; -оқушының бойына сынып жағдайының сәйкес келуі.

4. Сабақтың өткізілу техникасына қойылатын талаптар: -сабақ әсерлі болуы қажет; -сабақта мұғалім мен оқушы арасындағы байланыс берік болуы керек,педагогикалық әдеп сақталу қажет; -мектептің біртекті ішкі тәртібінің сақталуын қамтамасыз ету; -мұғалім әрбір оқушының сабаққа белсенді қатысуын қамтамасыз етуі керек.

Әлемдік білім кеңістігінде озық тәжірибеге негізделген 12 жылдық білім беруге көшудегі негізгі нысана-адамзат тарихында уақыт озған сайын өзектілігі арта түсетін білімді де білікті, тәжірибелі де текті ұрпақ қалыптастыру. Ұлтымыздың дәріптейтін, рухымызды биіктетіп, ұлттық көшімізді жігерлендіретін ұрпақтың болашағы- бізге, яғни ұстаздарға үлкен міндет. Ол үшін мұғалім кәсіби біліктілігін жаңа бағытта арттырып, ***білім мазмұнын жаңартып***, тиісті әдіс- тәсілдерді пайдаланып, әдістемелік негіздерді қалыптастыруы керек. Өйткені білім әр адамға өмір бойы қажет екенін өмір тәжірибесі дәлелдеп отыр. Осыған орай Тараз Мемлекеттік педагогикалық университетінің профессоры,педагогика ғылымының докторыБұзаубақова К.Ж. ұсынған схема [2.21,25-бет] жаңа формация мұғалімінің кәсіби тұлғасы мен құзыреттілігін сипаттайтын негізгі жолкартасы болып табылатынына көз жеткізуге болады: Тұлғалық, Азаматтылық және патриотизм, Әлеуметтік белсенділік, Нақты интеллигенттік, Зеректілік, Ізгілік, Мәдениеттілік, Бәсекеге қабілеттілік, Эмоцияналды-еріктік сапалар:-Педагогикалық ізет, -Педагогикалық мәдениет, -Педагогикалық дайындығы, - Кәсіби сапалар: адамгершілік, Мейірімділік, Құндылық бағдарлар, Еңбексүйгіштік, Педагогикалық бағытталуы, Жаңаша ойлау, Деонтологиялық парыз, Үздіксіз өзін – өзі жетілдіру.

Қабілеттілік: Кәсіби білімнің жоғары деңгейі, Жаңа іскерлік дағды, қабілетті меңгеру, Инновациялық технологияны меңгеру, Кәсіптік іскерлік, Шығармашылық шеберлік,

Репозиторий КарГУ

Ұйымдастырушылық, Дидактикалық, Танымдылық, Коммуникативтік, Зерттеушілік, Ұдайы ізденушілік, Креативтік, Экспрессивтік дамыту, өзін-өзі дамыту.

Қазіргі білім беру парадигмасы «білікті адамға» бағытталған білімнен «мәдениет адамына» бағытталған білімге көшуді көздейді. Бұл білім беруді жаңаша ұйымдастыру-оның философиялық , психологиялық, педагогикалық негіздерін, теориясы мен тәжірибесін тереңірек қайта қарауды қажет етеді.Сондықтан бүгінгі күні еліміздің білім жүйесінде оқыту үдерісін тың идеяларға негізделген жаңа мазмұнын қамтамасыз ету міндеті тұр.Француз қайраткері «Адамға оқып – үйрену өмірде болу, өмір сүру үшін қажет» дегендей оқыту процесін технологияландыру, осыған сәйкес оқу бағдарламаларын жасау, ғалымдар мен жаңашыл педагогтардың еңбектерімен танысу жұмыстары мұғалімдердің үздіксіз ізденісін айқындайды.

Әдебиеттер:

1. Қазақстан Республикасының«Білім туралы» Заңы/ баптары бойынша түсіндірмелері мен оны жүзеге асыру жөніндегі негізгі құжаттар.-Астана,2000.
2. Қазақстан экономикалық,әлеуметтік және саяси жедел жаңару жолында/ ҚР-ның Президенті Н.Ә. Назарбаевтың Қазақстан халқына жолдауы.-Астана.18.02.2005.
3. Бұзаубақова К.Ж.Ұстаздық шеберлік .-Алматы, 2009.-130б.

Қожабаев Р.Г., Шуюшбаева Н.Н., Алтаева Г.С., Калиева А.К.
Ш.Уәлиханов ат.Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау, Қазақстан
nn_shuish@mail.ru

Физикадан оқушыларда практикалық сипаттағы біліктіліктер мен дағдыларды қалыптастырудағы эксперименттік есептер.

Қазіргі кезде техникалық мамандыққа деген әлеуметтік сұраныс тап жылмай артып отыр, ол пән бойынша оқушылардың сапалы дайындығын талап етеді. Оқытудың әртүрлі әдістерін қолдану арқылы физиканы үйретуде практикалық сипаттағы біліктіліктер мен дағдыларды қалыптастыруда жақсы нәтижелерге қолжеткізуге мүмкіншіліктер бар. Бірақта іс жүзінде практикалық біліктіліктер мен дағдыларды қалыптастырудың комплекстік тәсілі жоқ деуге болады [1].

Физика ғылымын терең түсініп, оқып үйрену үшін теориялық алған біліммен қатар оны практикалық тұрғыда да қолдана білу мақсатында тәжірибелік жұмыстардың да алатын орны ерекше екенін көруге болады. Сондықтан физикалық приборларды күнделікті тұрмыста қолданылатын заттардың көмегімен жасап, заңдылықтардың дұрыс екендігіне көз жеткізуге болады.

Біздің ойымызша физиканы оқыту кезінде оқушылардың практикалық біліктері мен дағдыларын жетілдірудің тиімді әдісінің бірі эксперименттік есептерді қолдану. Соңғы кезде эксперименттік есептер, әр түрлі жағдайға байланысты, физиканы оқыту тәжірибесінде азайды. Сол себептен, оқушылардың эксперименттік, яғни практикалық дайындықтары жеткіліксіз деуге болады .

Біз, эксперименттік есептер деп, физикалық құбылыстар мен процестерді бақылау, өлшеу және электр тізбектерін жинау, яғни эксперимент арқылы шағын проблеманы шешуін түсінеміз.

Эксперименттік есепті шешу процессінде оқушы физикалық құбылыстар және процестер туралы мәліметтерді жинақтап қорытады және талдау жасайды, ойша дереккөздерге сүйене дәлелдеп, қорытқандарын тәжірибемен тексереді. Осылай ұйымдастырылған эксперименттік есептерді шығарудың іс-әрекеті ғылыми танымның

Репозиторий КарГУ

құрылымына сәйкес келеді және эксперименттік (практикалық) жұмысқа оқушыларды тартуға мүмкіншілік береді [2-4].

Физикалық зерттеулердің негізін, өлшеулер және физикалық шамалардың арасындағы функционалдық тәуелділіктерді эксперименттік есептер арқылы қалыптастыруға болады. Мысалы, келесі эксперименттік есептерді мектеп физика курсындағы бірінші басқыштардың өзінде ұсынуға болады:

а) Суы бар стаканға қалам қорғасынының бөлігін немесе марганец кристалдарын салыңыз. Шайқамай бақылаңыз. Сіз қандай құбылысты бақылап отырсыз? Оны қалай түзетуге болады? Диффузия құбылысы бақыланатын шарттарды тұжырымдаңыз. Егер сұйықтықты шайқасақ диффузия құбылысы байқалады ма?

б) Канцелярлық батырмаларды алыңыз, мензурканың көмегімен бір батырманың көлемін анықтаңыз.

в) Динамометр, суы бар стакан және металл кесек пайдаланып, кесекті толықтай суға салған кезде кері итеруші күш шамасына тәуелділігін зерттеңіз.

Эксперименттік есептер айтарлықтай дәрежеде оқушыларда танымдық белсенділік мүмкіндіктерін туғызады, өз бетінше ойлауын талап етеді, құбылыстарды талдауға үйретеді, шешім шығаруға әрдайым теориялық білім мен практикалық дағдыны қолданады бақылайды. Есеп шығарып және нәтижесін тәжірибемен тексеріп, оқушы алған білімнің дұрыстығына, физикалық заңдардың объетивтілігіне, практика мен тәжірибе - теоретикалық білімнің ақиқаттығына, практикамен тексерілген білімдердің құндылығына көзі жетеді. Эксперименттік есептерді өз бетімен шығару, зертеушілік дағдының, шығармашылық қабілеттерінің қалыптасуына және өзіндік жұмыс дағдыларын бойына сіңіруге көмектеседі.

Мысалы:

1. Сызықтық өлшеу жолымен көлемін анықтауға келмейтіндей біртекті зат берілген: жіптегі болат шары, бұрандама, фарфор шығыршығы. Заттың тығыздығын анықтау керек;

2. Үстелдің бетіне жіңішке бүйір қырымен сүйенген кірпіш орналасқан. Үстелге кірпіштің қысымы неғұрлым аз түсу үшін, үстел бетіне кірпішті қай қырымен қою керек? Неғұрлым көп? Бұл қысымдарды қандай құралмен, қалай анықтауға болады?

Осындай есеп шығарған кезде, есептің шығару жоспарын ғана құрмай, керекті шамаларды табу жолдарын, оларды анықтау әдістерін және керекті құрал жабдықтарды өз бетімен таңдап алып жинауға тура келеді.

Эксперименттік есептердің оқу процесінде қолдануы кейбір қиыншылықтармен байланысты:

1) есептерді дайындау және шешу көп уақыт талап етеді;

2) құрал жабықтардың жоқ немесе жеткіліксіз болуы;

Бұл қиындықтарды жеңу үшін, тұрмыстық құрал, ойыншықтар, конструкторлар және басқа тұрмыстық заттармен сабақтан кейін орындалуға мүмкіншілік болатын эксперименттік есептерді үй тапсырмасы ретінде беруге болады.

Мысалы:

1. Егер дене массасы 100-грамм гірден көп ерекшеленбесе, 100-грамм гір, үшқырлы егу және сызғыш көмегімен дененің массасын қалай анықтауға болады? Экспериментті қалай жасауға болады? Егер гір орнына "мыс" тиындары жинағы берілсе, экспериментті қалай жасауға болады ?

2. Мыс тиын монеталарының көптеген жиындарының көмегімен сызғыштың салмағын қалай табуға болады ?

3. Үйдегі таразы шкаласы 500 гр дейін өлшеу жүргізеді. Олардың көмегімен жібі бар катушканы иелене отырып, салмағы шамамен 1 кг кітаптың массасын қалай анықтауға болады ?

Репозиторий КарГУ

4. Сіздің иелігіңізде сумен толтырылған ванна, кең ауызы бар кішкентай құты, бірнеше тыйындар, пипетка, түрлі-түсті бор (немесе жұмсақ қарындаш) бар. Қалай тек осы заттардың көмегімен бір су тамшысының массасын табуға болады ?

5. Секундомер көмегімен кейбір жағдайларда күн күкіреу дыбысының ұзақтығы бойынша найзағайдың ұзындығын қалай табуға болады?

6. Бағанаға қоңырау ілінген, оған тұрақты бір секунд интервалмен соққы беріледі. Қоңыраудын дыбысталуын тыңдай отырып дыбыстың ауада таралу жылдамдығын тек рулетканың (ұзындық өлшейтін таңбалы таспа) көмегімен анықтауға бола ма ?

7. Қалай ашық күнде ағаштың биіктігін оған мінбей ақ сызғыш арқылы табуға болады?

8. Қайықта орналасқан адам оның массасын анықтауды қалайды. Егер өзінің массасы белгілі болса, өз ойындағысын ұзын жіптен басқа ештеңені қолданбай қалай жасай алады ?

9. Қалай желсіз күні қозғалыстағы темір жол вагонының терезелеріне қалдырған жолақтар бойынша жаңбыр тамшыларынын құлау жылдамдығын анықтауға болады ? Есепті шешу үшін сағат және транспортирді пайдалануға рұқсат етіледі.

10. Масштабты сызғыштың көмегімен жүріп бара жатқан автомобильдің бүйірлік терезелерінде қалдырған із бойынша жаңбыр тамшысының құлау жылдамдығын қалай анықтауға болады? Ауа райы желсіз деп есептелінеді [5].

Жоғарыда келтірілген құрал жабдықтар арқылы шамаларды анықталғандағы қателіктер үлкен болуға мүмкін. Тәжірибелердің нәтижесін талдап, тәжірибені жақсартуға, жетілген құрал аспаптарды қолданып, оқушыларда қателіктерді азайтуға мүмкіншіліктері бар. Сонымен бірге тәжірибелердің нәтижесінің құндылығы өте жоғары, себебі осындай тәжірибелер оқушыларға физика зандарын түсінуді жеңілдетеді.

Әдебиеттер:

1. Антипин И.Г. Экспериментальные задачи по физике в 6 - 7 классах. Пособие для учителей. М.: Просвещение. 1974, 130 с.

2. Варламов С. Д., Зильберман А. Р., Зинковский В. И. Экспериментальные задачи на уроках физики и физических олимпиадах. Москва.:Издательство МЦНМО, 2016, 182 с.

3. Ланге В. Н. Экспериментальные физические задачи на смекалку. М.: Наука, 1985, 128 с.

4. Красин М.С. Система эвристических приемов решение задач по физике. Калуга, 2005.

5. Каменецкий С.Е., Орехов В.П. Методика решения задач по физике в средней школе. М.: Просвещение, 1987, 336 с.

Мұратбекова А.А., Абишева Г.И., Мұратбекова К.М., Жұманазарова Н.К.
Е.А.Бөкетов атындағы қарағанды мемлекеттік университеті ҚР, Қарағанды қ., Университетская к.28 aigulmuratbekova@mail.ru

CLIL әдісін химия бағыты бойынша пәндерді оқытуда қолдану

Қазіргі кезде біздің елімізде өндіріс орындарының оның ішінде химия, мұнайхимия өнеркәсібінің, ғылыми-техникалық бағыттың аса жоғары жылдамдықпен дамып отырғанын атап өту қажет. Олай болса, осы бағыттарда қазмет атқаратын, өз ісін жетік білетін мамандарды дайындау бүгінгі күннің өзекті мәселелерінің бірі болып табылады.

Әртүрлі мемлекеттердің экономикасы мен ғылымы өзара араласып, бір-біріне интеграциялануы себебінен жаңа экономикалық қарым-қатынастарды орнататын болашақ мамандарға кәсіби біліктілік деңгейлеріне, сондай-ақ шетел тілдерін жетік меңгеруге де жоғары талаптар қойылады.

Осыған орай біздің еліміздің басшылығы жоғары оқу орындарының алдында экономиканың әртүрлі бағыттарында жұмыс істей алатын, жаңа заманның талаптарына сай келетін мамандарды дайындау мәселесін көтеруде.

Репозиторий КарГУ

Ағылшын тілі – бүгінгі заманымыздың кілті, ақпараттық технологияның, компьютер технологиясының кілті деуге болады. Бүгінгі әлемде мыңдаған адамдар шетел тілін, соның ішінде ағылшын тілін жұмыста немесе оқуда пайдаланады және ана тілі ретінде меңгереді. Қазіргі заманда ағылшын тілі «21 ғасырдың», халықаралық бизнес, қазіргі ғылым мен технологиялар тілі мәртебесіне ие болды. Ағылшын тілін оқып – үйренемін деушілердің саны күннен – күнге көбеюде. Бұл сайып келгенде, шет тілін, соның ішінде ағылшын тілін мектеп қабырғасынан бастап жоғары оқу орындарында оқыту әдістемесінің жаңа бетбұрыстарды қажет екендігін тудырады. Қазіргі уақытта, ағылшын тілін меңгерудің талабы жоғары болғандықтан, ағылшын тілін тереңдетіп үйренуге арналған арнайы мектептер, гимназиялар, колледждер көптеп ашылуда.

Е.А. Бөкетов атындағы ҚарМУ-дың Химия факультетінде 050606-«Химия» (жаратылыстану), 050112–«Химия» (білім беру) және 5В074800-«Фармацевтика өндірісінің технологиясы» мамандықтары бойынша көптілді білім беретін эксперименттік топтар ашылды. Яғни мұндай топтарда кейбір профилді пәндер бойынша сабақты қазақ, ағылшын және орыс тілдірінде өткізуді қарастырады. Әдетте, студенттердің қазақ және орыс тілі пәндері бойынша білім деңгейлері арнайы пәндерді оқу үшін жеткілікті болса, оқытушылардың алдына негізгі мәселе ретінде ағылшын тілінде кәсіби пәндерді оқыту сияқты сұрақтар қойылады. Сондықтан «Химия» мамандығы бойынша ағылшын тілінде арнайы пәндерді оқытатын тиімді әдістемелерді дайындау және жасау негізгі және маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Осы ретте берілген мақалада кейбір химиялық пәндерді ағылшын тілінде тиімді өткізудің сұрақтары қарастырылған.

Химия факультетінде сабақ берудің өзіндік ерекшеліктері бар екендігін атап өту қажет. Мұндай ерекшеліктерге лабораториялық жұмыстарды жүргізу барысындағы оқытушы мен студент арасындағы өзара қарым-қатынасты жатқызуға болады.яғни мұндай сабақтардың барысында студенттердің жұмысты орындау үшін рұқсат алуы, оны орындауы және орындалған жұмысты қорғау сияқты белсенді ауызша араласу түрлері орын алады. Мұндай жағдайда студенттердің оқытушымен үнемі ауызша араласуы нәтижесінде олардың ағылшын тіліндегі кәсіби химиялық терминдерді дұрыс айту және тілдерін жаттықтыру сияқты мүмкіндіктер пайда болады. Химия факультетінде арнайы пәндерді ағылшын тілінде оқыту барысында студенттер тарапынан сол тілде сөйлеу, оқу, тыңдау және кәсіби деңгейде жазу қабілеттіліктерін талап етеді.

Егер дәрістік сабақтар барысында тілдік даму тұрғысынан салыстырғанда оқытушы белсенді жұмыс жүргізетін болса, лабораториялық, семинар сабақтарында және оқытушы басшылығымен жүргізетін өздік жұмыстары барысында студенттер химиялық терминдер бойынша ағылшын тілінде араласу белсенділігін іске асыра алады. Мұндай сабақтар барысында студенттер ғылыми тұрғыдан монологтық және диалогтық қарым-қатынасты дәрістік сабақта өткен жаңа материалдар негізінде жасауға мүмкіндік алады [1]. Оқытушы басшылығымен жүргізілетін студенттердің өздік жұмысы сабақтарында өткен дәрісте қарастырылған арнайы лексикологиялық терминдерді қайталауды ұсынуға болады, бұл жағдайда студенттердің өткен сабақтың мазмұнын қайталау, сондай-ақ, тілдік дағдыларын да жақсарту мүмкіндіктері болады.

Шет тілде сөйлеу дағдыларын қалыптастыру шараларының біріне шартты түрдегі ғылыми семинар сабағын жатқызуға болады. Мұндай сабақтар барысында оқу-сөйлеу жағдайларын, ғылыми ортадағы кәсіби түрде араласудың қалыпты деңгейін қамтамасыз етуге болады, яғни бір сабақтың көлемінде ағылшын тілінде сөйлеу қабілетін және белгілі бір бағыттағы ғылыми баяндама жасау әдістемесін үйренуге мүмкіндік береді.

Студенттерден нақты пән бойынша сабақ сұрау және олардың білімін тексеру барысында араласудың лексикалық бағытталған әдістерін қолдану оларға жалпыхимиялық сөздіктің қажетті көлемін меңгеруге мүмкіндік береді. Химиялық сөздіктерді белсенді де жетік меңгеру ауызша және жазбаша түрдегі араласу дағдыларын қалыптастырады, сондай-

Репозиторий КарГУ

ақ, курстық, дипломдық, басқа да реферет, хабарлама дайындау сияқты жазбаша жұмыстарды орындау немесе қазақ, орыс тілінен ағылшын тіліне қажетті материалдарды аудару барысында көп көмегін тигізеді. Студенттердің өткен материалдарды жеткілікті деңгейде игеруі және шет тілде сөйлеу қабілетін дамыту үшін аралық бақылау ретінде «дөңгелек үстелдер», «дебаттық клубтар» сияқты шараларды ұйымдастыруға болады. Сабақты өткізудің мұндай түрі студенттерге алған білімдерін бекітуге, ал оқытушыға студенттердің алған білімдерін дұрыс, объективті бағалауға және ағылшын тілінде ғылыми түрдегі араласуды жақсартуға жол ашады. Мұндай сабақтардағы оқытушының ролі басқа сабақтардағыдан әлдеқайда өзгеше болуы қажет. Бұл айырмашылық сөйлеу белсенділігін қадағалау студенттердің өздеріне берілетіндігінде. Мұндай өз бетімен қадағалау жұмыстары студенттердің пәнге деген және пәнді ағылшын тілінде оқу қызығушылығын тудырады. Сондай-ақ, сабақтың осындай түрлерінде оқытушы процесс барысында студенттер сияқты қатардағы мүше ретінде ғана қатыса алады, оларды белгілі бір тақырып бойынша бағыттап, белсендендіріп, пікірталастың қызықты да тартымды өтуіне үлесін қосып, көптілді білім алудың қажеттілігін нығайтып бекітіп отырады.

Семинар сабақтарын жүргізу барысында қарым-қатынас белсенділігін арттыратын қазіргі заманға сай жаңа технологияларды қолдануға болады. Мұндай технологиялар студенттердің де және оқытушының да шет тіліндегі дискурсивті компетенциясын арттыруға мүмкіндік береді. Бұл әдіс бойынша семинар сабақтарын өткізу барысында студенттер оқу-әдістемелік кешенде келтірілген берілген тақырып шеңберінде ағылшын тілінде хабарлама дайындайды. Хабарлама әдетте кіріспеден, негізгі бөлімнен және қорытындыдан тұрады. Бір студенттің жасаған хабарламасын екінші студент бағалайды. Бағалау барысында студент баяндаманың артықшылықтары мен кемшіліктеріне міндетті түрде тоқталып, атап өтуі қажет және кемшіліктерін жою үшін қандай шаралар қолдануға болатынын ескерту түрінде келтіріп өтеді. Осындай сабақтардан кейін студенттердің пән бойынша кәсіби білімдері нығайып, аудитория алдында ағылшын тілінде ғылыми бағыттағы баяндама жасау нәтижесінде өздеріне деген сенімділіктері арта түседі. Өздерінің белгілі бір тақырып бойынша көзқарастарын білдіріп, пікірлерін дәлелдей алатын болады. Бұл сабақтағы оқытушының ролі пікірталастың қызықты және дұрыс бағытта өтуін қадағалап отыруына және ұяң студенттерді сабаққа тартып, студенттердің толық қатысуын қамтамасыз етуге тіреледі.

Ағылшын тілінде сабақты игерудің тиімділігін арттыру үшін жоғарыда аталған белсенділік түрлерінен басқа студенттердің оқу-ғылыми баспасөз материалдарын дұрыс, сауатты жаза білуін ескеретін әдістемелерді де қолдану қажет. Жазбаша жұмыстарды үй тапсырмалары, рефераттар, баяндамалар, ғылыми хабарламалар түрінде дайындауға болады. Мұндай сабақтың негізгі мақсаты жазбаша кәсіби-ғылыми жұмыс барысында қажет болатын дағылар мен біліктілікті қалыптастыру болып табылады.

Ұсынылып отырған бұл әдістеме студенттерге пән бойынша негізгі материалды игеруге және ағылшын тіліндегі кәсіби химиялық, техникалық терминдерді жазбаша және ауызша жұмыстар барысында дұрыс пайдалануға мүмкіндік береді. Дегенмен, көптілді білім беру бағдарламасы бойынша бағыталған студенттерге кәсіби мәтіндерді қазақ, орыс тілдерінен ағылшын тіліне және керісінше ағылшын тілінен сауатты түрде аудару бойынша жоғары талаптар қойылады. Сондықтан, оқыту барысында ғылыми-техникалық мәтіндерді аудару мәселелерін де қарастыру қажет болады.

Бүгінгі таңда ғылыми-техникалық әдебиеттерді аудару өз алдына жеке пән ретінде қарастырылады. Ғылыми-техникалық аударма жалпы, оның ішінде ғылыми-химиялық аудармалар мәтінді ерекше талдауды, ғылыми тілдің ерекшеліктерін зерттеуді талап етеді. Бұл тілдің өзіндік грамматикалық, лексикалық, фразеологиялық ерекшеліктері және қысқартулары болады. Студенттер ағылшын тілінде әртүрлі терминдер мен терминологиялық сөзтіркестерін орынды және тиімді пайдалана білуі қажет [2,3].

Репозиторий КарГУ

Осылайша үш тілде білім алатын студенттер үшін химиялық пәндерді ағылшын тілінде оқыту әдістемесі негізгі материалды шетел тілінде және пәннің маңызды заңдылықтары мен түсініктерін қажетті түсінікті деңгейде жеткізуді қамтамасыз етеді.

Сонымен, осы жұмыста ұсынылып отырған химиялық бағыттағы пәндерді ағылшын тілінде оқытудың әдістемесі оқу процесінің төмендегідей белсенділіктерін қамтиды: ауызша сөйлеу тәжірибесін, жазбаша жұмыстарды және ғылыми-техникалық мәтіндерді аудару шараларын қарастырады. Химия сияқты жаратылыстану пәндерін оқыту барысында қолданылатын жоғарыда келтірілген әдістеме берілген сабақты оқыту тиімділігін арттыруға және материалды толық игеруге әрекет жасайды. Яғни химиялық пәндер бойынша стандартты сабақ түрлерін ұсынылып отырған әдістememен ұштастыра отырып, болашақ химик-мамндарды дайындау барысында айтарлықтай нәтижелерге қол жеткізуге болатынын атап өту қажет. Осы әдістеме бойынша көптілді бағдарлама бойынша білім алатын студенттер болашақта өз пәнін жетік білетін, сондай-ақ, қазақ, орыс, ағылшын тілдерін жоғары кәсіби деңгейде меңгерген мамандарды дайындауға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер:

1. Пумпянский А. Л. Чтение и перевод английской научной и технической литературы: Лексика, грамматика, фонетика, упражнения. – Минск: ООО «Попурри», 1997. - 608 с.

2. Коваленко А. Я. Общий курс научно-технического перевода: Пособие по переводу с англ. языка на рус. – Киев: «Фирма «ИНКОС», 2003. – 320 с.

3. Айзенкоп С. М., Багдасарова Л. В., Васина Н. С., Глущенко И. Н. Научно-технический перевод. Английский язык. – Ростов н/Д: «Феникс», 2002. – 352 с.

Ш.Е. Сакипова
Казахский национальный аграрный университет, кафедра IT – технологий и автоматизации, Алматы, Казахстан, sholpa_1@mail.ru

Об инновационных технологиях компьютерного обучения с использованием программы MATLAB

Введение. Актуальность проблемы применения современных технологий в образовательном процессе вызвана интеграционными и информационными процессами, происходящими в обществе, становлением новой системы образования, ориентированной на вхождение Казахстана в мировое образовательное пространство [1] . Современное общество характеризуется активным использованием Интернет ресурсов, которые обеспечивают доступ к любой информации без каких-либо ограничений по объему и скорости его трансляции. Чтобы быть конкурентоспособными на рынке труда специалисты должны иметь подготовку, включающими помимо базовых знаний по специальности владение основами современных информационных технологий и иностранными языками. Широкое распространение интернет и мультимедиа- технологий позволяет использовать компьютерные технологии в качестве средства общения, воспитания, обучения и интеграции в мировое сообщество. В настоящее время все сильнее чувствуется влияние компьютерных технологий на развитие личности, на его профессиональное самообразование, например, заочные и дистанционные курсы обучения и т.д. [2-5] Применительно к обучению к инновационным компьютерным технологиям, можно отнести:

1) компьютерные обучающие программы – электронные учебники, тренажеры, виртуальные лабораторные практикумы, тестовые системы;

2) обучающие системы на базе мультимедиа-технологий с использованием ПК, видеотехники, накопителей на оптических дисках;

3) интеллектуальные и обучающие экспертные системы, используемые в различных предметных областях;

Репозиторий КарГУ

4) распределенные базы данных по отраслям знаний;

5) средства коммуникации, включающие в себя электронную почту, телеконференции, сети связи, сети обмена данными;

6) электронные библиотеки, библиотечные базы, издательские системы.

Программное обеспечение новых обучающих информационных технологий параллельно разрабатываются в различных вузах, зачастую дублируются, но главным недостатком их современного состояния и недостаточно полного применения является отсутствие соответствующего научно-методического обеспечения.

*Новые технологии обучения с применением персональных компьютеров.*Посредством лекций могут передаваться знания, но не могут формироваться умения. Устные аудиторные лекции занимают пока еще значительное место в обучении, однако все более широко используется при этом новые технологии обучения с применением персональных компьютеров (ПК). Эту тенденцию, следует признать позитивной [3-4]. Практика показывает, что степень усвоения материалов студентами учебного материала составляет: при чтении лекций с использованием наглядных пособий – 30%; при применении аудиовизуальных средств – 60%; при организации дискуссий – 70%; при анализе конкретных ситуаций – 90%.

«Компьютерное обучение или машинное обучение» - это обучение на персональных компьютерах тому, чему обучаются путем опыта работы с программными продуктами. Алгоритмы «компьютерного или так называемого машинного обучения» используют вычислительные методы для «изучения» информации непосредственно из данных, адаптивно улучшая свою производительность по мере увеличения числа образов, доступных для обучения, и не полагаясь на заранее определенное уравнение в качестве модели.

Современные алгоритмы помогают принимать правильные решения и прогнозировать, например, они используются для принятия критических решений в различных областях, например, при медицинской диагностике, при торговле на рынке ценных бумаг. Медиа - сайты также полагаются на «машинно-компьютерное обучение», при отборе индивидуальных рекомендаций для каждого пользователя и составления представления о покупательских предпочтениях своих клиентов. На сегодняшний день, с увеличением объема данных, «компьютерное обучение» стало неотъемлемой частью в решении задач в таких сферах как:

- производство электроэнергии для прогнозирования цен и допустимой нагрузки;
- автомобильная, аэрокосмическая и производственная сферы;
- для профилактического обслуживания и многие другие.

Различают два типа «компьютерного обучения»: обучение с учителем и обучение на примерах [5]. «Обучение с учителем» используется в задачах, где есть известный набор входных данных - *обучающий набор* и известный набор эталонных ответов - выходные данные и на основе этих данных строится модель, способная выдать достаточно точный ответ на новые входные данные. В основном применяется в решении двух типов задач:

- классификации, т.е. прогнозирование дискретных ответов, например, входящее сообщение важное или спам и т.д.;
- регрессии, т.е. прогнозирование непрерывных ответов, например, прогнозирование колебаний температур.

Таким образом, можно сделать вывод, что «обучение с учителем» подходит для решения задач, где имеется внушительный набор входных данных для обучения алгоритма, а для задач, где присутствует недостаток входных данных, используется алгоритм «обучение без учителя».

При «обучении без учителя» исследуются множества входных данных и нет указаний, что нужно делать с этими данными, и алгоритму требуется обнаружить внутренние взаимосвязи и закономерности, существующие между данными. Самая распространенная методика «обучения без учителя» - кластеризация, которая используется для

Репозиторий КарГУ

исследовательского анализа данных, чтобы найти скрытые шаблоны и сгруппировать данные, например, применяется в распознавание объектов на картинах.

«Машинное обучение» с большими данными с использованием высоких массивов MatLab.

Необходимость широкого и повсеместного внедрения новых компьютерных технологий во все виды учебного процесса не вызывает сомнений в том числе и решение задач и выполнение лабораторных работ по физике с использованием MatLab [6-8]. В одной работе невозможно даже просто перечислить уникальные возможности применения пакета MatLab в обучении физике. Отметим лишь некоторые возможности, в частности, высокие массивы и таблицы предназначены для работы с данными вне памяти. Данные этого типа состоят из очень большого числа строк - наблюдений по сравнению с меньшим количеством столбцов - переменных. Вместо написания специализированного кода, учитывающего огромный размер данных, такого как MapReduce, высокие массивы позволяют работать с большими наборами данных аналогично массивам MatLab в памяти. Принципиальное отличие состоит в том, что высокие массивы обычно остаются неоцененными, пока вы не запросите выполнение вычислений.

При выполнении вычислений для больших массивов, среда выполнения по умолчанию использует либо локальный сеанс MatLab, либо локальный параллельный, если у вас есть Parallel Computing Toolbox. Вы можете использовать функцию mapreducer, чтобы изменить среду выполнения. Этот пример работает с подмножеством данных на одном компьютере для разработки модели линейной регрессии, а затем масштабируется для анализа всего набора данных. Можно расширить этот анализ еще дальше, чтобы обеспечить:

– доступ к данным, которые невозможно прочитать в памяти,

– работу с данными, распределенными по кластерам с помощью MatLab Distributed Computing Server ,

– интеграцию с большими системами данных, таких как Hadoop и Spark.

Несколько неконтролируемых и контролируемых алгоритмов обучения в Statistics and Machine Learning Toolbox доступны для работы с высокими массивами для выполнения интеллектуального анализа данных и прогнозного моделирования с данными из нехватки памяти. Эти алгоритмы подходят для данных вне памяти и могут включать небольшие отличия от алгоритмов в памяти: кластеризация *k*-средних, линейная регрессия, обобщенная линейная регрессия, логистическая регрессия, дискриминантный анализ.

В пакете MatLab можно визуализировать высокие массивы данных используя histogram, histogram 2, binScatter Plot и ksdensity. Все визуализации запускают выполнение, аналогичные вызову gather функции.

Кроме того, можно разделить данные на наборы обучения и проверки. Для разработки модели машинного обучения полезно зарезервировать часть данных для обучения и разработки модели и другую часть данных для тестирования модели. Существует несколько способов разбить данные на наборы обучения и проверки. Можно использовать datasample для получения случайной выборки данных. Затем cvpartition для разделения данных на тестовые и тренировочные наборы. Чтобы получить не стратифицированные разделы, можно установить однородную переменную группировки, умножив выборки.

Заключение. Использование ПК в учебном процессе не должно уменьшать значимость подготовки будущих специалистов в их научно-предметном направлении, то есть недопустима замена реальных физических лабораторий с измерительными приборами, реальных производственных процессов только модельными представлениями их на экране монитора. Тем не менее, современные требования к профессиональной подготовке будущих специалистов предполагают в качестве обязательных навыки владения новыми инновационными технологиями и умения их применения в профессиональной деятельности.

Естественно, с быстрым развитием IT-продуктов и широким доступом в Интернет активное внедрение современных инновационных технологий во все сферы

Репозиторий КарГУ

жизнедеятельности человека: в производство, в научные исследования, в учебный процесс ВУЗов закономерный процесс. Оно имеет много преимуществ – возможность дистанционного выполнения заданий любого типа по дисциплине - конспекты лекций, решение задач, выполнение виртуальных лабораторных работ выполнение СРС и СРСП. В этой связи применение пакета MatLab с его возможностями и приложениями улучшает качество преподавания таких учебных дисциплин как математика, физика и т.д. и повышает эффективность процесса обучения ВУЗа в целом.

Литературы:

1. Назарбаев Н.А. Взгляд в будущее: модернизация общественного сознания. 12 апреля 2017. http://www.akorda.kz/ru/events/akorda_news/press_conferences/statya-glavy-gosudarstva.

2. Кларин М.В. Интерактивное обучение – инструмент освоения нового опыта. // Педагогика. 2000, №7.-С.80 – 81.

3. Инновационные технологии в образовании. Каталог. https://viafuture.ru/katalog-idej/innovatsii-v-obr/

4. Сакипова Ш.Е. Новые информационные технологии в инновационном вузе. Материалы XVII межд. социально-педагогических чтений, посв. И. А Липскому. - Москва: МАНПО, 2014, С. 209 – 213.

5. Sakipova Sh.E. Innovative and Educational Technologies applied in High Education as objective Reality. // Journal of International Scientific Publications: Educational Alternatives. - Bulgaria, 2013, Vol.11, P.116 - 120.

6. MATLAB-MathWorks. https://www.bing.com/search?q=Matlab &form=EDNTHT &mkt=ru-

7. Фриск В.В. Применение пакета MATLAB для анализа резонансных явлений в электрических цепях. - Москва, 2019, 49 с.

8. MATLAB and Simulink Tutorial. https://www.mathworks.com/support/learn-with-matlab-tutorials.html

Ж.Сүйінбек, Ж. Есембекова
Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан

«FLIPPED CLASSROOM» моделіне оқу қызметін бақылау мен бағалауға арналған мобильді қосымшаларды кіріктіру

Мобильді технологиялар, кез келген заманауи адамның күнделікті өмірінің бір бөлігі бола отырып, білім беру ортасында да нығая түсті. Олар сыныпта болашақ жұмысқа өзін-өзі дайындау, оқушылардың бірлескен қызметі, сондай-ақ оқытушыға бағалау қызметін ұйымдастыруда көмек сияқты түрлі функцияларды іске асыру үшін пайдаланылады. Ақпараттық-коммуникациялық технологияларды (АКТ) белсенді пайдалану сонымен қатар көптеген елдерде кеңінен танылған оқытудың аралас түрі болып табылатын «flipped classroom» моделін де білдіреді.

Осы мақаланың мақсаты - «төңкерілген сынып» моделінде оқу қызметін бағалаудың және бақылаудың мобильді қосымшаларын қолданудың тиімділігін көрсету. Оған жету үшін келесі міндеттер анықталды:

1. Заманауи білім беру технологиясы ретінде «төңкерілген сынып» моделінің тұжырымдамасын талдау;

2. Socrative және Plickers мобильдік қосымшаларының дидактикалық функциялары мен мүмкіндіктерін қарастыру;

3. Физика сабағында «төңкерілген сынып» моделінде мобильді технологияларды қолдану тиімділігін көрсету.

Репозиторий КарГУ

«Төңкерілген сынып» концепциясы. Мұғалім бастаған дәстүрлі оқыту моделі енді қалаған нәтижелер әкелмейді. Бірге оқыту (ынтымақтастықта оқыту) басым болатын жеке тұлғаға бағытталған тәсіл ауысымға түседі. Бұл тәсілді ұйымдастырудың бір тәсілі - ақпаратты аудиторияға жеткізу тәсілін өзгертуге бағытталған онлайн оқытуды белсенді пайдалану. Оқытуды ұйымдастырудың бұл түрі «flipped classroom» моделіне толық сәйкес келеді [1].

«Flipped classroom» немесе «төңкерілген сынып» технологиясын қарапайым сөздермен «үйдегі сынып жұмысы, сыныптағы үй жұмысы»деп анықтауға болады. Аарон Санс және Джонатан Бергман (АҚШ) орта мектебінің мұғалімдері өз сыныптарын "төңкергендердің" біріншілері болды. Олар әр түрлі себептермен сыныпта қатыса алмаған оқушыларға онлайн дәріс бере бастады. Оқушылар компьютер мен интернетке қол жетімді кез келген жерде: үйде, мектептің өзінде немесе жергілікті кітапхана қабырғаларында ала алды. Көп ұзамай А.Санс пен Д.Бергман егер олардың барлық студенттері жаңа материалды қашықтықтан оқи алатын болса, онда сыныпта дәріс оқу қажеттілігі жойылатынын түсінді. Оның орнына барлық сынып уақытын бірлесіп оқыту қағидаларын жүзеге асыруға және дағдыларды практикада қолдануға жұмсауға болатынын түсінді.

Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, үй тапсырмасын орындайтын студенттердің 80% -ы мұғаліммен қосымша кеңес алуды қажет етеді, 95% -ы оқу тапсырмаларын шешуде көмекке зәру деп санайды [2].

Барлық қиындықтардың себебі - жаңа оқу материалын түсінбеу. "Flipped classroom" оқытудың жаңа моделі студенттердің жұмысы үйде басталатынын болжайды: олар 5-7-минуттық дәрісті көріп, туындаған сұрақтарды жазып алады, содан кейін сыныпта мұғаліммен бірге оқыған материалды пысықтайды. Бұл әдіс студентті оқудағы табысқа бағыттайды, өйткені үй тапсырмасында қате жасауға және жаман бағв алуға қорқыныш жойылады.

«Төңкерілген сыныптың» тағы бір маңызды ерекшелігі - бұл оқу үшін жауапкершілікті мұғалімнен оқушылардың өздеріне беру. Осы үлгіні пайдаланатын отандық және шетелдік сарапшылар атап өткендей, студенттер, әдетте, анағұрлым белсенді рөл атқарады және өз білімі үшін үлкен жауапкершілік алады [3]. Бұл жағдайда мұғалім оларға қолдау көрсетіп, нақты нұсқаулар беруі керек. Дәстүрлі «дәріс» әдісіне дағдыланған студенттерді жаңа ортаға тарту қиынға соғады. Белсенді оқу тапсырмалары сабақ барысында олардан үлкен күш-жігерді талап етеді, сонымен қатар сіз оқып жатқан тақырыптар туралы үнемі хабардар болуға міндеттейді. Сарапшылар бұл модель нақты бастаманы көрсетпейтін немесе бұрыннан қалыптасқан дәстүрлі сабақтарға үйреніп қалған студенттерге жарамсыз болуы мүмкін деп ескертеді [4]. Алайда, «flipped classroom» моделінде пайда көрмейтін оқытушылар арасында да түсініспеушіліктерді кездестіруге тура келеді. Дегенмен, студенттер мен әріптестерде тәжірибе жинақталуына қарай «аударылған» курстарға қарсылық азаяды.

Сонымен, «төңкерілген сынып» моделімен сабақ басталмай тұрып, сыныптан тыс оқушы (жалғыз немесе басқа студенттермен бірге) мұғалім дайындаған оқу материалдарын цифрлық түрде қолдана отырып, жаңа тақырыпқа қатысты негізгі ұғымдарды меңгеретіндігімен сипатталады. Аудиториялық уақыт өмірлік проблемалық жағдайларды шешу кезінде жаңа білімді қолдану үшін қолданылады. Әдетте, шешім өнімі-басқаларға ұсынуға болатын жаңа ресурс. Оқу уақытын тиімді пайдалану мұғалім мен оқушының өзара іс-қимылын арттырады және студенттерге өз оқуы үшін жауапкершілікті өзіне алуға мүмкіндік береді. Бұл міндеттер мобильді қосымшалар арқылы сәтті жүзеге асырылады.

«Flipped classroom» моделіндегі білімді бақылауға арналған мобильді қосымшалар. Оқу процесінде ақпараттық-коммуникациялық технологияларды, соның ішінде мобильді технологияларды пайдалану қазіргі заманғы білім беруге қажет деп саналады [3]. Мобильді технологияларға кез-келген уақытта, кез-келген жерде қол жетімді болғандықтан, олар

Репозиторий КарГУ

дәстүрлі күндізгі және сырттай оқытуға жақсы қосымша болады, бұл сізге интерактивті сауалнамалар мен тестілерді тез жүргізуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, мобильді қосымшаларды қолдану студенттердің ақпараттық мәдениетін қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Соңғы зерттеулерге сәйкес, оқу процесінде Мобильді қосымшаларды пайдаланудың артықшылығы олардың негізгі дидактикалық сипаттамаларымен қамтамасыз етілген: мобильділік, ақпараттық ресурстарға қолжетімділік, интерактивтілік [5]. Мобильді құрылғы әрқашан өз иесімен бірге болғандықтан, студенттер видеоматериалдарды көре алады немесе кез келген бос уақытта және кез келген жерде жеке жаттығуларды орындай алады, бұл өмір қарқыны тездеген кезде қазіргі заманғы талаптарға жауап береді. Осылайша, материалды көбірек жаттықтыруға және жақсы есте сақтауға мүмкіндік беретін үздіксіз оқу процесі құрылады.

Мобильділік студенттерге білім беру ресурстарына ғана емес, сонымен бірге тапсырманы орындау үшін қажет кез-келген ақпаратқа қол жеткізуге мүмкіндік береді. «төңкерілген сынып» моделі уақыттың едәуір бөлігін өз бетінше жұмыс істеуге арнайтындықтан, туындаған мәселелерді жедел шешу үшін оқушымен үнемі байланыста болу өте маңызды.

Жоғарыда аталған сипаттамалар студенттердің жеке ерекшеліктерін ескере отырып, студенттерге бағытталған оқытуды ұйымдастыруға, проблемаларды ерте диагностикалауға және оқу процесін оқушылардың қажеттіліктеріне сәйкес реттеуге ықпал етеді. Оқушылардың оқуға деген ынтасын ұялы жүйелерде қолданылатын гамификация элементтері, анимациялық суреттер, аудио және бейне файлдар көбейте алады.

Осылайша, мобильді қосымшалар «төңкерілген сынып» моделі бойынша студенттерді оқытуды ұйымдастыру талаптарына толығымен жауап береді. Бұл модельге мобильді қосымшаларды біріктіру аудиториялық уақытты үнемдеуге, интерактивтілікке және оқушылардың уәждемесін арттыруға мүмкіндік береді.

Мобильді қосымшалардың басты функцияларының бірі бақылау және бағалау функциясы болып табылады. Технологиялардың ұтқырлығы мен қол жетімділігі студенттердің оқу іс-әрекетінің нәтижелерін бағалауға және үлгерім туралы есептерді бақылауға/қарауға мүмкіндік береді. Мобильді қосымшалар заманауи дауыс беру, сауалнама және тестілеу құралдарының негізінде ағымдағы және қорытынды бақылау процесін автоматтандыруға мүмкіндік береді. Білімді бақылау мен бағалаудың заманауи жүйелері жағымды интерфейске ие, олар әртүрлі форматтағы тапсырмаларды құруға және сұрақтар, тесттер, ойындар түрінде бақылау өткізуге мүмкіндік береді.

«Төңкерілген сынып» моделінің ерекшелігіне, сондай-ақ жоғарыда сипатталған мобильді қосымшалардың дидактикалық қасиеттері мен функцияларына байланысты бақылау және бағалау процесін ұйымдастырудың мысалы ретінде Plickers және Socrative қосымшалары таңдап алынды. Қосымшалар техникалық, ұйымдастырушылық-қаржылық, психологиялық-педагогикалық және эргономикалық параметрлер бойынша ең қолайлы болып табылады. Олар мектеп мұғалімдері мен жоғары оқу орындарының оқытушылары үшін (оқушылардың дайындық деңгейіне немесе жасына байланысты ешқандай шектеулер жоқ) білім беру қызметін бақылау мен бағалау процесін жеңілдету үшін арнайы жасалған, олар сайт ретінде жасалынған және мобильді қосымшалары бар.

Plickers бақылау және бағалау жүйесі. Plickers қолданбасын түрлі операциялық жүйелерде, сондай-ақ тұрақты және портативті компьютерлерде пайдалануға болады. Қолданбаны қолданудың басты шарты интернет желісіне қол жетімділігінің болуы.

Жүйе 63 адамнан аспайтын сыныпқа арналған. Бір оқытушы (бір аккаунт) оқушылардың тізімін жасай отырып, оған қажетті «сыныптар» санын жасай алады.

Қосымшаның ерекшелігі - мұғалімнің мобильді қосымшасының көмегімен оқушының жауаптарын дереу сканерлеу мүмкіндігі, ол үшін жеке карточканы көтеру қажет. Қолданба

Репозиторий КарГУ

сонымен қатар жауаптардың / тесттердің нәтижелерін кесте түрінде, бүкіл сыныптың және жеке оқушының іс-әрекетін көруге мүмкіндік береді. Мұғалім әр тапсырманың орындалғаны туралы пайыздық көрсеткіш түрінде ала алады. Plickers қосымшасының түсінікті және қысқа интерфейсі онымен қарапайым және ыңғайлы жұмыс жасауға арналған.

Socrative тестілеу жүйесі. Socrative.com компаниясы жасаған Socrative тестілеу жүйесі оқытушы және оқушы жұмысына арналған екі тегін қолданбасы бар.

Plickers қосымшасы сияқты, Socrative жүйесі үшін интернет желісіне қатынау қажет. Socrative қосымшалары түрлі операциялық жүйелерде де, портативті және стационарлық компьютерлерде де қолжетімді. Жүйе 50 адамға арналған сыныпқа арналған. Қосымшаның тегін нұсқасында «сыныптар» құруға шектеу бар - бір аккаунтқа бір ғана «сынып». Socrative-тің тағы бір ерекшелігі - бір уақытта бірнеше әрекетті іске қосу мүмкін емес. Яғни, алдымен, мысалы, тестті жауып, содан кейін басқасын ашу керек.

Қолданбада топ болып ойнауға мүмкіндік беретін геймификация элементі бар. Тест тапсырмаларын әртүрлі форматтарда құрастыруға болады (multiple choice; true/false; short answer). Үш сұрақтан (What did I learn today?; How well did get the material?; Answer the teacher ' s question) тұратын қалыптастырушы бағалауды жылдам жүргізуге мүмкіндік береді.

Алайда, Socrative бейне немесе аудио материалдарды бекіту режимін қолдамайды. Әрбір оқушы тестінің нәтижесі дұрыс және дұрыс емес жауаптарды көрсете отырып, кестелік нұсқада пайызбен көрсетіледі. Нәтижелер жүйеде сақталады. Ыңғайлы болу үшін әр оқушының немесе барлық сыныптың нәтижесін (PDF, Excel форматтары қол жетімді) таңдау мүмкіндігі бар. Бақылау және бағалау қосымшаларының дидактикалық қасиеттері мен функциялары 1-кестеде көрсетілген.

Физика пәнін оқытуда дауыс беру және тестілеу қосымшаларын сабақ үрдісіне интеграциясы тек артықшылықтарға ие және бір жағынан мұғалімнің жұмысын жеңілдетуге, екінші жағынан оқушылардың оқу ынтасын арттыруға көмектеседі. Мобилді дауыс беру және тестілеу технологияларын «төңкерілген сынып» үлгісінде қолдану мысалы ретінде біз білім алушылардың жұмысын бақылауда ұйымдастыруды қарастырамыз.

Өзіндік жұмысты бақылау. Жоғарыда айтылғандай, «төңкерілген сынып» моделі жаңа материалды негізгі пысықтау үйде өз бетінше жүргізіледі деп болжайды. Socrative мобильдік бағдарламасының дидактикалық мүмкіндіктері студенттердің үлгерімін қашықтықтан бақылау процесін толық көлемде жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Жаңа материалдың игерілуін тексеруді екі кезеңде жүргізу ұсынылады:

1. Өзін-өзі бақылауға арналған Socrative платформасында оқытушы жасаған сұрақтар негізінде тестілеу

2. Socrative жүйесімен берілген және оқытушыға оқу үдерісін әрі қарай түзету мақсатында білім алушылар үшін ең проблемалық сәттерді анықтауға мүмкіндік беретін қалыптастырушы тестілеу.

Өзіндік жұмысты бақылау кезінде оқытушы Socrative мобильдік қосымшасының көмегімен әрбір оқушының жеке прогресін бақылау және тестілеу нәтижелеріне сәйкес одан әрі оқу процесін түзету мүмкіндігіне ие болады.

Қосымшада ұсынылған ойын элементі оны физиканы оқып үйренуге және біліміңізді жетілдіруге керемет мотиватор етеді. Мысалы: «Space Race» ойыны командалық / жеке жұмыстарға бағытталған. Осылайша, жаңа материалды одан әрі тәжірибеге бағытталған үшінші кезең де мүмкін болады.

1-кесте. Бақылау және бағалау қосымшаларының дидактикалық қасиеттері мен функциялары

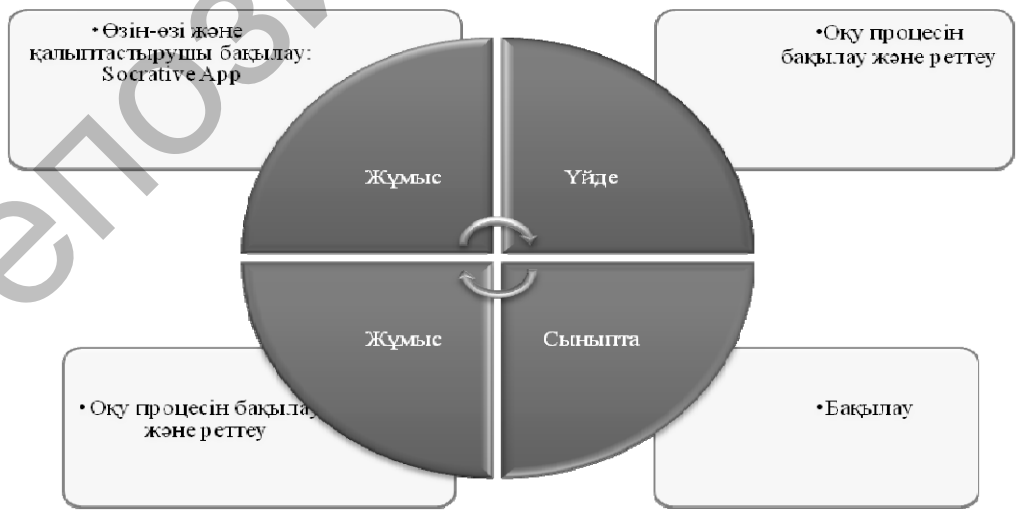
№	Дидактикалық қасиеттері	Socrative	Plickers
1	Сайт немесе мобильдік қосымшасы арқылы қол жетімділігі	✓	✓

Репозиторий КарГУ

2	Ақпаратты сақтау және басқада форматта (мәтін, графиг) беру	✓	✓
3	Білім алушылардың қызметін бақылау мүмкіндігін қамтамасыз ету	✓	✓
4	Алынған білімді бекіту және практикалық дағдыларды пысықтау	✓	✓
5	Білім алушылардың жауаптарын мобильдік қосымшалар арқылы сканерлеу және лезде жауаптарын алу мүмкіндігі	---	✓
6	Нақты уақытта тапсырмалардың онлайн орындалуын бақылау мүмкіндігі	✓	---
7	Алған білімдерін, дағдылары мен іскерліктерін бағалау	✓	✓
№	Дидактикалық функиялары	Socrative	Plickers
1	Оқу үрдісін ақпараттандыру	✓	✓
2	Жеке және топтық баұылауды ұйымдастыру	✓	✓
3	Білім алушыларда физика пәні бойынша дағдылардың қалыптасуы	✓	✓
4	Кері байланыс (білім алушының сұрақ қоя алуы)	✓	---
5	Дайындық деңгейін анықтау және оқушының әлеуетін болжау мүмкіндігі; Одан әрі жеке дамуды түзету	✓	✓
6	Оқытушы тарапынан қашықтан бақылау	✓	✓

Сабақты бақылау және бағалауды ұйымдастыру. Plickers мобильді қосымшасын сабақ басында өздігінен зерттелген материалды тексеру үшін қолданған жөн. Plickers сізге сауалнаманы тез арада жүргізуге мүмкіндік береді, ол үшін оқытушы тек оқушылардың жауаптары бар арнайы карталарды сканерлеуі керек. Сауалнама нәтижесі сканерлеу процедурасынан кейін бірден алуға болады.

Бақылаудың мұндай тәсілі сауалнаманың бүкіл процесін жеңілдетіп қана қоймай, оны жедел жүргізуге мүмкіндік береді (сурет. 1).



Сурет 1. Plickers және Socrative мобильді қосымшаларының көмегімен «Flipped classroom» моделінде физика сабағында бақылау және бағалау сызбасы

Репозиторий КарГУ

Осылайша, мобильді қосымшалар дидактикалық қасиеттері мен функциялары бойынша олардың физика сабақтарында «төңкерілген сынып» моделіне енуіне мүмкіндік беретін артықшылықтарға ие. Бұл оқушылардың білім деңгейін бақылау процесін жеңілдетеді, оқытушы мен студенттердің өзара әрекеттесуіне ықпал етеді, демек оқу процесінің тиімділігін арттырады. Бұл өз кезегінде алға қойылған білім беру мақсаттары мен жоспарланған оқу нәтижелеріне сапалы қол жеткізуге әкеледі.

Одан әрі зерттеудің перспективалық бағыты дидактикалық функциялар мен дауыс беру мен тестілеудің мобильдік қосымшаларының мүмкіндіктерін талдау, оқу процесін одан әрі оңтайландыру мақсатында олардың дәстүрлі және аралас оқуға кірігуі болып табылады.

Әдебиеттер

1. Arnold-Garza S. The flipped classroom teaching model and its use for information literacy instruction. Электр. ресурс. URL: http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1089137.pdf

2. Enfield, J. Looking at the impact of the flipped classroom model of instruction on undergraduate multimedia students at CSUN // Tech Trends: Linking Research & Practice to Improve Learning. 2013. № 57(6). С. 14–27.

3. Aronson, N., Kari M. Flipped Learning Network & Kenneth Tam, Pearson. Электр. ресурс. URL: http://www.flippedlearning.org/cms/lib07/VA01923112/Centricity/Domain/41/HigherEdWhitePaper%20FINAL

4. Cole, J. E., & Kritzer, J. B. Strategies for success: Teaching an online course // Rural Special Education Quarterly. 2009. № 28 (4). С. 36–40.

5. Рекомендации ЮНЕСКО по политике в области мобильного обучения. http://iite.unesco.org/pics/ publications/ru/files/3214738.pdf

Таймуратова Л.У., Козыбакова А.П.

Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау қаласы, Казақстан taimuratova@mail.ru,1966_altin@mail.ru

Молекулалық физика бөлімінде жаңа инновациялық технологиялар әдістерін қолдану

Елбасының 2018 жылғы «Төртінші өнеркәсіптік революция жағдайындағы дамудың жаңа мүмкіндіктері» жолдауында «Адами капитал - жаңғыру негізі. Білім берудің жаңа сапасы» деп аталатын 7-міндетінде «Білім берудің барлық деңгейінде математика және жаратылыстану ғылымдарын оқыту сапасын күшейту керек» екенін көрсетті [1].

Мұғалімдердің алдына қойып отырған басты міндеттердің бірі – әдіс-тәсілдерін үнемі жетілдіріп отыру және қазіргі заманғы педагогикалық технологияларды меңгеру болып табылады. Бұл өз кезегінде мұғалім статусы мен білім беру қызметін түбегейлі өзгертіп, сәйкесінше кәсіби құзыреттілік пен кәсібилік деңгейіне қойылатын талаптарды жаңғыртады.

Заман талабы мұғалімдерге жан-жақты жетілген, көпсалалы дайындық иесі болуды жүктейді.

Тәуелсіз мемлекетімізге өз кәсібін терең түсінетін, еңбеккор, өзгеріп отыратын жағдайларға өзінің білімі мен іскерлігін қолдана білетін қабілетті мамандар қажет. Ол үшін маманның кәсіби құзыреттілігін қамтамасыз ететін тұлғалық және кәсіптік жағдайлардың оқу іс-әрекеттерін қалыптастыруы болуы керек.

Оқу іс-әрекеттерін қалыптастыру мектептің ақпараттық ортасының мүмкіндіктерін, әлеуметтік сервистерін пайдалана отырып, тиімді өткізу. Сондықтан мұғалім оқушы үшін заманауи білім беру ортасын құрып, оқыту барысында құзыреттілік технологиялық коммуникация қалыптастыру керек.

Репозиторий КарГУ

Американдық педагог Ф.С. Шлехтидің айтуы бойынша білім беру бағдарламасын табысты игерген, таныс жағдаяттарда өз білімдерін қолдана алатын білім алушылар өз бетімен ақпаратпен жұмыс жасай алмаса, білімдерін толықтырмаса, ақпараттық қоғамда жетістікке жете алмайды.

Физика ғылыми-техникалық прогрестің негізі болғандықтан, физикалық білімнің маңыздылығы мен физиканың рөлі үздіксіз өсуде.

Ақпараттық құралдарды пайдалану кері байланыс сапасын арттыруға әкеледі. Сонымен бірге, физика сабағында интернет желісін және сайт сілтемелері арқылы тест жұмыстарын жасату және электронды оқулықты пайдалану да тиімді. 10 сынып физикасының «Молекулалық физика» бөлімін қарастырсақ, физиканы оқытуда ақпараттық коммуникациялық технологияларды тиімді пайдалану әдістемесін құру мәселесі туындайды. Себебі, бұл технологияны енгізу 10 сынып оқушылары үшін қиынға соқпайды, олар техникамен жұмыс істеуге дайын және ол үшін жеткілікті уақыттары бар.

Ақпараттық құралдарды пайдалану кері байланыс сапасын арттыруға әкеледі.

Оқу құралдарын электронды жүктеп оқу үшін штрих кодты сабақ үдерісінде пайдалануға болады.

Штрих кодты жасау жолдарының алгоритмі:

1. Пән бойынша оқу әдістемелік құрал дайындау немесе сол пәнге қажетті кітапты сканерлеу керек;
2. PDF форматында сақтау керек;
3. Оқу орнының жеке сайтына жүктеуге болады;
4. Сайттан сілтеме алу;
5. http://qrcoder.ru/сайтына кіру
6. Сілтеме бойынша нұсқаны таңдап, «Штрих код» жасау батырмасын басу керек;
7. Дайын болған Штрих кодты қажет орында сақтау;
8. Штрих кодты оқу үшін смартфонға «Сканер QR& Штрих+кодов» қосымшасын Play Market арқылы жүктеу;
9. Смартфонға дайын Штрих код арқылы қажет кітапты жүктеп, қажет уақытта пайдалана береді.



Сурет 1. Штрих код арқылы жүктелген «Молекулалық физика» бөлімі

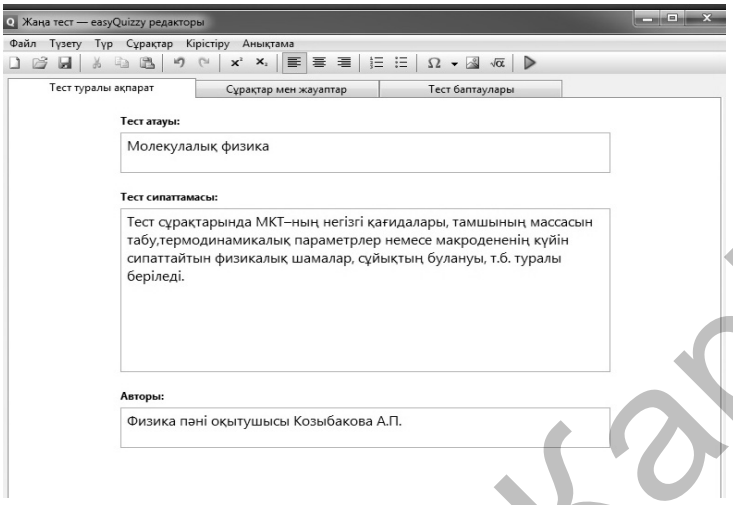
Сонымен бірге, материалды игеруде Easy Quizzy бағдарламасында қайталау ретінде тест жұмыстарын жүргізіп және физикалық есептер шешуді берген дұрыс.

Easy Quizzy бағдарламасында тест жасақтау алгоритмі:

1. Easy Quizzy бағдарламасын жүктеу керек;
2. Easy Quizzy бағдарламасын іске қосу керек, пайда болған терезеден «Танысуды жалғастыру» бөлімін таңдау;

Репозиторий КарГУ

3. «Тест туралы ақпарат» бөліміне кіру, қажетті мәліметтерді толтыру, тестті сақтау;
4. «Сұрақтар мен жауаптар» бөліміне өту, қажетті параметрлерді толтыру [2].



Сурет 2. Easy Quizzy бағдарламасында тапсырма орындау

2-суретте көрсеткендей, тапсырманы орындау үшін атын жазып, берілген тест жұмыстарын және сұраққа жауап және сәйкестендіру және т.б.-ды орындайды.

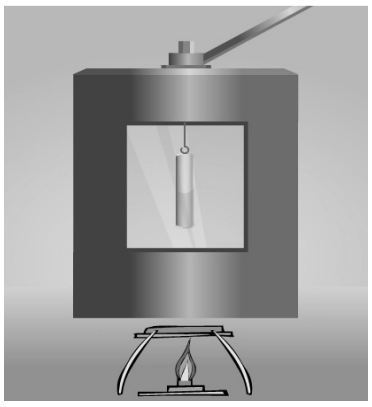
Bilimland.kz сайты арқылы орта білім беруге арналған жаңартылған бағдарламаға сәйкес әзірленген мектеп пәндерінің интерактивті сабақтарын пайдаланып тапсырмалар орындауға болады. Физика пәні бойынша оқытудың барлық кезеңін қамтиды. Мұғалім мен оқушы үшін сапалы білім алу құралы бола алады [3].

3,4-суреттерде, газ бен бу арасында қатты айырмашылық жоқ. Газ, әдетте, температурасы кризистік температурадан жоғары газ тәріздес күйдегі зат болып саналады. Бу деп температурасы кризистік температурадан төмен газтәріздес күйдегі затты айтады. Буды сұйықтыққа жай қысымды арттыру арқылы ғана айналдыру мүмкін, ал газды жоқ.

Виртуалды зертханалық жұмыс – нақты қондырғылармен тікелей байланыссыз немесе толық болмаған жағдайда эксперименттер жүргізуге мүмкіндік беретін бағдарламалық-ақпараттық кешен. Бұл жағдайда «виртуалды зертхана» сияқты ұғымдарды ажырату керек. Виртуалды зертхана негізі компьютерлік бағдарлама немесе бағдарламалардың тиісті жиынтығы, кейбір процестерді компьютерлік үлгілеуді жүзеге асырады.



Сурет 3. Кризистік температура



Сурет 4. Заттың кризистік күйін бақылау

Репозиторий КарГУ



Сурет 5. Гей-Люссак заңын тәжірибеде тексеру

Виртуалды зертханалық жұмыстарды орындау барысында физика пәндері бойынша білімалушылар анимациялық модельдер көмегімен зерттелген физикалық және химиялық құбылыстар мен процестердің динамикалық иллюстрацияларын қадағалай алады, нақты экспериментте байқау үшін қол жетімсіз, сонымен бірге, физикалық мөлшердің тиісті тәуелділіктерінің графикалық құрылымын эксперименттің барысын бақылайды[4].

«Термодинамика негіздері» тарауында «Гей-Люссак заңын тәжірибеде тексеру» тақырыбындағы зертханалық жұмысты виртуалды жүргізуге болады.

5-сурет бойынша оқушы берілген тапсырманы өлшеу құралдары мен қондырғылар арқылы орындай отырып, тәжірибені жасайды. Қалыпты жағдайда термометр айнала қоршаған ортаның температурасын көрсетеді. Аспаптар кезекпен қолданылады, қолданылғаннан кейін пунктирмен көрсетілген газ орындарына қайтарылуы керек.

«Будың, сұйықтың және қатты денелердің қасиеттері» тақырыбында оқушылардың назарын терминдерді дұрыс қолдануға және кристалдардағы байланыс типтері туралы кейбір мәліметтерді нақтылауға аудару қажет. Электронды оқулық арқылы тақырыпты пысықтай түсуге болады.



Сурет 6. Булану мен қайнау

6-сурет бойынша «Физика 10 сынып» электрондық оқулығы бойынша булану мен қайнау процесін көруге болады [5].

Репозиторий КарГУ

Мұғалімнің өз сабақтарында ақпараттық – коммуникативтік оқыту технологиясын қолдана білуі – заман талабы. Бұл технологияны қолдану барысында оқушының пәнге қызығушылығы, ізденімпаздығы артады және шығармашылық, өзбетімен жұмыстану, дербес ойлау, өз ойын жүйелі түрде тұжырымдай білу қабілеттері қалыптасады, әрі дамиды. Физиканы бағдарлы оқыту үшін көптеген мектептерде физикалық құрал-жабдықтар жетіспейді. Бұл өзекті мәселені шешу жолдарының бірі бағдарлы деңгейде физиканы оқытуға арналған интернет-ресурстарды қолдану.

Сайттардың, электрондық оқулықтардың көмегімен қажетті компьютерлік физикалық көрсетімдерді, эксперименттерді, тәжірибелерді, зертханалық жұмыстарды жүргізуге болады. Сонымен бірге, әдістемелік, дидактикалық материалдарды алып пайдалануға болады. Күнделікті сабақтарды да бір сарынды етіп өткізбей қазіргі заман талабына сай интербелсенді тақтаны, оның мүмкіндіктерінің барлық жақтарын қолдана отырып, әрбір сабаққа флипчарт құрып, тесттерді тест құрылғыларын пайдалану арқылы, білімалушының білім сапасын арттыруда көп көмегі тиеді. Білімалушы күнделікті сабақты тек тыңдап қана қоймай, өзі жасап үйренеді.

Әдебиеттер:

1. Қазақстан Республикасының білім беруді дамытудың 2011 - 2020 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасы (adilet.zan. kz)
2. Easy Quizzy.ru сайты
3. Bilimland.kz сайты
4. Трухин А.В. Виртуалды компьютерлік зертханалардың түрлері//Ашық және қашықтықтан білім беру.-2003ж.-№3 (11)-С.12-21
5. Электрондық оқулық. Физика-10сынып. Алматы, 2003ж.

Тулеубекова М.Б.[1], Карабекова Д.Ж.[1], Хасенов А.К.[1],Нурмуханов Б.Н.[2], Сарсембаева Г.О.[2]
[1]Карагандинский государственный университет имени Е.А.Букетова, [2] Коммунальное государственное учреждение "Школа - лицей №66"

Опорный конспект на уроках физики как средство для лучшего восприятия учебной информации

На сегодняшний день, в век современных компьютерных технологий, педагогу приходится все время покорять новые вершины знаний. Как отметил в своем Послании лидер нации Республики Казахстан Н.Назарбаев народу Казахстана «…Нам предстоит большая работа по улучшению качества всех звеньев национального образования. В среднем образовании надо подтягивать общеобразовательные школы к уровню преподавания в Назарбаев Интеллектуальных школах. Выпускники школ должны знать казахский, русский и английский языки. Результатом обучения школьников должно стать овладение ими навыками критического мышления, самостоятельного поиска и глубокого анализа информации» [1].

В этих условиях учителям необходимо ориентироваться в широком спектре современных инновационных подходов к конструированию учебных материалов нового поколения. Перед каждым педагогом стоит важнейшая задача подготовить таких учеников, которые могли бы адаптироваться и реализовать себя в современном мире. Достижение этой задачи невозможно, если учитель сам не готов к условиям быстро изменяющегося мира. По этой причине учителя проходя курсы квалификации, чтобы ознакомиться с новым содержанием образования в нашей республике.

Обновленное содержание образования Республики Казахстан - это программа образования, которая будет удовлетворять требованиям будущего поколения. Обновленное

Репозиторий КарГУ

образование важно по многим меркам: ученик в центре образования стоит как личность, которая умеет размышлять, изучать, проводить опыты, умеет использовать функциональную грамотность, творчество в работе, работает индивидуально и в группе. Обновленное содержание образования включает в себя критериальную систему оценивания, а именно формативное и суммативное оценивание, поэтапный переход на трёхъязычие, пятидневная учебная неделя, сокращение объема домашнего задания и правила сдачи итоговой аттестации [2].

Обучение направлено на ученика. Чтобы разнообразить форму проведения урока учителя используют разные методики, способы и средства обучения. В нашей статье мы хотим рассказать об опорном конспекте, как, по нашему мнению, лучшему средству для восприятия учебной информации.

Впервые опорные конспекты начал применять педагог-новатор В.Ф.Шаталов. Под опорным конспектом понимается «системный набор опорных сигналов, структурно связанных между собой и представляющих собой наглядную конструкцию, замещающую систему значений, понятий, идей как взаимосвязанных элементов» [3]. На рисунке 1, представлена рекомендация В.Ф.Шаталова по этапам построения опорного конспекта.

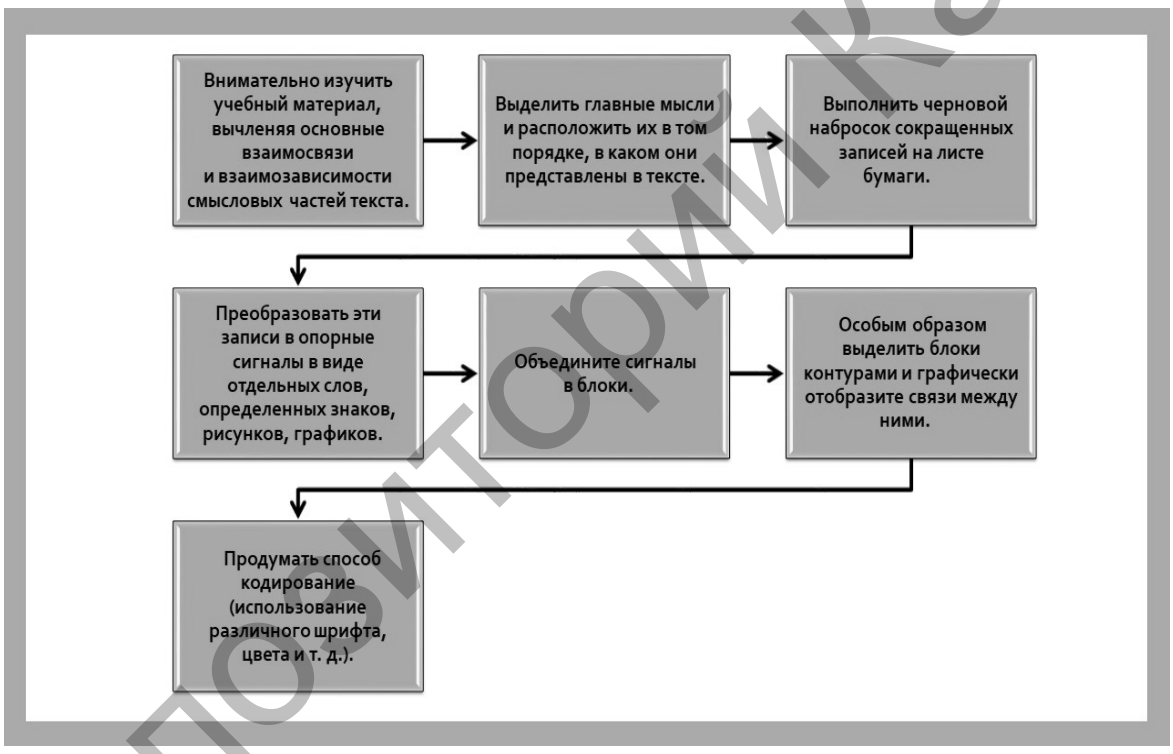


Рисунок 1. Этапы построения опорного конспекта по В.Ф.Шаталову

Опорные конспекты, по мнению А.Н. Щербакова, состоят из трех этапов:

1. Сбор теоретического материала. Этот этап играет большую роль в плане увеличения профессионального мастерства и обогащения знаний. На этом этапе подбирается литература, необходимая для изучения данной темы, выбираются из нее исторические справки, интересные факты, касающиеся изучаемой темы в плане ее связи с жизнью, техникой, производством.

2. Выделение ядра важнейших понятий. Из учебного материала выбираются только ключевые слова, символы, рисунки, схемы, помогающие вспомнить весь материал.

Репозиторий КарГУ

3. Составление опорного конспекта. На данном этапе на листе бумаги, либо на компьютере располагается весь подобранный материал, выраженный в графической и символической форме, во всех взаимосвязях[4].

В качестве примера на рисунке 2 представлен опорный конспект на тему «Движение молекул».

Нами был разработан ряд опорных конспектов для 7 класса по предмету «физика» на основе обновленного содержания образования. Мы использовали ментальные карты. Ментальные карты – представляют собой отображение на бумаге эффективного способа думать, запоминать, вспоминать, решать творческие задачи, а также возможность представить и наглядно выразить свои внутренние процессы обработки информации. Создание ментальных карт с учащимися позволяет наглядно представить логические и содержательные связи в учебном материале, использовать и расширять их субъектный опыт, что способствует интенсификации обучения, активизации учебной и познавательной деятельности, формированию и развитию визуального мышления, зрительного восприятия, образного представления знаний и учебных действий, достижению целостности учебного знания и пониманию учащимися учебного материала [6].

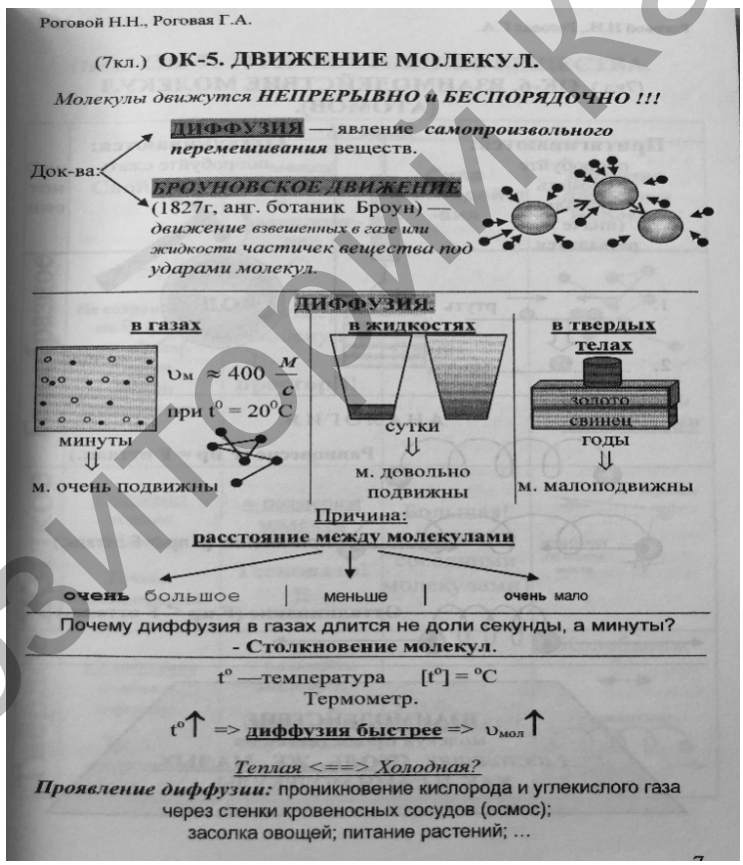


Рисунок 2. Пример опорного конспекта «Движение молекул» [5].

Чтобы создать ментальные карты существует множество программ. Нами была выбрана программа XMind. В данной программе нам предоставляется различный диапазон шаблонов и маркеров. Благодаря богатому инструментарию программы XMind, можно создавать интересные, увлекательные, привлекающие внимание учеников ментальные карты.

В процессе работы с картой её удобно разворачивать, кликая «плюсики», либо можно использовать стрелочки как показано на нашем рисунке 3. На рисунке представлены развертывания только некоторых разделов карты. Подобные ментальные карты готовятся

Репозиторий КарГУ

заранее и применяются при объяснении нового материала или обобщения изученного для структуризации знаний. Благодаря картам, дети наглядно могли видеть изображения ученых, рисунки, графики, формулы и текст. Такой вид опорного конспекта очень удобен, так как в настоящее время школы снабжены интерактивными досками и учителя могут передавать информацию в виде схем. Так же можно дать ученикам задания сделать ментальную карту самостоятельно или в группе. Постепенное развёртывание карты позволяет активизировать учебно-познавательную деятельность учеников, создавая проблемные ситуации, в которых обучаемые высказывают свои предположения о том, что должно находиться на следующем уровне ветвления (рисунок 3). Этому способствуют и вопросы, поставленные на первом уровне ветвления. Все это позволяет реализовать эвристический метод преподавания: ученики домысливают продолжение схемы по появления следующего её элемента.

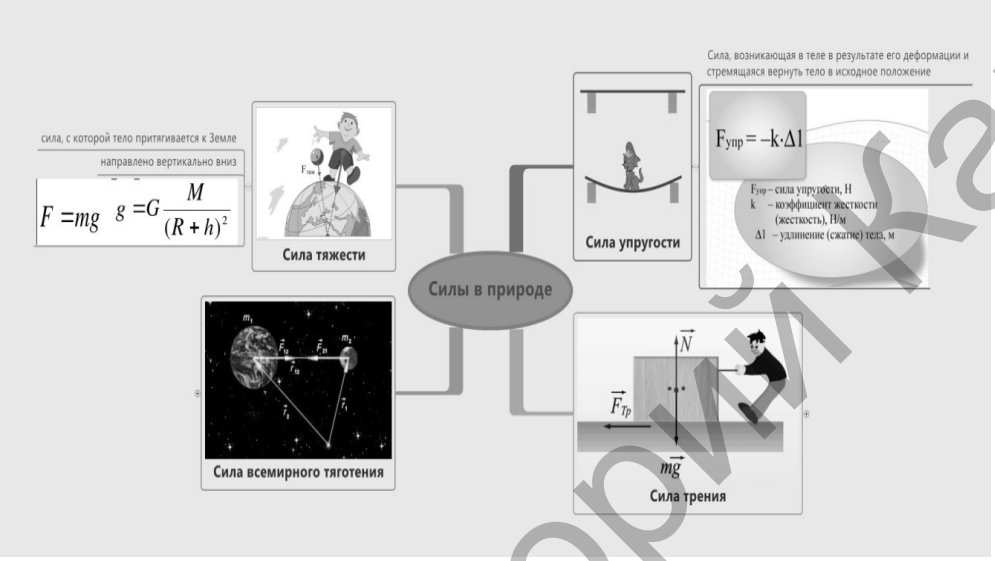


Рисунок 3. Часть развернутой ментальной карты «Силы в природе»

Сегодня Наличие опорных конспектов очень облегчает работу преподавателя, а для учеников является неким помощником. Неотъемлемой частью данной системы является рефлексия, как один из компонентов учебной деятельности учащихся, что реально повышает уровень понимания и осмысления изучаемого материала.

Литературы:

1. Послание Н.А.Назарбаева народу Казахстана "Казахстанский путь – 2050: Единая цель, единые интересы, единое будущее". 21 января 2014 г.

2. Об особенностях организации образовательного процесса в общеобразовательных школах Республики Казахстан в 2018-2019 учебном году: Инструктивно-методическое письмо. – Астана: Национальная академия образования им. И. Алтынсарина, 2018. – 388 с.

3. Шаталов, В. Ф. Учить всех, учить каждого / В. Ф. Шаталов // Педагогический поиск. — М., 1987. — С. 159–167.

4. Эрганова

5. Н.Е. Методика профессионального обучения [Текст]: учеб. Пособие Эрганова Н. Е. - Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф. пед. ун-та, 2009. – 150 с.

6. Роговой Н.Н., Роговая Г.А. Методические разработки опорных конспектов по физике (7 класс). Караганда 2018 г.

7. Кошева Д.П., Дербак Н.В. Информационные технологии визуализации учебной информации. 2016 г. С. 50-56.

Репозиторий КарГУ

Шуюшбаева Н.Н., Қожабаев Р.Г., Мейрманова А.А., Калиева А.К., Ақмағамбетова Ғ.К.
Ш.Уәлиханов ат.Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау, Қазақстан
nn_shuish@mail.ru

Физикадан компьютерлендірілген зерттеу жұмыстарын ұйымдастыру

Физика-бұл белсенді дамып келе жатқан ғылым. Сондықтан физиканы пән ретінде зерттеуге, одан әрі ғылыми жаңалықтар мен жетістіктер үшін жеке көңіл бөлінеді. Соңғы уақытта білім беру үдерісінде көп өзгеріс болды. Ағаш тақтаның орнына мультимедиялық проекторлар мен интерактивті тақталарды, ал бор орнына мультимедиялық маркерлер жиі пайдалана бастады. Сандық жабдықтар, мобильді гаджеттер және тағы басқалар білім беру мекемелерінде оқыту әдістемесін жеңілдетті.

Қазіргі заман талабына сай физика сабақтарында компьютерді және техникалық құралдарды пайдалану, физика кабинетінің жұмысын нәтижелі ұйымдастыру, жаңашыл педагогтардың тәжірибесін насихаттау, т.с.с. мәселелер бойынша кең көлемді зерттеу жұмыстарын жүргізу және толтума әдістемелік құралдар даярлауды қажет етеді[1].

Оқу процесі, ал физиканы нақты оқыту бірқатар проблемаларға тап болды, атап айтқанда білім алушылардың пәнге деген қызығушылығының төмендеуі және осының салдарынан білім деңгейінің төмендеуі. Бұл мәселелер ғылыми әдебиеттің тапшылығымен, көрнекі мысалдардың аз санымен, ескірген оқулықтармен және жаңа жабдықтардың жоқтығымен түсіндіріледі. Қазіргі әлемде ақпарат саны бірнеше есе артады және классикалық оқулықтар қалаған материалды бере алмайды, сондықтан электронды ресурстар жиі пайдаланылады. Сондай-ақ, компьютерді пайдалана алатын және қолданғысы келетін балалардың саны еселеп көбейгенін байқамауға болмайды. Сондықтан біз үшін компьютерлік технологиялардың көмегімен физиканы оқыту өзекті болып табылады[2].

Оқу экспериментін дамытудың перспективалық инновациялық бағыттарының бірі сабақ барысында компьютерленген тәжірибелерді қолдануға негізделген[3]. Оқу эксперименталдық қондырғыларда сандық датчиктер мен компьютерлерді пайдалану білім алушыларды ғылыми зерттеулердің қазіргі заманғы әдістерімен таныстырады, мәндерін тікелей өлшеу арқылы анықталатын шамалар ауқымын кеңейтеді, сандық өлшеулердің дәлдігін арттырады, уақыт бойынша зерделенетін құбылыстардың өту динамикасын қадағалауға мүмкіндік береді.

Зертханалық кешеннің құрамына ноутбуктан басқа бірнеше сандық датчиктер кіреді. Датчиктер үлгі оқу кабинеттері жағдайында білім алушылардың демонстрациялық эксперименттерін, зертханалық және зерттеу жұмыстарын жүргізуді қамтамасыз етеді[4].

Датчиктің негізгі құрылымдық элементтері оған көрсетілетін сыртқы әсерді электрлік сигналға түрлендіретін сезімтал элемент және осы сигналды цифрлық кодқа ауыстыратын, кабель арқылы тікелей дербес компьютердің USB портына берілетін аналогты-цифрлық түрлендіргіш болып табылады.

Аналогты-цифрлық түрлендіргіштің сыйымдылығы 12 бит, сенсор корпусына салынған, оның тізбегі өзі қосылған компьютер портынан жүзеге асырылады. Оны пайдалану үшін қосымша электр қуаты қажет емес.

Компьютерде сигнал арнайы бағдарламамен өңделеді және монитор экранында көрсетіледі. Қажет болса, деректер Excel сияқты басқа бағдарламаларға сақталуы немесе берілуі мүмкін.

Датчиктермен жұмыс істегенде:

- ✓ нөлдің орнатылуын және өлшеу шектерін калибрлеуді мезгіл-мезгіл тексеру керек;
- ✓ кернеуі 1000 В дейінгі электр қондырғыларымен жұмыс істеудің жалпы ережелерін және білім беру мекемесінің тиісті кабинеті үшін көзделген қауіпсіздік ережелерінің талаптарын орындау;

Репозиторий КарГУ

✓ датчиктің корпусына, кабельдер мен ажыратқыштарды бітеу орындарына сұйықтықтың түсуіне жол бермеу;

✓ датчиктерді ашуға, сондай-ақ олар соққы және күш жүктемелеріне ұшырамауы тиіс.

Датчикті компьютерге қосқаннан кейін датчиктің жұмысын қамтамасыз ететін тиісті компьютерлік бағдарламаны іске қосады. Бұдан әрі, бағдарлама кеңестерін пайдалана отырып, өлшеулерді орындауға кіріседі. Компьютерлік бағдарламалар мен эксперимент жүргізу бойынша нұсқаулықтар flash-тасығышта көрсетіледі. Әрбір датчик жеке қорапқа оралған және оны қолдану жөніндегі нұсқаулықты қамтитын техникалық паспортпен жабдықталған.

Соның ішінде қарастырғалы отырған зерттеу жұмысы кезінде қолданылатын кейбір датчиктердің жұмысына тоқталайық. 1- суретте ылғалдылық датчигі келтірілсе, 2-суретте температура датчигі көрсетілген.



Сурет 1- Ылғалдылық датчигі

Ылғалдылық датчигі - қоршаған ауаның салыстырмалы ылғалдылығын өлшеуге және тіркеуге арналған. Ол тұтас бір корпуста орналасқан сезімтал элементтен және өлшеу схемасынан тұрады. Электродтар мен олардың арасындағы арнайы полимерлі оқшаулағыш үш қабатты конденсаторлық құрылым - сезімтал элемент болып табылады. Электрод аралық кеңістіктегі және қоршаған ауадағы судың тепе-теңдігі жоғарғы электродтың кеуекті құрылымымен және датчик корпусындағы саңылау болуымен қамтамасыз етіледі.

Датчиктің негізгі техникалық сипаттамасы:

- Ылғалдылықты өлшеу диапазоны 10 нан 98% дейін
- Өлшеу қателігі кемінде 8 %
- Әрекет ету уақыты кемінде 30 с
- Жұмыс температурасының диапазоны, С 10 нан 35 дейін

Тәжірибелік қондырғыда датчикті пайдаланудың ерекшеліктері:

1. Агрессивті газдар мен бу датчигінің сезімтал элементіне әсер етуден, оның ішінде ацетон мен этанол буынан сақтану.

2. Датчикті су буының ағысынан сақтау.

3. Көрсетілген жұмыс диапазонынан тыс температурасы бар газдың сезімтал элементіне әсер етуге жол бермеу.

4. Өлшеуді жүргізу кезінде датчиктің сезімтал элементіне жарықтың әсерін болдырмау.

5. Ылғалдылығы 95 % астам ауаның ұзақ әсер етуі нәтижесінде дәлдік төмендеген кезде салыстырмалы ылғалдылығы 10 % аспайтын ортада датчикті 10 сағат бойы ұстап тұру керек.

Репозиторий КарГУ



Сурет 2- Температура датчигі

Температура датчигі- химиялық агрессивті және агрессивті емес ерітінділердің температурасын тіркеуге және өлшеуге арналған. Датчик электрондық блок болып табылады, ол тікелей компьютерге қосылады және тіркеу мен температураны өлшеуді қамтамасыз етеді. Датчиктің корпусына таттанбайтын болаттан жасалған герметикалық түтікше ұштарының бірінде сезімтал элемент орнатылған, ол кабельдің көмегімен схемаға жалғанады. Датчик кедергі термометрі негізінде жасалған.

Датчиктің негізгі техникалық сипаттамасы:

- температураны өлшеу диапазоны ^{o}C -50 ден +150 дейін
- ^{o}C рұқсат кемінде 0,1
- температураны өлшеу қателігі ^{o}C, кемінде 1
- сұйықтықтағы көрсеткіштерді белгілеу уақыты 0,5 с көп емес

Тәжірибелік қондырғыда датчикті пайдаланудың ерекшеліктері:

1. Көрсетілген жұмыс ауқымынан тыс температураның сезімтал элементіне әсер етпеу.

2. Дабыл болмаған кезде, тұтастығын тексеріп шығып, жалғау кабелі мен датчиктің корпусының бүтіндігін тексеру, датчиктің USB қосқышын компьютерге жалғанғанын тексеру.

Осы датчиктердің көмегімен жасалатын компьютерлендірілген «Салыстырмалы ылғалдылықты өлшеу» атты зерттеу жұмысына тоқталайық.

Жұмыстың мақсаты: Психрометр моделін пайдалана отырып ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтау әдісін меңгеру.

Құрал – жабдықтар: температура датчигі, ылғалдылық датчигі, тұрғы, шыны, бөлме температурасындағы шыныға құйылған су, жіп.

Көмекші құрал – жабдықтар: мақта кесегі, психрометрлік кесте.

Тәжірибенің теориялық негіздемесі

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығын өлшеудің мақсаты ылғалдылықты өлшейтін кеңістіктің ауасында қанығу күйінен қазіргі кездегі су буының қаншалықты алыс екенін анықтау болып табылады. Басқаша сөзбен айтқанда-ауада нақты бар су буының мөлшері сол кеңістіктің ауасында және сол температурада болуы мүмкін будың ең жоғары ықтимал мөлшеріне қатынасын анықтайды. Ауадағы су буының мөлшерін тікелей өлшеу үшін арнайы тәсілдер бар, алайда олар күрделі жабдықты және елеулі уақытты талап етеді.

Сондықтан практикалық мақсатта осы шаманы өлшеудің жанама әдістерін қолданады.

Мұндай әдістердің бірі психрометрді қолдануға негізделеді. Бұл әдістің мәні сұйықтықтың буланuы кезінде салқындату құбылысына негізделген. Булану кезінде сұйықтықтан энергия қоры сұйықтықтың ішінде ұстап тұруға ұмтылатын күштерді жеңу үшін жеткілікті молекулалар ұшып шығады. Әрине, сұйықтықта қалған молекулалардың орташа кинетикалық энергиясы азаяды. Температура молекулалардың орташа кинетикалық энергиясының өлшемі болғандықтан, булану салдарынан сұйықтықтың температурасы төмендейді. Бұл құбылыста психрометрдің жұмыс жасау принципі негізделген. Оның негізгі

Репозиторий КарГУ

бөліктері - екі термометр болып табылады. Біреуі бөлмедегі ауа температурасын өлшейді, ал екіншісі спирт бар резервуарда шеті сумен суланатын шүберекпен қоршалған. Матаның бетінен судың буланuы арқасында ол салқындатылады. Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы аз болған сайын, булану қарқынды жүруде және ылғалды матамен термометрде аз температураны көрсетеді. Ауа ылғалдылығының жоғарылауынан екі термометрдің көрсеткіштерінің айырмашылығы азаяды. Екі термометр де ауаның салыстырмалы ылғалдылығы 100% - ға жеткенде бірдей температураны көрсетеді. Осылайша, "құрғақ" және "ылғалды" термометрлердің көрсеткіштерін біле отырып, арнайы психрометриялық кестенің көмегімен ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтайды.

Тәжірибеге дайындық

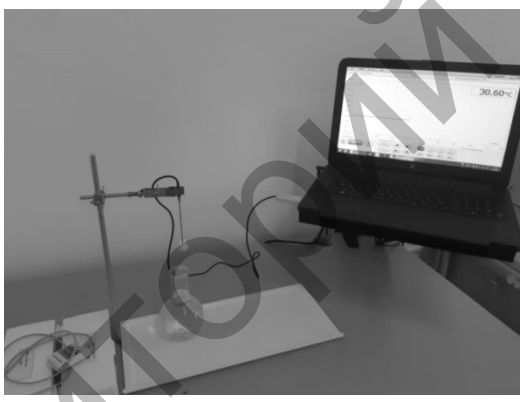
Студенттер тәжірибеге кіріспес бұрын, мынаны қайталауы тиіс:

1. «Салыстырмалы ылғалдылық» ұғымының мағынасын түсіну
2. Психрометр құрылғысымен және оның жұмыс істеу принципімен танысу
3. Психрометриялық кестенің құрылымы мен мазмұны

Тәжірибелік қондырғыны құрастыру реті.

Температура датчигі ноутбуктің USB-портына қосылады және штатив көмегімен оның соңы үстел бетінен 10-15 см биіктікте орналасатындай етіп бекітіледі. Датчиктің соңы жіппен бекітілген мақтаның шағын тілімімен оралады.

Құрылғының жалпы түрі 3 - суретте көрсетілген.



Сурет 3- Тәжірибелік қондырғы

Тәжірибені жүргізу бойынша нұсқаулықтар:

1. Температураның уақыт тәуелділігінің графигін экранға шығару.
2. Деректерді жинауды бастау.
3. Су құйылған стаканды датчикке көтеріп, оған мақтаны салу.
4. Стаканды алып тастап, суланған мақтаның температурасының өзгеруін қадағалау.
5. Температураның ең төменгі мәніне жеткеннен кейін және көтеріле бастағаннан кейін өлшеуді тоқтату.
6. Температура датчигін ноутбуктен бөліп, оның орнына ылғал датчигін қосыңыз.
7. Ылғалдылық датчигінің көрсеткіші бойынша ауаның салыстырмалы ылғалдылығының мәнін анықтау.

Сараптау нәтижелерін рәсімдеу

1. $T_к$- мақтаның құрғақ тілімінде температура мәнін кесте бойынша анықтау.
2. $T_ы$ - кесте бойынша мақтаның ылғалдылығы алынған температураның ең аз мәнін анықтау.
3. Құрғақ және ылғалды датчиктің температурасының айырымын есептеу $\Delta T=T_к-T_ы$
4. Психрометриялық кестені қолдана отырып, эксперимент деректері негізінде ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтау $\rho_{тәжірибе}$.

Репозиторий КарГУ

5. Алынған ылғалдылық мәнін ылғалдылық датчигі бойынша алынған мәнмен салыстыру $\rho_{өлш.}$

6. Психрометр арқылы салыстырмалы ылғалдылықты өлшеу әдісінің дұрыстығы туралы қорытынды жасау

7. Алынған мәліметтерді кестеге толтырып жазу және қорытынды жасау.

Қосымша тапсырма:

1. Психрометр болған жағдайда оның көрсеткіштері бойынша салыстырмалы ылғалдылықты анықтау.

2. Мәндерді салыстыру және нәтижелердің алшақтығының ықтимал себептерін көрсету.

Бақылау сұрақтары

1. Тәжірибе барысында құрғақ және ылғалды термометр температурасы бірдей болуы мүмкін бе?

2. Ылғалды термометр температурасы құрғақтан қарағанда жоғары болуы мүмкін бе?

3. Ауаның салыстырмалы ылғалдылығының шекті мәні қандай болуы мүмкін?

Датчиктік жүйелерді пайдалану бойынша біздің практикалық тәжірибеміз оларды қолдану тиімділігі көп жағдайда пайдалану қолайлылығына және, тиісінше, жабдықты, сондай-ақ әдістемелік және бағдарламалық сүйемелдеуді қамтитын эксперименттерді жүргізу әдістемесін пысықтау дәрежесіне байланысты екенін көрсетті. HP цифрлық зертханасының демонстрациялық модулі әр тақырыпқа датчиктермен қатар арнайы жабдықтарды, алдын ала дайындалған сценарий бойынша белгілі бір жұмыстарды жүргізу бойынша әдістемелік нұсқауды, демонстрациялық экспериментке арналған бағдарламалық қамтамасыз етуімен ерекшеленітіндігін көрсетті.

Практикалық оқыту және жобалық іс-шаралар білім алушылардың эксперименталды дағдыларын қалыптастыру және дамыту үшін жаратылыстану ғылымдары бойынша, сондай-ақ ағымдағы білім беру стандарттарының талаптарына сәйкес зертханалық кешеннің маңызы зор[5].

Әдебиеттер:

1. Жүсіпқалиева Ғ.Қ., Джумашева А.А., Құбаева Б.С. Мектепте физика курсын оқытудың теориясы мен әдістемесі: Оқу құралы. /Жүсіпқалиева Ғ.Қ., Джумашева А.А., Құбаева Б.С./ - Орал: М.Өтемісов атындағы БҚМУ редакциялық баспа орталығы, 2012. – 195 б.

2. Жақыпова Н. Физика сабағында компьютерлік технологияны тиімді пайдалану /Н. Жақыпова// Физика және астрономия. -2002. -№4. -61б.

3. Степанов С.В., Смирнов С.А. Лабораторный практикум по физике. /Под ред. Степанов С.В. - М.: Форум: ИНФРА-М, 2003.

4. Шуюшбаева Н.Н. Физикадан фронтальды зертханалық жұмыстар: Оқу құралы. – Көкшетау: Ш.Уәлиханов атындағы КМУ баспасы, 2018. – 103 б.

5. Шуюшбаева Н.Н., Мейрманова А.А. «LKE» кешенінің мүмкіндіктері // «Шоқан оқулары - 23» атты халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдары жинағы. Қазақстан, Көкшетау, 2019. Т.4. Б. 40-43.

Репозиторий КарГУ

МАЗМҰНЫ / СОДЕРЖАНИЕ / TABLE OF CONTENTS

ПЛЕНАРЛЫҚ БАЯНДАМАЛАР
PLENARY REPORTS
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Турмухамбетов А.Ж., Сакипова С.Е., Шаймерденова К.М. Профессор Кусаиынов К. - основатель карагандинской научной школы экспериментальной теплофизики. *([1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, [2]Карагандинский государственный университет им. академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан)*……
Байшагиров Х.Ж. О создании малых ветроэнергетических установок в Казахстане (*Кокшетауский государственный университет им. Ш.Уалиханова, Кокшетау, Казахстан*)…….. 13

СЕКЦИЯ 1.

Астрофизикадағы, бейсызық жүйелердегі динамикалық хаос және өзін-өзі ұйымдастыру

Dynamical chaos and selforganization in nonlinear systems, in astrophysics

Динамический хаос и самоорганизация в нелинейных системах, в астрофизике

Жанабаев З.Ж., Турмухамбетов А.Ж., Агишев А.Т., Усипов Н.М. Универсальный скейлинг скоплений галактик в расширяющейся вселенной **(***Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан***)**…… 19
Малков Е.А., Беков А.А., Момынов С.Б., Бекмухамедов И.Б., Орынқул И.С. Сечения пуанкаре потенциала Хенона-Хейлеса (*1Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск, Россия, 2Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, 3КГКП «Алматинский колледж моды и дизайна», Алматы, Казахстан)*. 23
Потапов А.А., Пахомов А.А., Потапов А.А. (мл.), Потапов В.А. Обработка оптических текстурных снимков поверхности марса кепстральными фрактально - топологическими методами (*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия)*..... 27
Потапов А.А., Пахомов А.А., Потапов В.А., Потапов (мл.) А.А. Цифровая обработка оптических текстурных снимков поверхности земли *(ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия)*..... 32
Temiraliev A., Abishev M., Fedosimova A., Lebedev I.1, Sidorov Y. The formation of stable quark-gluon structure in nonlinear dynamics *(1Institute of Physics and Technology, Satbaev University, Almaty, Kazakhstan. 2Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan)*..... 34
Жумаев М.Р., Шарипов М.З., Миржонова Н.Н. Средняя плотность чисел частиц квантовых релятивистских идеальных газов *(Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан)*..... 38
Астанов С.Х., Шамсиев Р.Х. Спектроскопические проявления самосборки пищевых красителей ***(****Бухарский инженерно- технологический институт, Бухара, Узбекистан)*..... 43
Астанов С.Х., Касимова Г.К., Ахорова М.И., Ёкубов М.Э. Самосборка молекул рибофлавина в бинарных растворителях *(Бухарский инженерно – технологический институт, Бухара, Узбекистан).* 48
Туртаева Н.М., Жасыбаева М.Б., Бауыржанкызы Г.Б., Нуркасымова С.Н., Ержанов К.К. Точное решение космологической модели f(r,t)-гравитации с фермионными полями ***(****ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан)*..... 53
Мади П.Ш., Нешина Е.Г., Дуйсенбаева М.С. Математическая модель геометрических параметров оптических характеристик волны и температуры на основе дифракционной решетки (НИ ТПУ, Томск, Россия, КарГТУ, Караганда, Казахстан)..... 56
Kutum B.B., Kutumova* Zh.B. Geometric properties of soliton surfaces of the toda lattice equation (*Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan. *Karaganda State University, Karaganda, Kazakhstan*)..... 61
Каныгина О.Н., Филяк М.М., Четверикова А.Г., Багдасарян Л.С. Самоорганизация структуры в природных конденсированных средах под воздействием высокочастотного поля (*Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия*)..... 64
Потапов А.А. 40 лет работы с фракталами и текстурами: математические и физические аспекты фрактально - скейлингового метода в обработке многомерных сигналов, статистической радиофизике и радиолокации (*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия*)..... 66
Шарипов М.З., Соколов Б.Ю., Ризокулов М.Н. Доменная структура и магнитная фазовая Н–Т – диаграмма тербиевого феррита-граната $TB_3FE_5O_{12}$ в температурной области в окрестности точки магнитной компенсации (*Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан*). **77**

Репозиторий КарГУ

СЕКЦИЯ 2.

Конденсацияланған орталардағы хаос және құрылымдар

Chaos and structures in condensed matter

Хаос и структуры в конденсированных средах

Жанабаев З.Ж., Ибраимов М.К., Ханиев Б.А., Тилеу А., Кембаева Ж.Д. Влияние адсорбции газов на электрофизические характеристики наноструктурированных кремниевых пленок (*Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы*)..... 84

Сенють В.Т., Витязь П.А., Валькович И.В., Хейфец М.Л., Колмаков А.Г. Исследование структуры самофлюсующегося никелевого сплава системы Ni-Cr-B-Si с добавками нано- и микропорошков кубического Bn после термобарической обработки (*[1] Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь, [2]Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь, [3]ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь, [4]Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия)*..... 87

Еремин Е.Н., Гученко С.А., Юров В.М., Завацкая О.Н. Износостойкость и трибологические свойства высокоэнтропийных покрытий CrNiTiZrCu (*[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия. [2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 90

Алихайдарова Э.Ж., Афанасьев Д.А. Оптические и электрические свойства композитных пленок на основе полимеров поли (9,9-ди-н-октилфлуоренил-2,7-диил) и поли [3-гексилтиофен] (*[1]Институт молекулярной нанофотоники, Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, [2]Институт прикладной математики, Караганда, Казахстан*)..... 95

Zhumabekov A. Zh. Photocatalytic activity of ternary nanocomposite material "tio_2-graphene oxide-Ag" (*Institute of Molecular Nanophotonics, Buketov University,Karaganda, Republic of Kazakhstan*)..... 98

Саулебеков А.О., Камбарова Ж.Т. Фокусирующие свойства электростатического квадрупольно – цилиндрического зеркала (*[1]Казахстанский филиал МГУ им. М.В.Ломоносова, Нур-Султан, Казахстан. [2]КарГУ им.Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан)*..... 100

Кудусова И.А. Изучение износостойкости особо твердых покрытий (*КарГУ им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 105

Kantay N., Kasmamytov N.K., Rakhadilov B., Plotnikov S., Pashkovskyi M., Tuyakbayev B. [1]D. Serikbayev Change in structure and physical properties of porcelain ceramics at various firing temperatures (*EKSTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. [2] Institute of Physical-Technical Problems and Materials Science NAS KR, Bishkek, Kyrgyz Republic. [3] S.Amanzholov EKSU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. [4]Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland*)..... 107

Ким М.С., Жумабеков А.Ж. Фотодеградация метиленового голубого на поверхности нанокомпозитного материала «диоксид титана-восстановленный оксид графена» (*Карагандинский Государственный Университет им. Е.А.Букетова, г. Караганда, Казахстан*)..... 112

Кубич В.И., Гученко С.А., Юров В.М., Завацкая О.Н. О коэффициенте трения высокоэнтропийных семиатомных сплавов (*[1]Запорожский национальный технический университет г. Запорожье, Украина. [2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 114

Кубич В.И., Чернета О.Г., Юров В.М. Методика определения параметров адгезионных свойств материалов на машине трения СМЦ-2 (*[1]Национальный университет «Запорожская политехника», г. Запорожье, Украина, [2]Днепровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина, [3]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда, Казахстан*) 119

Налбандян В.М., Селиверстова Е.В., Темирбаева Д.А., Кучеренко М.Г., Ибраев Н.Х. Плазмон-активированные процессы в гибридном молекулярном кластере со сферической наночастицей (*Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия, Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 122

Кучеренко М.Г., Русинов А.П., Ибраев Н.Х., Селиверстова Е.В. Радиационные и безызлучательные процессы в молекулярных системах над квазидвумерной решеткой плазмонных наночастиц (*Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия. [1]Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 128

Кучеренко М.Г., Кручинин Н.Ю. Форма импульса замедленной флуоресценции, сопровождающей молекулярную реакцию в петлевом полимерном слое на поверхности поляризованной глобулы (*Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия*)..... 133

Кучеренко М.Г., Кручинин Н.Ю. Перестройка конформаций полиамфолитной макроцепи, адсорбированной на поверхности поляризованной свч-полем металлической наночастицы (*Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия*)..... 139

Кучеренко М.Г., Налбандян В.М. Диссипация энергии поля экситон-активированной квантовой точки

Репозиторий КарГУ

в кластере проводящих наночастиц (*Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия*). 145
Юров В.М., Олешко В.С., Федоров А.В. Разработка устройства определения работы выхода электронов (*[1]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан, [2]Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия*). 149
Олешко В.С., Юров В.М. Работа выхода электронов и толщина поверхностного слоя металлов и сплавов (*[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия, [2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан*)..... 154
Омарова Г.С. Влияние размера наночастиц серебра на спектрально-люминесцентные свойства РОдамина 6Ж (*Институт молекулярной нанофотоники, Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда, Республика Казахстан*)..... 159
Завгородний А.В., Рожкова К.С. Исследование фотоэлектрических характеристик активного слоя P3HT/PCBM при добавлении наноструктурфталоцианина меди (*Карагандинский государственный университет им. академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 163
Ибраев Н.Х., Садықова А. Е., Болатова Л.А. Исследование фотокаталитической активностимультислойных пленок на основе оксида графенаи TiO_2 (*Институт молекулярной нанофотоники, Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда, Республика Казахстан*)..... 168
Гончаренко В.И., Васильев С.Л., Дмитриев С.А., Юргенсон С.А., Юров В.М. Экспериментальное исследование методом вычислительной рентгеновской томографии изменения структуры полимерного композиционного материала (*[1]Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия, [2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан*)..... 170
Гончаренко В.И., Васильев С.Л., Дмитриев С.А., Юргенсон С.А., Юров В.М. Анализ распространения ударных повреждений в композиционных материалах методом вычислительной рентгеновской томографии (*[1]Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия. [2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан.*)..... 175
Tabiyeva Y.Y., Rakhadilov B.K., Uazyrkhanova G.K., Zhurerova L.G., Sagdoldina Zh.B., Kurbanbekov Sh.K., Serikbayev D. Research of change in tribological properties of steel grade 2 after electrolytic-plasma exposure (*East-Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan., S. Amanzholov East-Kazakhstan State University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan., K.A.Yassawi International Kazakh-Turkish University,, Kazakhstan*)..... 179
Темирбаева Д.А. Влияние наночастиц серебра на спектрально-люминесцентные и фотовольтаические свойства мероцианиного красителя (*Институт молекулярной нанофотоники, КарГУ им. Е.А. Букетова, Казахстан*)..... 184
Tompakova N., Fedosimova A., Dmitriyeva E., Lebedev I., Mukashev B., Serikkanov A., Temiraliev A. Modeling the formation of pattern fractal structures in thin films of a chemical reaction with diffusion**.** (*[1]Institute of Physics and Technology, Satbaev University, Almaty, Kazakhstan. [2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*)..... 187
Тусеев Т., Бейбиталы Н.Е. Радиационно стимулированные адсорбционные процессы на поверхности окиси бериллия (*КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*)..... 192
Юров В.М. Сколько атомов находится от поверхности атомарно-гладких кристаллов? (*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан*)..... 195
Алпысова Г.К., Лисицын В.М., Мусаханов Д.А., Чжэн Ш., Карипбаев Ж.Т., ГречкинаТ.В. Спектры люминесценции ИАГ: СЕ люминофоров (*[1]ЕНУим. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан. [2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова. [3]Томский политехнический университет, Томск, Россия*)..... 200
Сериков Т.М., Ибраев Н.Х., Болатова Л.А. Фотокаталитические свойства пленок образованных наностержнями TIO_2 (*Карагандинский государственный университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Республика Казахстан*)..... 204

Репозиторий КарГУ

СЕКЦИЯ 3.

Жылу- масса- алмасу бейсызық процестердің динамикасы

Dynamics of nonlinear processes of heat and mass transfer

Динамика нелинейных процессов тепло-массо-переноса

Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Оспанова Ш.С. Статистическое исследование неизотермических жидких впрысков топлив при высокой турбулентности (*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*)..... 208

Васенин И.М., Нариманов Р.К., Перчаткина Е.В., Шрагер Л.А. Расчет движения двухфазного потока с пузырьками газа малого размера (*Томский государственный университет, г.Томск, Россия*)..... 213

Исатаев М.С.,[Жангунов О.], Төлеуов Ғ.Қ., Сейдулла Ж.Қ, Сұлтан М.Р. Күрделі ағыстарды эксперименттік зерттеу (*әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті Алматы, Қазақстан Республикасы*)..... 215

Bektazinova A.K., Ispulov N.A., Zhukenov M.K., Kissikov T.G. The solution of problems of the propagation of elastic longitudinal and thermal waves in anisotropic medium of cubic system (*[1]Master student of S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan. [2]Professor of S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan. [3]Assoc. professor of S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan. [4]Lecture, University of California, Davis, USA*)..... 218

Джайчибеков Н.Ж., Киреев В.Н., Шалабаева Б.С. Математическая модель диэлектрической капли в электрическом поле (*[1]Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан. [2]Башкирский государственный университет, Уфа, Россия*)..... 224

Нариманов Р.К., Мерзляков А.В., Майлюков Д.А., Нариманова Г.Н. Движение заряженных частиц в электронных приборах с учетом особенности граничных условий (*[1]Томский государственный университет, г. Томск, Россия. [2]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия*)..... 228

Смирнов Ю.М., Сыздыков А.К., Смакова Н.С. Нелинейные процессы в низкочастотных гидравлических ударных системах (*Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан*)..... 232

Шуюшбаева Н.Н., Нүсіпбеков Б.Р., Ахмадиев Б.А., Танашева Н.К., Садвакасова Д.Ж. Ұшқын разрядтарының электрлік сипаттамалары (*[1]Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау, Қазақстан. [2]Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан. [3]Қолданбалы математика институты, Қарағанды, Қазақстан*)..... 236

Shuyushbaeva N.N., Stoev M., Akhmadiev B.A., Tanasheva N.K., Altaeva G.S. Study of heat exchange processes on soil heat exchangers of a heat pump (*[1]Kokshetau State University named after Sh.Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan. [2]Karaganda State University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan. [3]Institute of Applied Mathematics, Karaganda, Kazakhstan*)..... 238

Танашева Н.К., Нусупбеков Б.Р., Дюсембаева А.Н., Саденова К.К., Шуюшбаева Н.Н., Тлеубергенова А.Ж.[1], Есіркеп А.Ж. Исследование аэродинамических характеристик вращающихся двух цилиндров расположенных под углом (*[1]РГКП «Институт прикладной математики» КН МОН РК, Караганда, Казахстан, [2]Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, [3]Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан)* 242

Сакипов К.Е., Айтмагамбетова М.Б., Бимендин А.К., Дюсенов К.М. Использование управляемых процессов кавитации для генерации тепловой энергии (*Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, Нур-Султан,Казахстан*)..... 245

Ершина А.К., Парманбеков У.К., КарымбайА.Н. Вертикально-осевой двухроторный ветроэнергетический агрегат НВІ-ротор (*Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан*)..... 248

Kaptagay G.A., Koilyk N.O., Sandibaeva N.A., Utebaeva A.A Energy efficiency of the nitrogen-doped Co_3O_4 (100) surface for water dissociation (*[1]Kazakh national women's teacher training university, Almaty, Kazakhstan,[2]National center of development of qualification «Orleu», Almaty, Kazakhstan*)..... 253

Оспанова[1] Д.А., Айтпаева З.К., Нургалиева Ж.Г., Несіпбек Ж.С. Гидроимпульстік процесс кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының динамикалық қасиеттерін зерттеу (*[1]Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды қ., Қазақстан, [2]№53 ЖББ МЛ, Қарағанды қ., Қазақстан*)..... 257

Шаймерденова К.М., Булкаирова Г.А., Ботпаев Н.К., Нургалиева Ж.Г., Тусыпбаева А.С., Сағынгалиева А. Әр түрлі диапазондағы сәулелердің суда жұтылуына электроимпульстік разрядтың әсері (*Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды қаласы, Қазақстан Республикасы*)..... 260

Kazhikenova S.Sh., Nussupbekov B.R., Shaltakov S.N. Copper melt's flow numerical modeling into account

Репозиторий КарГУ

desing of liguid metals.(*[1]E.A.Buketov Karaganda State Technical University, [2]Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan)*..... 266
Жуков А.С., Толынбеков А.Б. Фильтрационное горение хрома в азоте в спутном потоке СВС (*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*)..... 270
Satbayeva Z.A., Rakhadilov B.K., Bayatanova L.B., Kozhanova R.S., Kalibayev K.A., Kenesbekov A.B., Kombayev K.K. Impact of electrolyte-plasma surface hardening on microhardness and microstructure of steels 40HN, 34HN$_1$M (*[1]S.Amanzholov East Kazakhstan State University, Ust-Kamenogorsk, the Republic of Kazakhstan. [2]D.Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, the Republic of Kazakhstan*)..... 273
Шрагер Э.Р., Якович А., Сакипова С.Е., Кусаиынова А.К. Проблемы и перспективы использования альтернативных источников энергии с учетом условий местного климата *([1]Томский государственный университет, Томск, Россия, [2]Университет Латвии, Рига, Латвия, [3]Карагандинский государственный университет им. Академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан)*..... 278

СЕКЦИЯ 4.1

Бейсызық физика және жаңа технологиялар келесі бағыттар бойынша: жылу энергетика және көлік; радиофизика, электроника және телекоммуника-циялар; ақпараттық жүйелер.
Nonlinear physics and new technologies of: power system and transport; radio physics, electronics and telecommunications; information system.
Нелинейная физика и новые технологии: теплоэнергетики и транспорта; радиофизики, электроники и телекоммуникаций; информационных систем; педагогики и инновационного образования.

Бекалай Н.К., Болысова Ж. Комбинированная система отопления с солнечными коллекторами (*Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан*)..... 284
Кенжебек А.С., Дюсембина А.Г., Дюсембин А.Г. Электр энергетикада магнитті гидродинамикалық генераторды пайдаланудың тиімділігі (*Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан*)..... 288
Рысбиева А.К, Башкеев К.У., Данлыбаева А.К. Жылу электр орталықтарынан бөлінетін ауаны ластауша зиянды қалдықтарды азайту жолдарын талдау (*әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан*)..... 292
Сүйінжанова Ұ.П., Қожабекова Э.Қ., Серікбаева Ф.Б., Медетбекова Г.К. Жану камерасына бүркілген сұйық отынның жануы туралы есептің физикалық моделі (*ОҚМПУ, Шымкент, Қазақстан*). 294
Хажидинова А.Р., Степанова О.А., Ермоленко М.В., ХажидиновА.С. Анализ влияния загрязненности воздухоподогревателя на эффективность работы котлоагрегата (*[1]Государственный университет им. Шакарима, Семей, Казахстан, [2]Филиал Институт атомной энергии НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан*)..... 299
Құрымбаев С.Ғ., Тишбеков А.А. Жол-көлік оқиғаларын төмендету мәселелері (*Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан*)..... 302
Құрымбаев С.Ғ., Шәктаев Қ.Б. Бошайбеков Е.М. Іштей жану қозғалтқыштарындағы (іжқ) тұтанудың физикалық- химиялық жаратылысы (*Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан*)..... 305
Тлеубергенова А.Ж., Танашева Н.К., Миньков Л.Л., Дюсембаева А.Н., Саденова К.К.[1] Конструкция горелочного устройства для сжигания водоугольного топлива (*[1]Карагандинский государственний университет им. Е.А. Букетова, [2]Институт прикладной математики, Караганда, Казахстан, [3]Томский государственный университет, Томск, Россия*)..... 308
Шункеев Т.А., Шаймерденова К.М., Иманасова Н.В., Оспанова Д.А., Рахманқызы А. Повышение качества угля путем использования комбинированной машины сухого обогащения (*[1]Карагандинский государственный университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан; [2]Санкт-Петербургский научно-исследовательский проектно-изыскательский институт, Россия*)..... 311
Қарабекова Д.Ж., Нүсіпбеков Б.Р., Хасенов А.К., Қисабекова П.Ә., Сабитова М.Б. Жылу желілерінің жай-күйін бақылау (*Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан*)..... 315
Оспанова Д.А., Айтпаева З.К., Бакиева Ж.К., Рымбекова И.Б., Шапай М. Күрделі құбырлардағы соққы толқын құбылыстарын зерттеудің тәжірибелік нәтижелері (*[1]Академик Е.А. Бөкетов атындағы ҚарМУ, [2]«КӘАҚҚ РОШ» ЖШС Қарағанды филиалы, [3]Қарағанды политехникалық колледжі, [4]№53 ЖББ МЛ, Қарағанды, Қазақстан)*..... 318
Рахманқызы А., Шаймерденова К.М., Киврин В.И, Тусыпбаева А.С. Анализ организации энергетических обследований и энергетического аудита (*[1]Карагандинский государственный университет имени Е.А. Букетова, [2]ТОО «Эргономика», Караганда, Казахстан*)..... 321

Репозиторий КарГУ

Сатыбалдин А.Ж., Айтпаева З.К., Сатыбалдин Н.Ж., Мадиханова А., Смагулова Д. Кинетика процесса активации органической массы высокомолекулярного углеводородного соединения с помощью коротко-импульсного разряда (*Карагандинский государственный университет, Караганда, Казахстан*)..... 325
Ахмадиев Б.А., Кыздарбекова Ш.С., Ботпаев Н.К. Современное состояние применения тепловых насосов за рубежом и в Республике Казахстан для получения тепла (*Карагандинский государственний университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан)*..... 330
Утебаев И.С., Аманжолова М.Қ., Есенгулов Д.Е. ABS - бұғаттауға қарсы тежегіш жүйесі (*Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан*)..... 334
Мерзадинова Г.Т., Сакипов К.Е., Шарифов Д.М, Калиева Ж., Сатбеков А. Лазерный оптико-акустический ультразвуковой метод технической диагностики объектов теплоэнергетики. (*Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, [2]Институт научно-технических и экономических исследований, Нур-Султан, Казахстан)*..... 336
Кунакбаев Т., Танашева Н.К., Толебеков С.К. Экспериментальные исследования эффективности автономной компактной трехэтажной гибридной ветроэлектростанции ([1]*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,* [2]*Институт прикладной математики, Караганда, Казахстан)*..... 339
Пахомов А.А., Потапов А.А. Теоретико - эвристический подход к анализу расширения возможностей обработки радиолокационных сигналов (*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия*)..... 343
Потапов А.А., Герман В.А., Пахомов А.А., Потапов А.А. (мл.), Потапов В.А. Обработка медицинских рентгеновских текстурных изображений оригинальными интегрально - фрактальными методами (*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия*)..... 346
Шакиров А.Л. Бинокуляр универсальный **(***КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*)..... 354
***Курмаш А., Ермаганбетов К.Т., Чиркова* Л.В.** Самоорганизация электронов в полупроводниковых приборах (*Карагандинский государственный университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 357
Құрмаш А.Н. P-n ауысуда жүретін физикалық үдерістердегі синергетика элементтері (*Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан*)..... 362
Байдельдинов У.С., Атеев К.Б., Абиева М.С. Перспективы совершенствования входных целей радиоприемного устройства (*КазНУ им. Аль-Фараби, г. Алматы. Казахстан)*..... 364
Комаров А.И., Гудков В.Г., Орда Д.В., Карамышева Ю.С., Искандарова Д.О. Влияние структуры и морфологии микроплазменных алюмооксидных покрытий на сорбцию патогенных биологических агентов ([1]*Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения, Национальной академии наук Беларуси", Минск, Беларусь,* [2]*Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр эпидемиологии и микробиологии», Минск, Беларусь).* 367
Сериков А.Ж., Куанышбеков М.Е. Лабораторный макет для изучения характеристик вынужденного излучения активного элемента на основе пленок нанопористого оксида алюминия, допированного молекулами красителя (*Институт молекулярной нанофотоники, Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 372

СЕКЦИЯ 4.2

Педагогика және инновациялық білім беру саласында жаңа технологиялар
New technologies of the pedagogy and innovative education
Новые технологии педагогики и инновационного образования.

Aubakirova G.T., Baigotanova A.E., Beketova A. About application of neurolinguistic programming theory in english language teaching and information management (*Karaganda Economic University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan*)..... 376
Kozhabekova E.K., Suiinzhanova U.P., Serikbaeva F.B., Medetbekova G.K. Pedagogical and psychological bases of teaching with students (*SKSPU Shymkent, Kazakhstan*)..... 378
Mamedova M.R., Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Mazhrenova N.R., Shortanbayeva Zh.K. The perspectives for using online courses to implement the concept of lifelong learning (*Al-Farabi Kazakh National University Almaty, Kazakhstan*)..... 380
Mussaibekov R.K., Dautov A.O., Shuyushbayeva N.N. Applying of aesthetic elements in mathematics and physics (*Kokshetau State University named after Sh.Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan*)..... 383
Дәрібеков С.Д., Үмітбек Ж.Т. Сапалық есептерді шығаруда компьютерді пайдалану (*Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды Мемлекеттік Университеті, Қарағанды, Қазақстан*)..... 387
Есембекова Ж.Ж. Бағалауда электрондық құралдарды қолданудың психологиялық – педагогикалық аспектілері (*Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан*). 391
Жакупова К.З. Критерии выбора методов и технологии при обучении физике студентов творческих

Репозиторий КарГУ

специальностей (*Карагандинский Государственный Университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 396
Ильина Л.Ф., Каюмова А.С. Об организации научно- методической работы студентов- физиков в плане их подготовки к профессиональной деятельности в современных условиях (*Карагандинский Государ-ственный Университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*)..... 399
Костангельдинова А.А., Анохина Т.В. Влияние информационного обучения на развитие творческого потенциала обучающихся (*Кокшетауский государственный университет им. Ш.Уалиханова, Кокшетау, Казахстан*)..... 402
Камбарова Ж.Т., Сакипова С.Е., Копбалина Қ.Б., Жанбирбаева П.А. *Физика сабақтарында құзыреттілікті-бағдарланған әдісөтәсілді қолдаду ерекшеліктері.* (*[1]Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, [2]Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан)*..... 404
Кушербаева М. Р. Қазіргі заман талабына сай жаңартылған білім беру жүйесі (*Абай атындағы ҚазҰПУ, Алматы, Қазақстан*)..... 408
Қожабаев Р.Г., Шуюшбаева Н.Н., Алтаева Г.С., Калиева А.К. Физикадан оқушыларда практикалық сипаттағы біліктіліктер мен дағдыларды қалыптастырудағы эксперименттік есептер (*Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау, Қазақстан*)..... 410
Мұратбекова А.А., Абишева Г.И., Мұратбекова К.М., Жұманазарова Н.К. Clil әдісін химия бағыты бойынша пәндерді оқытуда қолдану (*Е.А.Бөкетов атындағы қарағанды мемлекеттік университеті ҚР, Қарағанды қ.*)..... 412
Сакипова Ш.Е. Об инновационных технологиях компьютерного обучения с использованием программы MATLAB (*Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан*)..... 415
Сүйінбек Ж., Есембекова Ж. «Flipped classroom» моделіне оқу қызметін бақылау мен бағалауға арналған мобильді қосымшаларды кіріктіру (*Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан*)..... 418
Таймуратова Л.У., Козыбакова А.П. Молекулалық физика бөлімінде жаңа инновациялық технологиялар әдістерін қолдану (*Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау қаласы, Казақстан*)..... 423
Тулеубекова М.Б., Карабекова Д.Ж., Хасенов А.К., Нурмуханов Б.Н., Сарсембаева Г.О. Опорный конспект на уроках физики как средство для лучшего восприятия учебной информации (*[1]Карагандинский государственный университет имени Е.А.Букетова, [2]Школа - лицей №66, Караганда, Казахстан*)..... 427
Шуюшбаева Н.Н., Қожабаев Р.Г., Мейрманова А.А., Калиева А.К., Ақмағамбетова Ғ.К. Физикадан компьютерлендірілген зерттеу жұмыстарын ұйымдастыру (*Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау, Қазақстан*)..... 431

Репозиторий КарГУ

Научное издание

БЕЙСЫЗЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ХАОС ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДАР.
ТЕОРИЯ ЖӘНЕ ТӘЖІРИБЕ

11-ші Халықаралық ғылыми конференцияның материалдары

22–23 қараша 2019 ж.

ХАОС И СТРУКТУРЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ.
ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Материалы 11-й Международной научной конференции

22–23 ноября 2019 г.

CHAOS AND STRUCTURES IN NONLINEAR SYSTEMS.
THEORY AND EXPERIMENT

Materials of the 11th International scientific conference

November 22–23, 2019

Компьютерный набор
З.К. Айтпаева, Д.А. Оспанова, Г.А. Булкаирова, Ж.К. Нургалиева

Отпечатано с авторских оригиналов

Подписано в печать 19.11.2019 г. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Объем 55,37 п.л. Тираж 100 экз. Цена договор. Заказ № 141.

Отпечатано в типографии Издательства КарГУ им. Е.А. Букетова.
100012, г. Караганда, ул. Гоголя, 38. Тел. 8(7212) 51-38-20

Репозиторий КарГУ