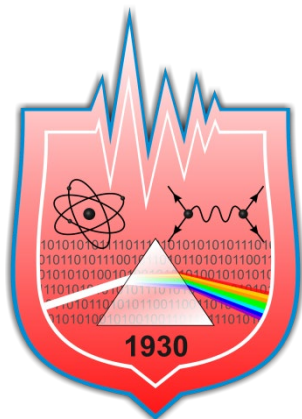


АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ



Гомель
2021

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

X Республиканская научная конференция
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 22 апреля 2021 года)

Сборник материалов

В двух частях

Научное электронное издание

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2021

ISBN 978-985-577-759-6

ISBN 978-985-577-760-2 (Ч. 1)

ISBN 978-985-577-761-9 (Ч. 2)

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени Франциска
Скорины», 2021

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

X Республиканская научная конференция
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 22 апреля 2021 года)

Сборник материалов

В двух частях

Часть 1

Научное электронное издание

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2021

ISBN 978-985-577-759-6
ISBN 978-985-577-760-2 (Ч. 1)

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени Франциска
Скорины», 2021

УДК 530

Актуальные вопросы физики и техники [Электронный ресурс] : X Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апреля 2021 года) : сборник материалов : в 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Электронные текстовые данные (15,5 МБ). – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2021. – Системные требования: IE от 11 версии и выше или любой актуальный браузер, скорость доступа от 56 кбит. – Режим доступа: <http://conference.gsu.by>. – Заглавие с экрана.

В сборнике рассматриваются актуальные общетеоретические и прикладные проблемы физики и техники.

Издание состоит из двух частей. В первой части опубликованы доклады и сообщения по итогам регистрации на конференцию. В опубликованных трудах представлены исследования новых материалов и технологий, даются рекомендации по использованию их в промышленности, медицине и народном хозяйстве; обсуждаются вопросы моделирования физических процессов, а также проблемы, посвященные методике преподавания физики и информатики в школе и вузе, (в частности, особое внимание уделяется использованию мультимедийных и компьютерных технологий, проектному обучению); вопросы использования информационных технологий, в том числе сетевых технологий и СУБД в научных исследованиях, процессах и системах передачи, хранения и защиты информации. Статьи участников конференции размещены в алфавитном порядке.

Издание адресуется научным работникам, преподавателям вузов, аспирантам, магистрантам, студентам, учителям школ, гимназий, колледжей.

Материалы публикуются в соответствии с оригиналом, подготовленным редакционной коллегией, при участии издательства.

Редакционная коллегия:

Д. Л. Коваленко (главный редактор),

А. Л. Самофалов (заместитель главного редактора),

А. А. Середа (ответственный секретарь), В. Н. Мышковец, В. Е. Гайшун,
Г. Ю. Тюменков, Е. А. Дей, В. Д. Левчук, А. В. Ворувев, Е. Б. Шершнев, С. В. Шалупаев

ГГУ им. Ф. Скорины
246028, Гомель, ул. Советская, 104,
тел. (232) 50-49-03, 50-38-59
<http://www.gsu.by>.

© Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», 2021

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Хахомов С. А. – ректор ГГУ имени Ф. Скорины, д-р физ.-мат. наук, доцент

ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

Семченко И. В. – проректор по учебной работе ГГУ имени Ф. Скорины, д-р физ.-мат. наук, профессор

Демиденко О. М. – проректор по научной работе ГГУ имени Ф. Скорины, д-р техн. наук, профессор

Никитюк Ю. В. – проректор по воспитательной работе ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент

Крук А. В. – первый проректор ГГУ имени Ф. Скорины, канд. биол. наук, доцент

Рогачев А. В. – директор научно-исследовательского физико-химического института ГГУ имени Ф. Скорины чл.-кор. НАН Беларуси, д-р хим. наук, профессор

Сердюков А. Н. – профессор кафедры оптики ГГУ имени Ф. Скорины, д-р физ.-мат. наук, профессор, чл.-кор. НАН Беларуси

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Максименко Н. В. – профессор кафедры теоретической физики ГГУ имени Ф. Скорины, д-р физ.-мат. наук, профессор

ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

Коваленко Д. Л. – декан факультета физики и информационных технологий ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Дерюжкова О. М. – заместитель декана факультета физики и информационных технологий ГГУ имени Ф. Скорины по научной работе, канд. физ.-мат. наук, доцент

Самофалов А. Л. – заместитель декана факультета физики и информационных технологий ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент

Гайшун В. Е. – заведующий кафедрой оптики ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент

- Тюменков Г. Ю.** – заведующий кафедрой теоретической физики ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент
- Левчук В. Д.** – заведующий кафедрой АСОИ ГГУ имени Ф. Скорины, канд. техн. наук, доцент
- Мышковец В. Н.** – заведующий кафедрой радиофизики и электроники ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент
- Шершнев Е. Б.** – заведующий кафедрой общей физики ГГУ имени Ф. Скорины, канд. техн. наук, доцент
- ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ**
- Середа А. А.** – заместитель декана факультета физики и информационных технологий ГГУ имени Ф. Скорины по НИРС

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

1. «Новые материалы и технологии»

Председатели:

Мышковец Виктор Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.
Гайшун Владимир Евгеньевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

2. «Моделирование физических процессов»

Председатели:

Тюменков Геннадий Юрьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.
Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

3. «Автоматизация исследований»

Председатели:

Левчук Виктор Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент.
Воружев Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент.

4. «Методика преподавания физики и информатики»

Председатели:

Шершнев Евгений Борисович, канд. техн. наук, доцент.
Шалупаев Сергей Викентьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

ПОРЯДОК РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

22 апреля 2021 г.

10⁰⁰–12⁰⁰ – открытие конференции, пленарное заседание – корпус 5, ауд. 2-11 (ул. Советская, 102). (онлайн трансляция на YouTube канале факультета физики и информационных технологий)

Ссылка <https://youtu.be/wGbecJho-S4>

12⁰⁰–15⁰⁰ – работа секций (формат – онлайн видеоконференция, возможность презентации своего доклада).

Регламент

Доклады на пленарном заседании	–	до 20 минут
Доклады и сообщения в секциях	–	до 10 минут
Участие в дискуссиях	–	до 5 минут

СЕКЦИИ

1. «Новые материалы и технологии»
2. «Моделирование физических процессов»
3. «Автоматизация исследований»
4. «Методика преподавания физики и информатики»

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

1. **Семченко И. В.**, д-р физ.-мат. наук, профессор,
проректор по учебной работе
Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Открытие конференции

2. **Ярмоленко М.А.**, д-р техн. наук, доцент,
профессор кафедры радиофизики и электроники
Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Вакуумные нанокпозиционные покрытия, формируемые потоком низкоэнергетических электронов, их структура и свойства

**Школа для молодых ученых
«Применение золь-гель метода
для синтеза функциональных материалов»**

1. **Семченко А. В.**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры радиофизики и электроники, ведущий научный сотрудник ПНИЛ ПМ

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Участие факультета физики и информационных технологий в программе HORIZON 2020: результаты и перспективы (проект «TransFerr»)

2. **Самофалов А. Л.**, канд. физ.-мат. наук, доцент, заместитель декана по учебной работе факультета физики и информационных технологий

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Об участии факультета физики и ИТ в программе ERASMUS+ (акроним SubPhys)

3. **Москвичёв М. И.**, научный сотрудник НИС

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Проект RADIUM «Обучение на основе передового опыта стран ЕС в области радиационной защиты и культуры ядерной безопасности для белорусского академического сообщества» программы Erasmus+

Секция 1 «Новые материалы и технологии»

Председатели:

Мышковец Виктор Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент,
Гайшун Владимир Евгеньевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Т. А. Абукара
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **Н. Л. Боброва**, канд. техн. наук, доцент

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ РАСЧЕТА ЛИМИТОВ НА БАНКИ-КОНТРАГЕНТЫ

Расчет и установка лимитов на банки-контрагенты являются неотъемлемыми процессами в рамках системы управления рисками практически любого банка. Так как эти процессы связаны с обработкой большого объема данных, то представляется целесообразным реализовывать их в автоматизированном режиме, то есть с использованием специальных программных средств. Эти программные средства характеризуются высокой сложностью, однако при этом они должны быть надежными.

Авторами предложено в ходе разработки надежного программного средства для расчета лимитов на банки-контрагенты, а также в ходе сопровождения процесса использования этого программного средства использовать подход, основанный на методике Scrum. По своей сути, методика Scrum представляет собой набор правил для разработки сложных продуктов, характеризующихся максимально возможной ценностью [1].

Предложенный подход к разработке программного средства для расчета лимитов на банки-контрагенты заключается в выполнении следующих действий [2].

1. Выбор сотрудника компании-разработчика программного средства, который будет выполнять роль владельца продукта. Этот сотрудник должен однозначно понимать требования, предъявляемые к программному средству, а также обладать видением того, какими функциональными возможностями оно должно характеризоваться, чтобы в полной мере соответствовать этим требованиям.

2. Создание сотрудником компании-разработчика программного средства, выполняющего роль владельца продукта, команды, в кото-

рую должны войти люди, владеющие навыками использования инструментов, наиболее подходящих для разработки этого средства.

3. Выбор среди участников созданной команды сотрудника, который будет выполнять роль Scrum-мастера. Этот субъект должен следить за ходом разработки программного средства, обеспечивать проведение коротких собраний, посвященных обсуждению достигнутых результатов, а также помогать участникам команды решать проблемы, возникающие в ходе разработки программного средства.

4. Создание максимально полного списка всех требований, предъявляемых к программному средству, и ранжирование пунктов этого списка по приоритету (от более важного требования к менее важному требованию). Этот список принято называть бэклогом продукта. Его особенность заключается в том, что он может модифицироваться в ходе процесса работы над продуктом.

5. Оценка участниками команды каждого пункта созданного списка на предмет сложности достижения, изложенного в нем требования, а также на предмет временных затрат, которые потребуются для достижения этого требования.

6. Проведение первого Scrum-собрания, в рамках которого участники команды и сотрудники компании-разработчика программного средства, выполняющие роли Scrum-мастера и владельца продукта, должны определить временной интервал для достижения определенного набора требований к разрабатываемому программному средству. Этот временной интервал принято называть спринтом. Спринт характеризуется следующими особенностями:

- его продолжительность не превышает одного месяца;
- в ходе его реализации команда нарабатывает определенное количество баллов, причем команда должна стремиться к тому, чтобы в ходе реализации каждого следующего спринта наработать количество баллов, превышающее количество баллов, наработанных в ходе реализации предыдущего спринта.

7. Оформление Scrum-доски путем черчения на магнитно-маркерной доске таблицы с тремя столбцами. Заголовок первого столбца – «Бэклог продукта», заголовки второго и третьего столбцов – «В работе» и «Сделано» соответственно. Порядок использования Scrum-доски должен быть следующий:

1) участники команды в столбце с заголовком «Бэклог продукта» размещают совокупность стикеров, на каждом из которых написано одно из требований из числа предъявляемых к разрабатываемому

программному средству, которое должно быть достигнуто к моменту завершения спринта;

2) участники команды в ходе реализации спринта постепенно перемещают стикеры из столбца с заголовком «Бэклог продукта» сначала в столбец с заголовком «В работе», а затем – в столбец с заголовком «Сделано».

8. Ежедневное проведение Scram-собрания, продолжительность которого не превышает 15 минут. В рамках собрания каждый участник команды представляет ответы на 3 вопроса.

Вопрос первый: что я сделал вчера, чтобы помочь команде завершить спринт? Вопрос второй: что я буду делать сегодня, чтобы помочь команде завершить спринт? Вопрос третий: какие проблемы мешают команде завершить спринт?

9. Проведение собрания по завершении реализации спринта, на котором каждый из участников команды рассказывает о том, что сделал в ходе реализации спринта.

10. Проведение ретроспективного собрания, на котором участники команды и сотрудники компании-разработчика программного средства, выполняющие роли Scram-мастера и владельца продукта, определяют преимущества и недостатки процесса реализации спринта и выбирают пути устранения определенных недостатков.

Литература

1. Швабер, К. Руководство по Скраму / К. Швабер, Д. Сазерленд. – Scrum.Org and ScrumInc, 2016. – 23 с.

2. Сазерленд, Д. Scrum. Революционный метод управления проектами / Д. Сазерленд. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 288 с.

В. А. Акулич, Н. А. Лапцевич, М. П. Патапович
(БГАС, Минск)

Науч. рук. **М. П. Патапович**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОЦЕНКА ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ КАЛЬЦИЯ В ОБРАЗЦАХ ПЛАЗМЫ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Одним из хронических нарушений мозгового кровообращения, проявляющееся неврологическими синдромами и когнитивными

нарушениями, является дисциркуляторная энцефалопатия. Данная проблема представляет собой прогрессирующее хроническое диффузное или мультифокальное нарушение мозгового кровообращения и относится к числу наиболее распространенных сосудистых заболеваний, которое может начинаться в трудоспособном возрасте. Патологию некоторых, в том числе, онкологических заболеваний связывают как с действием токсичных элементов, так и в меньшей степени с дефицитом эссенциальных макро- и микроэлементов [1].

Деформированный минеральный обмен не только вносит свой вклад в патогенез заболеваний, но и изменяет фармакокинетические и фармакодинамический ответ на лекарственное воздействие, так как каждый из микро- и макроэлементов, составляющих минеральный состав организма, выполняет свою незаменимую роль [1,2].

В организме человека такой макроэлемент, как кальций принимает непосредственное участие в синтезе ряда гормонов. Этот элемент оказывает мозгу помощь в использовании аминокислоты триптофан, которая поступает в тело с потребляемыми белками. Концентрация кальция в крови из-за её важности для большого числа жизненно важных процессов должна быть точно отрегулирована.

Биологическая жидкость может играть роль функционального системообразующего фактора и связывать пространственно-временные структуры внутренней среды организма и, следовательно, может быть выбрана в качестве объекта исследования.

Общее количественное содержание жизненно необходимых элементов в биосредах может быть определено на экспериментальной установке ЭМАС 200Д (производство ЗАО «Спектроскопические системы» Минск, Беларусь). Спектрометр состоит из трех основных элементов: источника возбуждения спектра, спектрального прибора и регистрирующей части. Источником возбуждения спектров является универсальный генератор UBI-1. Он позволяет в ходе проводимых экспериментов менять режимы дуги переменного тока для подбора условий работы и обеспечения наилучшей воспроизводимости интенсивностей спектральных линий.

Количественный атомно-эмиссионный спектральный анализ является относительным методом, следовательно, особое внимание уделялось разработке и изготовлению стандартных образцов, адекватных по составу исследуемым образцам, так как биологические объекты очень разнородны по содержанию элементов [3].

Для проведения экспериментов использовали дугу переменного тока, так как в этом случае наблюдается наиболее равномерное

уменьшение интенсивности от времени возбуждения. Режимы работы следующие: ширина щели составляет 40 мкм, время накопления одного спектра – 0,6 с, число накоплений – 25, общее время – 15 с.

При анализе жидкой фракции образца на верхнюю поверхность нижнего электрода с цилиндрическим углублением диаметром 4 мм с помощью микропипетки наносили 20 мкл раствора.

Результаты определения общего содержания кальция в образцах плазмы крови пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией головного мозга до и после проведенных лечебных мероприятий приведены на рисунке 1. Референтные концентрации составляют 8800 и 10400 мкг/100 г для нижней и верхней границы соответственно.

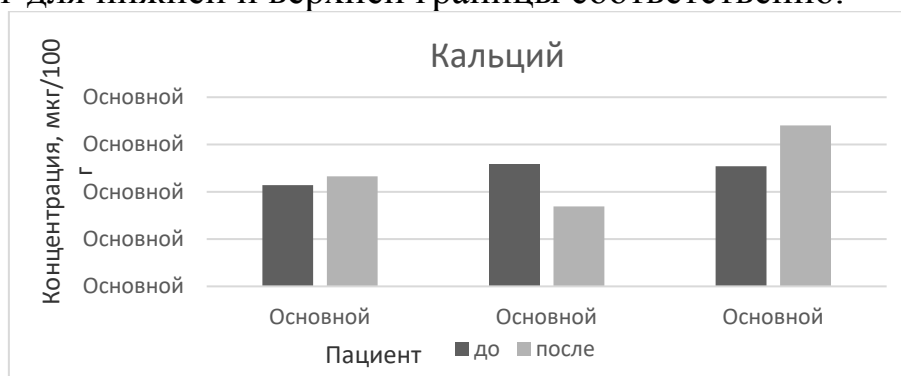


Рисунок 1 – Общая концентрация кальция в образцах плазмы крови пациентов до и после лечения

Анализ полученных результатов показал значительное повышение содержания кальция у всех пациентов как до, так и после оперативного вмешательства.

Таким образом, достоверное превышение нормальных значений суммарного содержания для кальция может влиять на особенности клинического течения заболевания и обосновывают целесообразность дополнения терапии медикаментозными комплексами для коррекции минерального обмена.

Литература

1. Goyer R. A., Klassen C. D., Waalkes M. P. Metal toxicology. — San Diego: Academic Press. — 525 p.
2. Короткевич, Е. А. Клиническая эпидемиология опухолей головного мозга и этапная медицинская помощь нейроонкологическим пациентам / Е. А. Короткевич, А. Ф. Смянович, В. С. Терехов // Неврология и нейрохирургия в Беларуси. — 2010. — № 4. — С. 86-97.

3. Зажогин, А. П. Атомный спектральный анализ: курс лекций / А. П. Зажогин. – Минск: Изд-во БГУ, 2005. — 163 с.

Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков, О. Д. Заболотный
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В СИНТЕТИЧЕСКОМ МОТОРНОМ МАСЛЕ SHELL МАРКИ 5W40

Данные, представленные в работах [1–3], свидетельствуют о том, что содержание воды в моторных маслах при эксплуатации транспортных средств не должно превышать значений от 0,03 % до 0,05 %. Повышенное содержание воды в моторном масле приводит к ряду негативных последствий, а именно: снижаются защитные свойства масла из-за истощения моющих и диспергирующих присадок водой, вследствие чего возрастают износы деталей цилиндрово-поршневой группы (ЦПГ) и ускоряется загрязнение двигателя; укрупняются загрязняющие частицы, которые осаждаются в отверстиях двигателя, приводят к нарушению режима смазки подвижных частей и повышенным гидравлическим сопротивлениям в системе; нарушается гидродинамический режим смазки подшипников (при повышенном содержании воды в масле); повышается вероятность поражения масла микроорганизмами, необходимым условием жизнедеятельности которых является обязательное наличие воды [1–3].

В ходе выполнения настоящей работы проведены исследования изменения содержания воды в синтетическом моторном масле Shell марки SAE 5W40 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства, оборудованного бензиновым двигателем внутреннего сгорания. В качестве транспортного средства принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см³. За результат исследования принимали среднее арифметическое значение объемной доли воды, полученное после трех последовательных измерений.

Содержание воды в моторном масле определяли с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 2477–2014 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения со-

держания воды» [4]. Метод основан на исследовании образца, путем нагревания его в колбе с обратным холодильником в присутствии не-смешивающегося с водой растворителя, который перегоняется совместно с водой, присутствующей в образцах. При этом конденсированный растворитель и вода разделяются в ловушке, а растворитель возвращается в дистилляционную емкость. Количество образовавшейся воды определяли по шкале на поверхности приемника-ловушки, а также выполняли взвешивание объема воды с помощью электронных весов модели CPA 250D.

В таблице 1 представлены результаты исследования по определению объемной доли воды в синтетическом моторном масле марки SAE 5W40 при эксплуатации легкового транспортного средства с бензиновым двигателем в зависимости от величины пробега.

Таблица 1 – Результаты определения объемной доли воды в синтетическом моторном масле Shell марки SAE 5W40

Пробег транспортного средства, тыс. км	Объемная доля воды в исследуемом моторном масле, %
исходное значение	следы
3	следы
6	0,007
7,5	0,024
10	0,036
12	0,045
15	0,053

Показано (таблица 1), что следы воды присутствуют в исследуемом образце синтетического моторного масла при пробеге до 3 тыс. км. В дальнейшем наблюдается увеличение объемной доли воды и после пробега транспортным средством 6 тыс. км составляет значение 0,007 % от объема. Можно видеть (таблица 1), что после пробега 6 тыс. км до 7,5 тыс. км наблюдается существенное увеличение объемной доли воды до 0,024 % (более чем в 3 раза).

При пробеге от 7,5 тыс. км до 15 тыс. км содержание воды в исследуемом моторном масле возрастает с 0,024 % до 0,052 %. В среднем в интервале пробега транспортного средства от 7,5 тыс. км до 15 тыс. км повышение объемной доли воды составляет величину равную 0,009 %, что свидетельствует о линейном изменении исследуемого эксплуатационного показателя моторного масла и характерно для естественного «старения» масла.

Причиной появления воды в моторном масле, очевидно, является попадание топлива. Данное мнение коррелирует с результатами проведения компьютерной диагностики узлов двигателя автомобиля, которая показала неисправность работы системы впрыска топлива.

По результатам проведенного исследования можно утверждать, что в интервале пробега транспортным средством от 7,5 тыс. км до 10 тыс. км содержание объемной доли воды в исследуемом моторном масле превышает минимально допустимый предел (0,03 %), после пробега легковым транспортным средством 15 тыс. км наблюдается превышение максимально допустимого значения (0,05 %). Таким образом можно утверждать, что замену данного моторного масла в целях ресурсосбережения двигателя и его частей следует проводить после 10 тыс. км пробега.

Литература

1. Трубилов, А. К. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / А. К. Трубилов, В. А. Хитрюк. – Минск: Республиканский институт профессионального образования, 2012. – С. 79–105.

2. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с.

3. Геленов, А. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / А. А. Геленов, Т. И. Соченко, В. Г. Спиркин. – 4-е изд., стереотипное. – М.: Академия, 2015. – С. 115–116.

4. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды: ГОСТ 2477–2017. – Взамен ГОСТ 2477–65; введ. Респ. Беларусь 01.06.17. – Минск: Госстандарт, 2016. – 7 с.

Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В СИНТЕТИЧЕСКОМ МОТОРНОМ МАСЛЕ SHELL МАРКИ 5W40

Механическими примесями в моторном масле считают все твердые вещества органического и неорганического происхождения,

находящиеся в моторном масле в виде осадка или во взвешенном состоянии, которые задерживаются фильтрующим элементом при очистке используемого нефтепродукта [1–4]. В произведенных современных полусинтетических моторных маслах механические примеси, как правило, должны отсутствовать. Однако, согласно требованиям действующих технических актов допускается содержание в моторном масле механических примесей в количестве, не превышающем 0,015 %. При длительном хранении и использовании моторное масло способно загрязняться твердыми примесями, попадающими как извне, так и продуктами, выделяющимися в результате химических реакций в самих маслах, под действием высокой температуры, и металлическими включениями, образующимися при износе цилиндропоршневой пары. Практический опыт и результаты научных исследований показывают, что преимущественно, механические примеси образуются и накапливаются в объеме моторного масла в начальный период их использования, а именно через 60–120 часов его работы, после чего процесс образования механических примесей снижается и в дальнейшем носит линейный характер. Данное наблюдение объяснимо химическим процессом окисления малостабильных углеводородов нефтепродукта, входящих в состав моторного масла. Механические примеси, преимущественного металлического происхождения, увеличение коэффициента трения между цилиндром (гильзой) и поршнем, что вызывает более интенсивный их износ вследствие их нагрева. При дальнейшей работе двигателя с засоренным моторным маслом, образуется шлам, который в свою очередь может накапливаться в системах маслопроводов и нарушать тем самым подвод масла к узлам трения [1–4].

В ходе работы проведены исследования по определению содержания механических примесей в синтетическом моторном масле Shell марки 5W-40 в зависимости от величины пробега легкового автомобиля марки Scoda Rapid, находящегося на гарантийном обслуживании. В качестве подвижного состава принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см³. Содержание механических примесей в исследуемом моторном масле определяли с использованием сертифицированного оборудования по ГОСТ 6370–83 «Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей» [5]. Сущность метода по определению содержания механических примесей в исследуемых образцах моторных масел заключается в фильтровании пробы с предварительным

растворением медленно фильтрующихся продуктов в растворителе (бензине) с последующим промыванием осадка на фильтре растворителем с дальнейшим высушиванием и взвешиванием. Количество механических примесей в исследуемом образце моторного масла рассчитывали по следующей формуле:

$$K = \frac{M_1 - M_2}{M_3} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где M_1 – масса лабораторной тары для взвешивания с бумажным фильтром и механическими примесями, г;

M_2 – масса лабораторной тары для взвешивания с чистым предварительно подготовленным фильтром, г;

M_3 – масса изучаемой в ходе эксперимента пробы моторного масла, г.

Результаты исследований по определению содержания механических примесей в синтетическом моторном масле Shell марки 5W-40 представлены на рисунке 1.

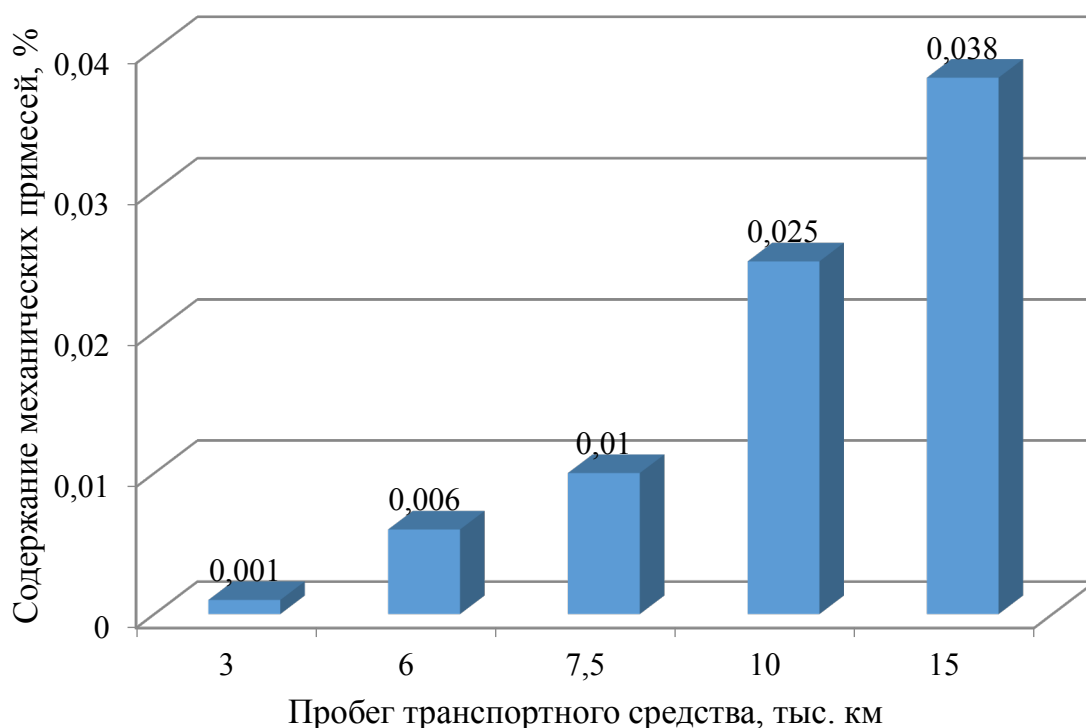


Рисунок 1 – Результаты исследований по определению содержания механических примесей в синтетическом моторном масле Shell марки 5W-40 в зависимости от пробега автомобиля

Показано (рисунок 1), что при пробеге от 3 до 7,5 тыс. км значение содержания механических примесей возрастает от значения 0,001 % до 0,01 %. При этом в среднем величина изменения содержания механических примесей на контролируемых отрезках пробега составляет 0,005 %. При пробеге от 7,5 до 10 тыс. км наблюдается интенсивный рост числа механических примесей (от 0,1 % до 0,025 %). Можно видеть (рисунок 1), что в интервале от 10 до 15 тыс. км отмечено увеличение числа механических примесей с 0,025 % до 0,038 %. В работах [1–4] показано, что максимальное значение содержания механических примесей в любом моторном масле должно находиться в пределах от 0,015 % до 0,03 %. Установлено, что превышение нормированного значения содержания механических примесей наблюдается в интервале пробега от 7,5 до 10 тыс. км пробега.

Результаты исследований показывают, что фактическую замену исследуемого моторного масла целесообразно проводить в интервале пробега от 7,5 до 10 тыс. км, так как наблюдается превышение допустимого содержания механических примесей на 0,005 %.

Литература

1. Карташевич, А. Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. – М.: Инфра-М, 2015. – 420 с.

2. Хитрюк, В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / В. А. Хитрюк, А. К. Трубилов. – Минск: Республиканский институт профессионального образования, 2013. – С. 91–119.

3. Обельницкий, А. М. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости: учебник / А. М. Обельницкий, Е. А. Егорушкин, Ю. Н. Чернявский; под ред. проф. А. М. Обельницкого. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ИПО «Полигран», 1995. – 272 с.

4. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с.

5. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей: ГОСТ 6370–83. – Переизд. декабрь 2012 с Изм. 1 (ИУС. 1988. № 11). – Взамен ГОСТ 6370–59; введ. Респ. Беларусь 17.12.92. – Минск: Госстандарт, 2012. – 5 с.

С. А. Анисимов
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Л. Н. Марченко**, канд. техн. наук, доцент
Я. А. Ковалёва
(ГНУ ИММС НАН Беларуси, Гомель)
Науч. рук. **П. Н. Гракович**, канд. техн. наук

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ФТОРОПЛАСТА ПО РАЗМЕРАМ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА «ЛЕСНОГО ПОЖАРА»

Введение. Лазерная абляция – это воздействие лазерного излучения высокой интенсивности на полимеры в вакууме, сопровождающееся выделением газообразных продуктов разложения и в ряде случаев кластеров частично деструктурированного полимера. Аномальным поведением в таком процессе отличается ПТФЭ, который при воздействии непрерывного излучения СО₂-лазера разлагается с высокой скоростью, а кластеры имеют форму волокон [1]. Для получения зависимости формы и размеров частиц от их скорости следует провести оцифровывание экспериментальных данных. Для упрощения и автоматизации необходимо разработать приложение на языке программирования Python, которое будет анализировать экспериментальные данные и считать размеры частиц.

Цель работы. Разработка приложения на языке программирования Python на основе алгоритма «Лесной пожар» для анализа распределения частиц ПТФЭ после лазерной абляции по размерам.

Материалы и методы исследования. Абляция ПТФЭ проводилась в опытно-промышленной установке для вакуумного распыления политетрафторэтилена с использованием СО₂-лазера ИЛГН-709 с длиной волны 10,6 мкм и различной мощностью. Процесс получения осажденных частиц на диске подробно описан в работе [2]. Для получения цифрового изображения диска использовался USB-микроскоп Микрон-400 (производство ООО «СИТИТЕК»). Диск был разделен на сектора, каждый сектор с помощью микроскопа фотографировался. Из полученных фотографий составлялась одна большая фотография (т.н. панорама) формата *.jpg.

Для распознавания частиц и их размеров на языке программирования Python разработано приложение с использованием алгоритма «Лесной пожар», позволяющее выделить связанные области на изображении [3]. Приложение обрабатывает цифровой файл, при этом для

устранения искажений RGB-изображение переводилось в черно-белое. В этом случае изображение можно представить в виде бинарной матрицы, в которой элемент «0» соответствует темным участкам изображения, «1» – светлым. Задача определения связных областей свелась к поиску областей элементов «1». Для поиска таких областей использовался метод «Лесного пожара» [3, 4]. Суть метода заключается в «поджоге» (присвоении метки) точки входящей в искомый элемент (белую область на изображении), которая в свою очередь, «поджигает» всех своих соседей. Обход соседей проводится по прямоугольной окрестности точки (x, y) как в таблице 1.

Таблица 1 – Окрестность точки (x, y)

$(x - 1, y - 1)$	$(x, y - 1)$	$(x + 1, y - 1)$
$(x - 1, y)$	(x, y)	$(x + 1, y)$
$(x - 1, y + 1)$	$(x, y + 1)$	$(x + 1, y + 1)$

Первая найденная «1» в ячейке и ее соседние «1» заменяется на любой другой символ, например, на 2. Пример построения распространение «пожара» представлен на рисунке 1 (а, б), где найденная «1» в ячейке (1, 3), заменяется на 2, а также соседние с ней «1». На рисунке 1в, все элементы «1» уже просмотрены.

$A =$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{matrix}$	$A =$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{matrix}$	$A =$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \end{matrix}$
	а)		б)		в)

Рисунок 1 – Пример построения алгоритма распознавания:
а) первый «поджег»; б) второй; в) все элементы просмотрены

Разработка приложения состояло из следующих этапов:

- 1) подача изображение на вход;
- 2) преобразование RGB-изображения в черно-белое изображение;
- 3) составление бинарной матрицы изображения;
- 4) реализация алгоритма «Лесного пожара» для бинарной матрицы;
- 5) вывод количества белых частиц на изображении.

Количество итераций метода принимается за количество распылений. Для перевода RGB-изображения в черно-белое изображение ис-

пользовалась библиотека OpenCV. Графический интерфейс реализован с помощью PyQT.

Результаты исследования. На рисунке 2 представлено изображение диска с частицами ПТФЭ после лазерной абляции и оцифровки экспериментальных данных.

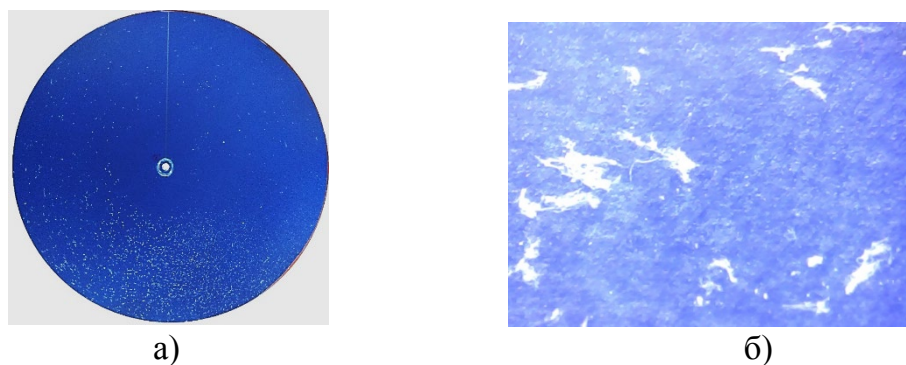


Рисунок 2 – Изображение диска с распыленными частицами после ЛА ПТФЭ: а) панорамное изображение; б) увеличенный участок изображения размером 2х3 мм

На рисунке 3 представлены изображения после перевода исходного (рисунок 2б) файла в черно-белый формат (рисунок 3а), и после реализации метода «Лесной пожар» (рисунок 3б). Найденные области представлены на рисунке 3б.



Рисунок 3 – Результат применения метода «Лесного пожара»: а) черно-белый формат; б) обратное построение исходного изображения после применения метода «Лесной пожар»

Выводы. Реализация метода «Лесной пожар» на языке программирования Python для распознавания частиц фторопласта после ЛА позволило определить количество частиц и их размеры. Приложение является гибким и перспективным для анализа RGB-изображений. А разработка пользовательского интерфейса позволит сократить время

оцифровки и анализа изображений, а также получать достоверные статистические данные.

Литература

1. Толстопятов, Е. М. Лазерная абляция полимеров (обзор) / Толстопятов Е. М. – Полимерные материалы и технологии, №1. 2016 – С. 6-20.
2. Ковалёва, Я. А. Изучение скорости полета частиц при лазерной абляции ПТФЭ / Я. А. Ковалёва – материалы конференции «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования», 2020 – С. 100 - 102.
3. Жуков, С. В. Современные методы сегментации растровых изображений [Текст] / С. В. Жуков. – Известия ВолгГТУ. – 2013. – №5. – С. 115–118.
4. Стержантов, М. В. Методики выделения связных компонент в штриховых бинарных изображениях / М. В. Стержантов; БГУИР. – Минск, 2014.

В. Э. Анискевич, И. Ю. Славинский
(Институт физики НАН Беларуси, Минск)
Науч. рук.: **И. С. Никончук**, канд. физ.-мат. наук,
Е. С. Жарникова, канд. физ.-мат. наук

ПОЛУЧЕНИЕ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ОКИСЛЕНИЯ

Возможности лазерного окисления поверхности металлов и сплавов широко используются в различных сферах (медицина, промышленность, ювелирное производство и др.). В последние годы ведется поиск оптимальных методов лазерно-индуцированного получения цветных изображений на поверхности металлов и сплавов, а также алгоритмов управления процессом формирования поверхностных структур с требуемыми цветовыми характеристиками, поскольку контролируемое создание цветных оксидных пленок на металлической поверхности может иметь не только декоративную функцию, но и использоваться для создания уникальных защитных кодов [[1-3](#)].

В представленной работе исследование влияния режимов лазерного воздействия на изменение цвета поверхности проводилось на образцах нержавеющей стали, прошедших стандартную процедуру подготовки (полирование лицевой стороны и сушку). Обработка осуществлялась в среде атмосферного воздуха с использованием иттербиевого волоконного лазера мощностью 20 Вт («ИРЭ-Полюс», РФ), генерирующего импульсы с длиной волны 1,06 мкм, длительностью 100 нс, частотой следования до 100 кГц. Сфокусированный в пятно диаметром 25 мкм лазерный луч перемещался по поверхности образца со скоростью 100 мм/с при помощи сканаторной головки LScanH-1064-10 («Атеко-ТМ», РФ).

Изменением частоты следования лазерных импульсов, скорости сканирования, а также количества проходов лазерного луча по поверхности образцов получено несколько вариантов цветных изображений (рисунок 1). Для исследования элементного состава цветных оксидных пленок был выбран образец (рисунок 1б), на поверхности которого варьированием количества проходов лазерного луча (2, 3 и 8) были получены участки золотистого, синего и фиолетового цветов.



а) примеры цветных изображений

б) исследуемый образец

Рисунок 1 – Цветные изображения на поверхности нержавеющей стали, полученные путем лазерного окисления

Для определения элементного состава цветных оксидных пленок на поверхности исследуемого образца использовался метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС). Исследование осуществлялось с использованием сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 (TESCAN, Чехия) с приставкой для энергодисперсионного микроанализа AZtec One X-act (Oxford Instruments NanoAnalysis Ltd, Великобритания).

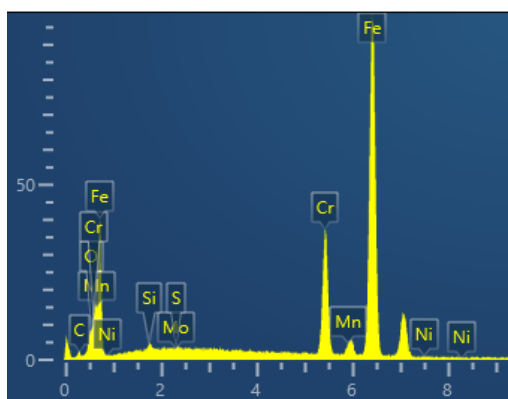
В таблице 1 приведены количественные данные о элементном составе исходной и обработанной поверхности.

Таблица 1 – Массовые доли основных элементов исходной поверхности и цветных областей (участки 1-3) на поверхности нержавеющей стали после лазерного окисления в различных режимах

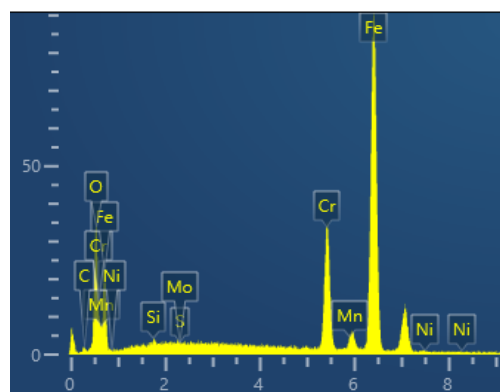
Элемент	Исходная поверхность	участок № 1	участок № 2	участок № 3
Fe (Вес %)	78,68	69,15	67,68	73,90
Cr (Вес %)	16,48	15,26	13,40	15,86
O (Вес %)	0,45	11,86	15,65	6,98

На рисунке 2 приведены ЭДС спектры исходной и окисленных областей на поверхности нержавеющей стали.

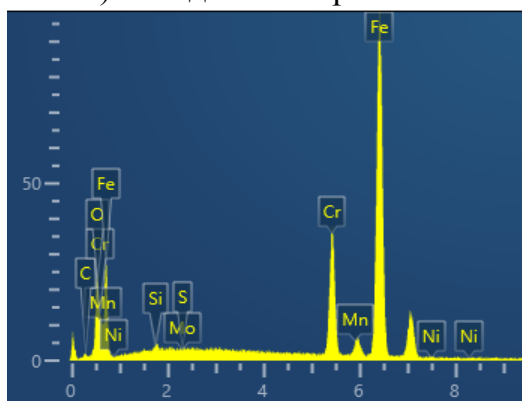
Анализ количественных данных и спектров ЭДС показал, что с увеличением числа проходов лазерного луча по поверхности материала происходит многократное увеличение массовой доли кислорода в облученных образцах, что свидетельствует об утолщении оксидного слоя.



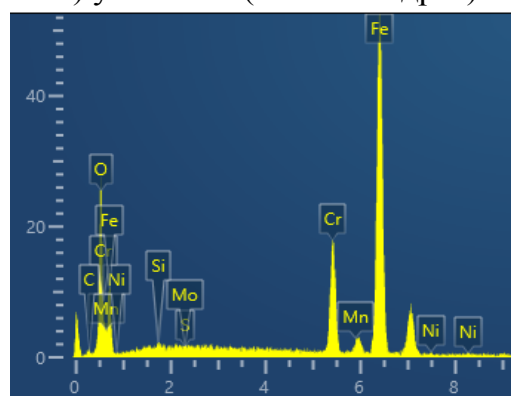
а) исходная поверхность



б) участок 1 (синий квадрат)



в) участок 3 (золотистый квадрат)



г) участок 2 (фиолетовый квадрат)

Рисунок 2 – ЭДС спектры исходной и окисленных областей на поверхности нержавеющей стали

Изменения цветовых характеристик поверхности можно добиться при одних и тех же режимах лазерного облучения, варьируя число проходов, что может быть использовано при создании алгоритмов управления процессом цветной маркировки.

Литература

1. Формирование многоцветного изображения при лазерном окислении металлов / Вейко В. П., Горный С. Г., Одинцова Г. В. и др. // Известия вузов. Приборостроение – 2011. – т.54 – № 2 – С.47–53.

2. Цветная лазерная маркировка поверхности металлов / С. Горный, В. Вейко, Г. Одинцова, Е. Горбунова, А. Логинов, Ю. Карлагина, А. Скуратова, Э. Агеев // Фотоника. – 2013. – № 6/42/. – С.34–44.

3. H. Roozbahani et al.: Color Laser Marking: Repeatability, Stability and Resistance Against Mechanical, Chemical and Environmental Effects / IEEE Access – 2020. – Vol. 8. – P. 214196-214208, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3040744.

В. В. Беглик, П. Д. Кривошеев, И. П. Охрименко
(БГУ, Минск)

Науч. рук.: **Н. Н. Кольчевский**, канд. физ.-мат. наук, доцент,
П. В. Петров, инженер-электроник

ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВ S-LIGOxR-Gy

Впервые, о том, что гравитационное взаимодействие носит волновую природу, было предсказано О. Хэвисайдом в 1865 г. [1]. Гравитационно-волновым детектором считается любая система, регистрирующая малые относительные смещения масс или силы, которые их вызвали. Реализация гравитационных детекторов, действительно способных зарегистрировать гравитационные волны, стала возможной лишь в XX веке [2, 3]. В настоящее время, ведутся разработки наземных детекторов третьего поколения. Einstein Telescope (ET) и Cosmic Explorer (CE) – это проекты наземных детекторов гравитационных волн третьего поколения. Длины плеч ET составят 10 км (3 плеча), а CE - 40 км (2 плеча). Конфигурация ET отличается от LIGO-подобной конфигурации CE тем, что образует равносторонний треугольник под

землей. SE располагается на поверхности земли имея два перпендикулярных плеча.

LISA, DECIGO и BBO – это проекты космических детекторов гравитационных волн, представляющих различный набор детекторов в виде равностороннего треугольника, расположенного на орбите солнца (гелиоцентрическая орбита) и использующие электромагнитный принцип детектирования – лазерный интерферометр Майкельсона с углом 60° между плечами. Отличия между проектами являются: количество треугольных систем из спутников, количество спутников, задействованных в системе детектора, длина плеч интерферометра, количество интерферометров, их ориентация и др. Другой принцип детектирования основан на контроле группы пульсаров (ЕРТА, ІРТА, SKA), звездных остатков, которые испускают повторяющиеся импульсы излучения, и ищут тонкие временные сдвиги, вызванные прохождением гравитационных волн.

Предложено исследовать модель околоземного космического детектора гравитационных волн. Космос – условно неограниченное пространство по сравнению с Землей в котором можно разместить детектор большего размера и трехмерной конфигурации. Этот факт открывает доступ к областям спектра ГВ, недоступных для LIGO детекторов, размещенных на Земле. В качестве космического детектора ГВ предлагается космическая измерительная система искусственных спутников (ИС), расположенная на орбитах планет, естественных спутников планет или планетоидах. Для постоянного наземного взаимодействия с космической измерительной системой предложено использовать спутники, расположенные на геостационарных орбитах.

Предлагается модель космического детектора ГВ «S-LIGOxR-Gy» в виде системы из X спутников, расположенных на Y орбитах (рисунок 3), тип орбит также варьируется: LO, MO, GO и HO. В работе исследуется детектор S-LIGO8R-G2 (Space – Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) 8 (общее число спутников) Regular (правильной формы) Geostationary (тип орбит) 2(число орбит). Для космического детектора S-LIGO8R-G2, первые 4 спутника выводятся на геостационарную орбиту и отстоят друг от друга на одинаковом расстоянии так, что образуют квадрат, вписанный в круговую орбиту. Вторая конфигурация спутников на ортогональной орбите аналогична первой (рисунок 1). В первом приближении, 4 спутника одной орбиты вращаются вокруг планеты с одинаковой угловой скоростью и сохраняют конфигурацию перпендикулярных плеч интерферометра Майкельсона. Как говорилось выше, всего получается 4 возможных де-

тектора для одной орбиты: каждая вершина является угловой станцией детектора ГВ. Добавление второй орбиты ортогональной первой, переводит систему из двухмерной в более сложную трехмерную, где необходимо учитывать возможные совместные конфигурации в 3D пространстве. Это усложнение системы обеспечивает увеличение числа интерферометров и расширяет диаграмму направленности космического ГВ детектора. Изменения взаимного расположения спутников вызвано их орбитальным вращением. Взаимное расположение спутников и их орбитальное движение рассчитывалось теоретически, а также моделировалось в специализированной программе AGI STK (рисунок 1).

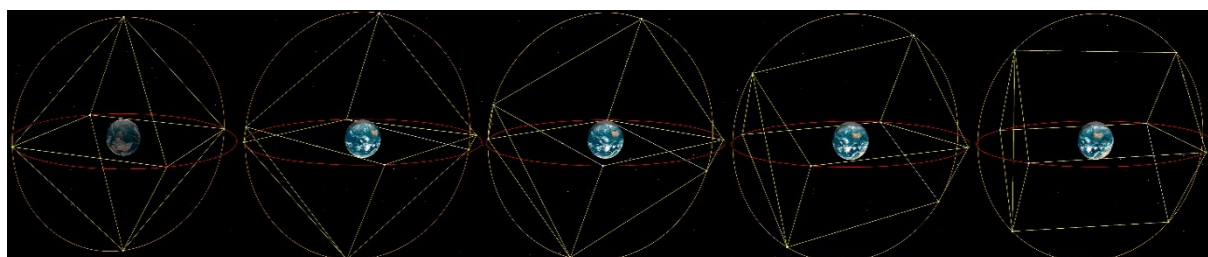


Рисунок 1 – Этапы процесса эволюции системы космического детектора гравитационных волн «S-LIGO8R-G2». В исходной фазе правильная трехмерная фигура октаэдр, и в заключительной фазе: образование правильной фигуры куб

Правильные фигуры, выстраиваемые системой S-LIGO8R-G2 в двух периодически повторяющихся фазах октаэдра и куба, дают множество одновременно функционирующих детекторов ГВ классической конфигурации. Соответственно, система из спутников, расположенных в вершинах куба, расширяют возможности космического детектора ГВ и позволяют переключаться между системами с большим количеством единовременно работающих детекторов (до 24 LIGO-подобных детекторов) и выбором самых «перспективных» детекторов по ряду определяющих факторов: ориентация в пространстве, длина плеч, взаимное расположение и т.д.

Литература

1. Cervantes-Cota, J. L. A Brief History of Gravitational Waves / J. L. Cervantes-Cota, S. Galindo-Uribarri, G. F. Smoot // Universe. – 2016. – Vol. 2, iss. 3. – P. 22–52.

2. Advanced LIGO [Electronic resource] : LIGO Scientific Collaboration / LIGO – Livingston : Laser Interferometer Gravitational-Wave Ob-

servatory, 2014. – Mode of access: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1411/1411.4547.pdf>. – Date of access: 1.01.2021.

3. LIGO NEWS [Electronic resource] : LIGO Suspends Third Observing Run (O3). – Mode of access: <https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20200326>. – Date of access: 1.03.2021.

Е. А. Бельков
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **В. Т. Крушев**, канд. техн. наук, доцент

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЯДЕРНОГО КВАДРУПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА

Ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР) – это резонансное поглощение радиоволн, основанное на взаимодействии градиента электрического поля кристаллической решётки вещества и ядерного квадрупольного момента ядра, вызванного отклонением распределения заряда ядра от сферической симметрии. Взаимодействие квадрупольных моментов ядер с градиентом электрического поля кристаллической решётки вызывает прецессию ядер, частота которой зависит от градиента поля кристаллической решётки, который в свою очередь, зависит от температуры, что позволяет применять ЯКР для измерения температуры.

В последние годы метод ЯКР находит всё большее применение в различной измерительной аппаратуре. На основе этого метода изготавливаются датчики температуры, магнитного поля, давления и т.д. Большая абсолютная точность измерения температуры порядка 0,001 °С делают их незаменимыми при прецизионных измерениях. ЯКР-термометры не требуют периодической поверки и калибровки и могут быть использованы в качестве эталонов температуры, а также на долговременных орбитальных космических станциях и в технологических процессах.

Цель работы заключается в разработке электронного устройства для точного измерения температуры на основе ЯКР. Отличительной особенностью разработки является обеспечение повышенной точности измерения температуры, которая составляет 0,001 °С, а также увеличение диапазона измеряемых температур (минимальная температура – не ниже –100 °С, максимальная температура – до 600 °С).

Блок-схема ЯКР-термометра [1] представлена на рисунке 1. В данной схеме для формирования синусоидального сигнала применяется цифровой синтезатор частоты (direct digital synthesis, DDS). DDS уникальны своей цифровой определенностью: сигнал, который сгенерирован DDS, синтезируется с присущей цифровым системам точностью. Частота, амплитуда и фаза сигнала в любой момент времени известны и подконтрольны.

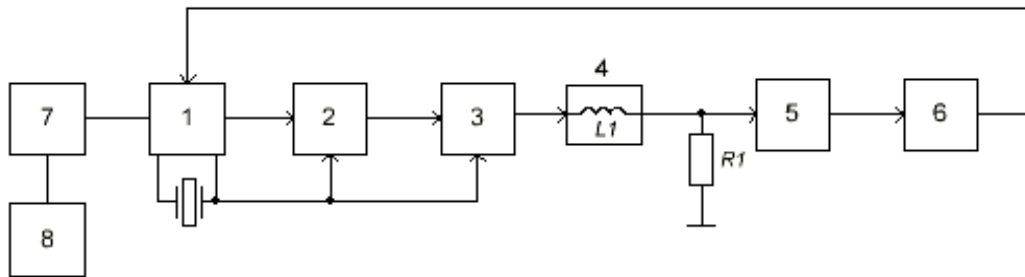


Рисунок 1 – Блок-схема ЯКР-термометра: 1 – микроконтроллер (МК), 2 – блок прямого цифрового синтеза (DDS), 3 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), 4 – термочувствительный элемент, 5 – амплитудный детектор (АД), 6 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП), 7 – USB, 8 – персональный компьютер (ПК)

Наиболее важной частью термометра ЯКР, как и в любом измерительном приборе, является измерительный канал [2]. В данном случае измерительный канал будет состоять из следующих элементов:

- индуктора, в обмотках которого размещён термочувствительный образец;
- аналого-цифрового преобразователя, служащего для определения изменения сигнала (амплитуды) и отправки его на микроконтроллер;
- микроконтроллера, отвечающего за вычисление текущего значения температуры и обработку входящих сигналов.

Принцип работы устройства заключается в следующем [1]. DDS формирует синусоидальный сигнал в цифровом виде заданной частоты. Эта частота задается микроконтроллером. Поскольку резонанс хлората калия ($KClO_3$) происходит на частоте ~ 28 МГц, то нужно использовать высокоскоростной ЦАП (частота дискретизации должна быть в десятки, сотни раз больше, чем частота резонанса.) Работа ЦАП, DDS и МК синхронизируется внешним кварцевым резонатором стабильной частоты, что обеспечивает высокую точность работы системы во времени. Для обеспечения надлежащей чувствительности

колебания на выходе ЦАП подводится до хлората калия (KClO_3) с помощью RL звена. АД определяет амплитуду колебаний, подаваемую на МК. При изменении температуры, МК на основе полученных данных перенастраивает частоту синтезатора и обеспечивает работу системы на резонансной частоте.

В качестве термометрического вещества для предложенного датчика ЯКР вместо хлората калия (KClO_3) предлагается использовать оксид меди (Cu_2O). Зависимость частоты ЯКР ^{63}Cu в Cu_2O от температуры для диапазона температур 4 – 400 К, показана на рисунке 2 (сплошная линия) [3].

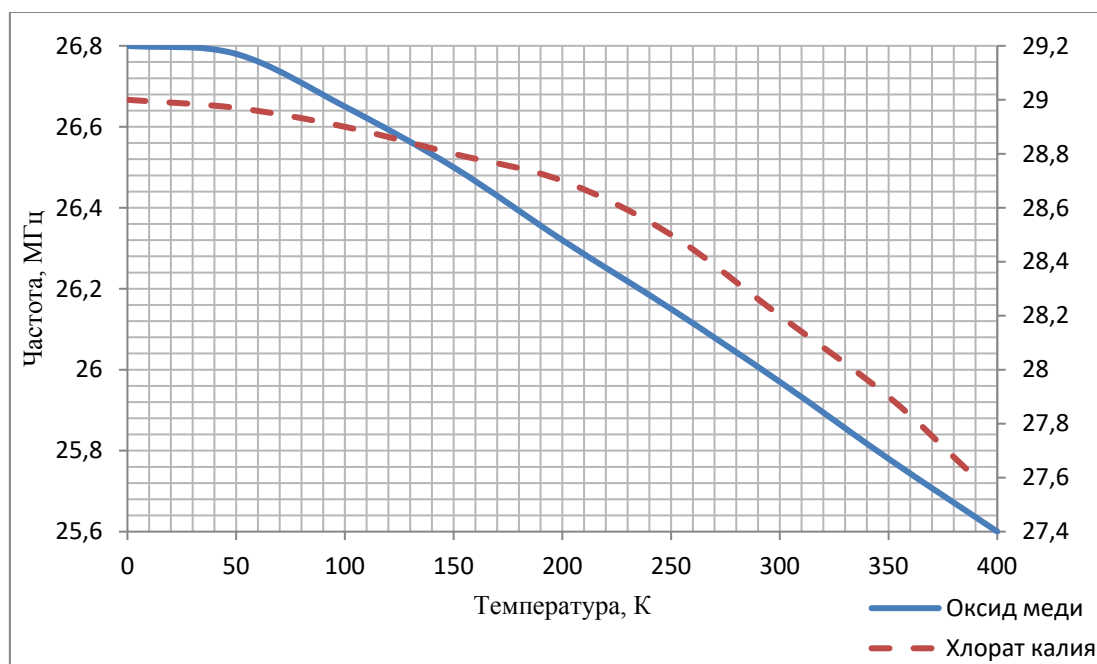


Рисунок 2 – Температурная зависимость ЯКР частот для изотопов ^{35}Cl (пунктирная линия) и ^{63}Cu (сплошная линия)

Для сравнения также показана температурная зависимость частоты ^{35}Cl ЯКР в KClO_3 (рисунок 2, пунктирная линия). Для оксида меди (рисунок 2, сплошная линия) зависимость линейна в диапазоне температур 100 – 390 К, следовательно точность измерений в пределах данного диапазона будет выше, чем для KClO_3 .

Заключение. В ходе работы было установлено, что для повышения точности устройство может быть реализовано с помощью, цифрового синтезатора частот. В качестве вещества температурного датчика необходимо выбрать оксид меди (Cu_2O) для повышения диапазона измеряемых температур, а также точности измерений.

Литература

1. Волицький, Р. О. Метод побудови ядерно-квадрупольного резонансного термометра на основі цифрових синтезаторів / Р. О. Волицький // науково-виробниче об'єднання «Термоприлад» ім. В. Лаха. – Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2013. – С. 1–5.
2. Staduk, B. Review of the structure and the principle of work of nuclear quadrupole resonance thermometer / B. Staduk, R. Volytskyi // 58th Ilmenau scientific colloquium. – TU Ilmenau, 2014. – P. 1-8.
3. Samila, A. Structural and functional synthesis of the continuous wave NQR temperature sensor with increased conversion linearity / A. Samila, I. Safronov, O. Hotra // Solid State Nuclear Magnetic Resonance. – 2020. – №110. – P. 1 – 9.

А. Г. Бердиев

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Н. Н. Федосенко**, канд. техн. наук, доцент

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОЛЯРИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ

Полимерные тонкопленочные поляризаторы, например, на основе поливинилового спирта (ПВС), являются довольно хрупкими [1, 2]. Данные недостатки обычно устраняются путем склейки поляризатора с двух сторон с триацетатцеллюлозой (ТЭЦ-пленка), которая защищает поляризационную пленку от механических повреждений [1], однако данная пленка с течением времени отстает и отслаивается от поляризационной пленки. Перспективным вариантом повышения механических и защитных свойств ПВС без ухудшения спектральных характеристик является способ осаждения на их поверхность поляризационных покрытий на основе тугоплавких оксидов [3], которые обладают высокими оптическими и механическими свойствами. Как установлено в работе [4], осаждение поляризационного покрытия на основе тугоплавких оксидов повышает микротвердость полимерной подложки.

Целью данной работы являлось исследование оптических свойств композиционной оптической системы, состоящей из стандартного поляризатора на основе ПВС и покрытия на основе слоев SiO_2 и ZrO_2 .

Таким образом, с целью повышения механических и защитных свойств без снижения спектральных характеристик стандартного тонкопленочного поляризатора на его поверхность методом электронно-лучевого испарения было осаждено 14-слойное покрытие $[\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2]_7$ на основе чередующихся слоев оксидов кремния и циркония. Нанесение покрытия производилось с помощью установки вакуумного напыления ВУ-1А, оборудованной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-1 и системой контроля оптических характеристик модели Iris 0211 (ООО «ЭссентОптикс», Республика Беларусь). Покрытие осаждали при длине волны контроля 569 нм. Конструкция данного покрытия представляет собой чередующиеся слои SiO_2 и ZrO_2 с толщинами 95,6 нм и 71,3 нм, и с показателями преломления 1,49 и 2,0, соответственно.

Исследование спектральных характеристик проводилось в диапазоне длин волн от 380 до 980 нм с использованием спектрофотометра Photon RT (Essent Optics, Беларусь). Спектры пропускания определялись в естественном и поляризованном свете (режим PS-поляризации) при углах падения излучения от 0° до 75° , далее полученные спектры обрабатывались с использованием программного обеспечения EssentSoft 3.15.

На рисунке 1 представлены спектры пропускания данной поляризационной системы неполяризованного и поляризованного света для различных углов падения излучения. На рисунке 2 приведены спектры пропускания поляризационной системы, на основе стандартного тонкопленочного поляризатора с нанесенным 14-слойным покрытием $[\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2]_7$ для разных углов падения.

На основе анализа спектров пропускания (рисунок 1, 2) чистого тонкопленочного поляризатора на основе поливинилового спирта и 14-слойного покрытия, осажденного на поверхность данного тонкопленочного поляризатора, установлено увеличение спектра пропускания на 10 %, за счет образования интерференционных максимумов пропускания, в видимой области спектра.

Таким образом при осаждении в качестве защитного покрытия на основе оксидов кремния и циркония спектральные свойства не ухудшаются и изменяются незначительно, с появлением интерференционного минимума, смещающегося в длинноволновую область спектра с ростом угла падения излучения в области от 500 до 700 нм.

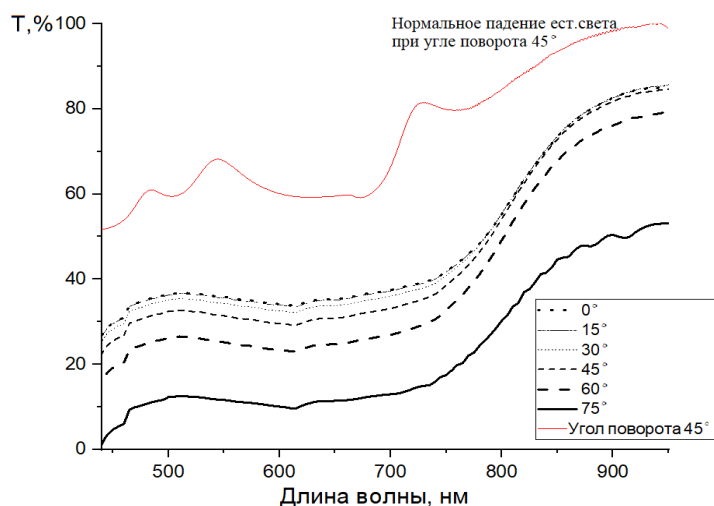


Рисунок 1 – Спектры пропускания стандартного тонкопленочного поляризатора для разных углов падения поляризованного излучения и неполяризованного излучения при повороте плоскости поляризации на угол 45°

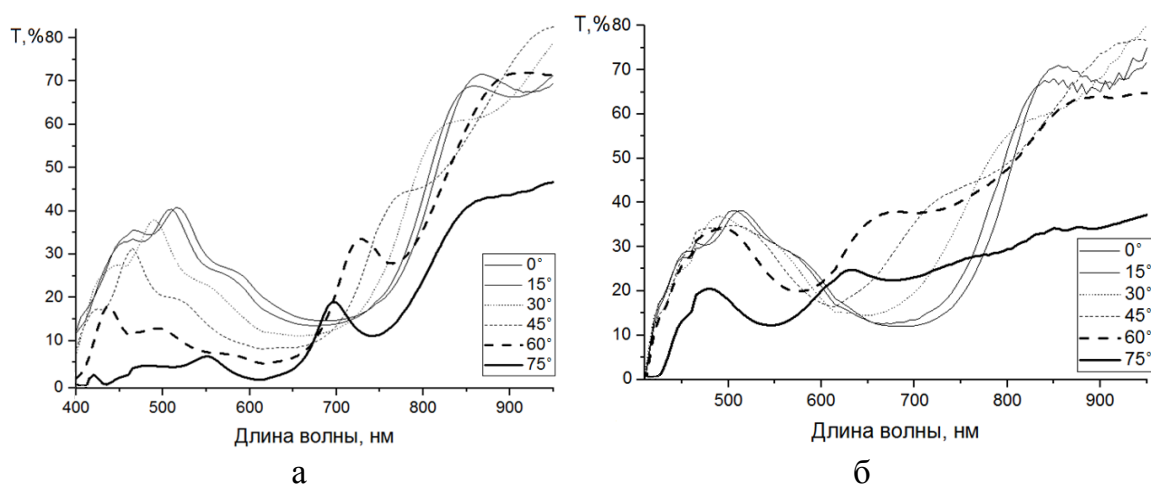


Рисунок 2 – Спектры пропускания поляризационной системы, на основе стандартного тонкопленочного поляризатора с нанесенным 14-слойным покрытием $[\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2]_7$ для разных углов падения: а – неполяризованного излучения; б – поляризованного излучения

Литература

1. Поляризаторы на основе поливинилового спирта и пленки с наночастицами серебра: получение и применение (обзор) / В. Е. Агабеков [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2015. – Т.1, № 2. – С. 6–35.

2. Шахаб, С. Н. Пленочные поляризаторы для видимой области спектра на основе поливинилового спирта и дихроичных красителей: Автореф. дис. канд. хим. наук / С. Н. Шахаб. – Минск, 2007.

3. Андреев, С. В. Оптические покрытия: учебное пособие / С. В. Андреев, Л. А. Губанова, Э. С. Путилин. – СПб: СПбГУИТМО, 2006. – 151 с.

4. Физико-механические и трибологические свойства покрытий на основе ZrO_2 и SiO_2 , сформированных электронно-лучевым испарением в вакууме / Н. А. Алешкевич, Д. Л. Горбачёв, Е. А. Кулеш, Н. Н. Федосенко // Международный научно-практический журнал «АВАНГАРД НАУКИ». – 2019. – Вып. 6. – С. 5–9.

Е. И. Божко, Р. А. Линько

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В СИНТЕТИЧЕСКОМ
МОТОРНОМ МАСЛЕ МАРКИ MOTUL SAE 5W-30
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОБЕГА
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Известно [1, 2], что в моторном масле, при его эксплуатации, происходит изменение его химического состава, которое выражается как в изменении его свойств, так и в изменении его количества. Количественные изменения протекают ввиду угара масла. Качественные изменения, построены по законам химмотологии и называется «старение масла». Размеры механических примесей, вызванных износом трущейся пары, входящей в цилиндрово поршневую группу, могут достигать величины от 1,0 мкм до 50 мкм. К механическим примесям относят все возможные твердые вещества органического и неорганического происхождения, находящиеся в моторном масле в виде осадка или во взвешенном состоянии, которые задерживаются фильтром при фильтровании самого нефтепродукта или его бензинового раствора [1–3].

При изготовлении моторных масел, производители стремятся к тому, чтобы механические примеси отсутствовали. Зарубежные и отечественные требования стандартов допускают наличие в моторном масле механических примесей от 0,007 % до 0,015 %. Образовавшиеся

в моторном масле механические примеси вызывают повышенный износ и нагрев поверхностей трения, а также способствуют образованию шлама, который может отлагаться в маслопроводах и нарушать тем самым подвод масла к узлам трения [1, 2].

В ходе работы проводились экспериментальные исследования по определению содержания механических примесей в синтетическом моторном масле Motul марки SAE 5W-30 в зависимости от величины пробега легкового автомобиля марки Kia, находящегося на гарантийном обслуживании. Подробная методика проведения отбора проб моторного масла, необходимых для исследований представлена в работе [4].

Содержание механических примесей в исследуемом моторном масле определяли с использованием сертифицированного оборудования по ГОСТ 6370–83 «Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей» [5]. Результаты исследований по определению количества механических примесей в исследуемом моторном масле представлены на рисунке 1.

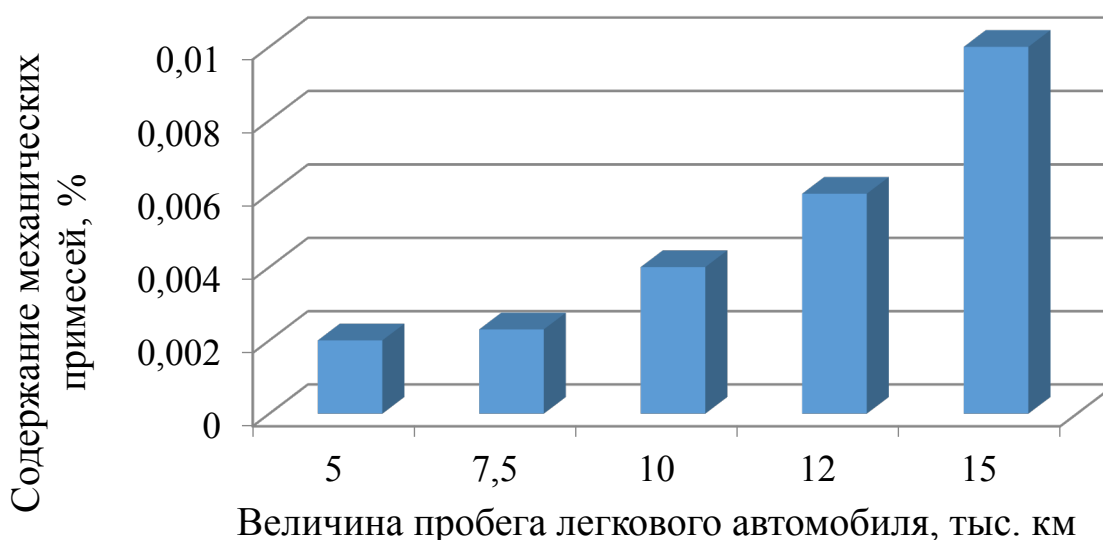


Рисунок 1 – Результаты исследований по определению содержания механических примесей в моторном масле марки Motul SAE 5W-30 при увеличении величины пробега транспортного средства

Результаты выполненных исследований по изменению содержания механических примесей в зависимости от пробега автомобиля, представленные на рисунке 1, показывают, что при пробеге легковыми автомобилями во всем диапазоне от 5 до 15 тыс. км в исследуемых образцах моторных масел значения содержания механических примесей

не превышает допустимого значения (от 0,015 % до 0,03 %), указанного в работах [1–3, 6, 7]. Можно видеть, что содержание механических примесей при пробеге от 5 до 15 тыс. км находится в диапазоне от 0,002 % до 0,01 %, что свидетельствует о высоком качестве масла.

Видно (рисунок 1), что при использовании моторного масла марки Motul SAE 5W-30 содержание механических примесей при пробеге транспортным средством первых 7,5 тыс. км увеличивается с 0,002 % до 0,0023 %. При пробеге от 7,5 до 10 тыс. км произошел рост числа механических примесей в 2 раза. В интервале от 10 до 15 тыс. км пробега произошел рост содержания механических примесей от 0,004 % до 0,01 %. Установлено, что максимальный рост числа механических примесей в составе моторного масла наблюдается после 10 тыс. км пробега, что, по-видимому, свидетельствует о существенном изменении химического состава моторного масла за счет уменьшения числа полимерных синтетических добавок в составе масла, вызванного длительным воздействием высоких температур и давления.

Следует также указать, что согласно требованиям, по обслуживанию автомобилей марки Kia в гарантийный период, замену моторного масла следует проводить после 15 тыс. км пробега, либо 1 раз в год.

Экспериментальные исследования показали, что превышение нормативно установленного в Республике Беларусь значения содержания механических примесей в моторном масле марки Motul SAE 5W-30 не наблюдается и преждевременную (досрочную) замену масла выполнять не следует.

Литература

1. Карташевич, А. Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. – М.: Инфра-М, 2015. – 420 с.

2. Хитрюк, В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / В. А. Хитрюк, А. К. Трубилов. – Минск: Республиканский институт профессионального образования, 2013. – С. 91–119.

3. О требованиях к смазочным маслам, маслам и специальным жидкостям: ТР ТС 030–2012. – Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 г. № 59, введен 01.03.2014. – 20 с.

4. Линько, Р. А. Исследование плотности синтетического моторного масла Motul, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / Р. А. Линько, О. К. Ермак // Инженерное и экономическое

обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 123–125.

5. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей: ГОСТ 6370–83. – Переизд. декабрь 2012 с Изм. 1 (ИУС. 1988. № 11). – Взамен ГОСТ 6370–59; введ. Респ. Беларусь 17.12.92. – Минск: Госстандарт, 2012. – 5 с.

6. Зарочинцев, Ю. М. Моторные масла. Причины загрязнения моторных масел: учебн. пособие / Ю. М. Зарочинцев. – Челябинск: Челяб. гос. техн. ун-т., 1992. – 38 с.

7. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с.

А. С. Брундуков, И. С. Шилько
(ИММС имени В. А. Белого НАН Беларуси, Минск)
Науч. рук. **Л. Ф. Иванов**, канд. техн. наук

СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Введение. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) в настоящее время широко применяются во всех отраслях промышленности. Особый интерес представляют ПКМ на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), т.к. данный современный термопластичный полимер обладает исключительным для большинства полимерных материалов комплексом физико-механических и теплофизических характеристик.

Цель исследования – изучение методов переработки ПКМ на основе ПЭЭК, разработка технологической оснастки для получения композиционных материалов на его основе и анализ свойств получаемых композитов.

Среди большого множества методов переработки ПКМ самыми распространёнными являются методы литья под давлением, компрессионного прессования, экструзии и аддитивных технологий. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, которые приведены на рисунке 1.

Основные методы переработки ПКМ

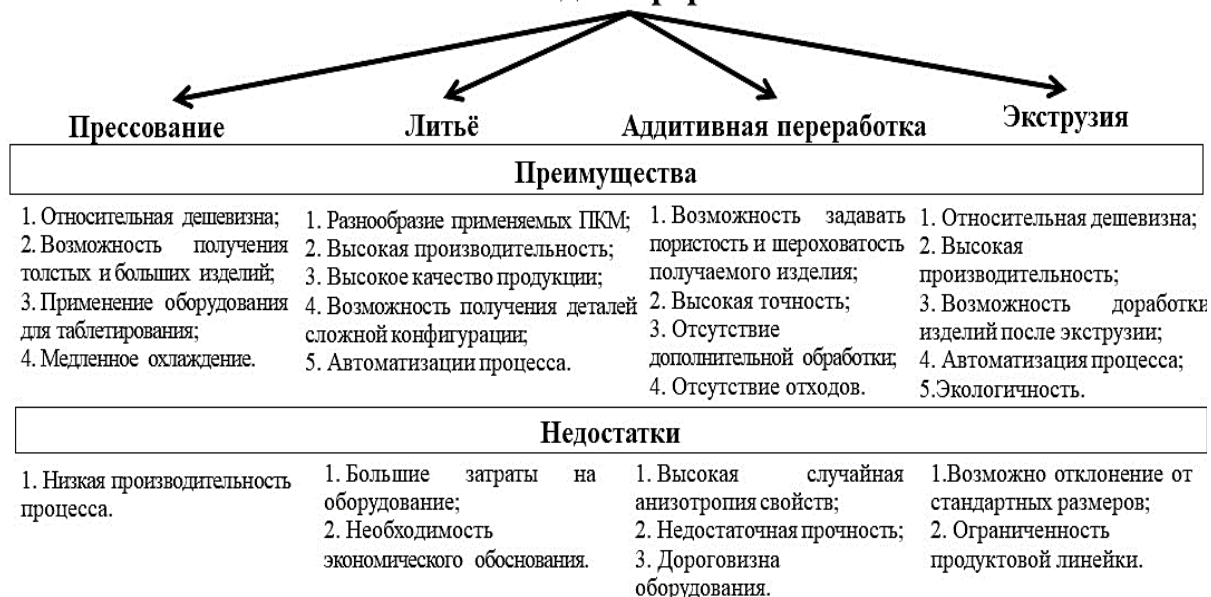


Рисунок 1 – Сравнение методов переработки ПКМ на основе ПЭЭК

Наиболее целесообразным для изучения определен метод горячего прессования, т.к. данный метод ориентирован на единичное (мелкосерийной) производство изделий и применим для научно-исследовательской деятельности.

Разработанный в 80-х годах ПЭЭК представляет собой исключительно прочный конструкционный термопласт, который обладает высокой термостойкостью и способен сохранять эксплуатационные свойства при рабочих температурах до 250°C, в то время как деструкция материала начинает протекать при температурах свыше 500°C [1].

Для переработки ПЭЭК и композитов на его основе необходимо поддерживать рабочее давление в форме от 35 МПа при температуре около 400°C.

Для достижения поставленной цели была разработана обогреваемая металлическая пресс-форма (рисунок 2) для переработки ПЭЭК и ПКМ на его основе методом горячего прессования.

В качестве материала для изготовления прессформы была выбрана сталь марки 40X13 [2]. Выбор данной стали позволяет отказаться от хромирования рабочих поверхностей, а сама оснастка сможет эксплуатироваться при температурах до 500 °C, что удовлетворяет высоким требованиям при переработке ПЭЭК.

Для образца, полученного выбранным методом, определяли модуль упругости при сжатии и предел прочности при растяжении при помощи универсальной испытательной машины «Instron 5567».

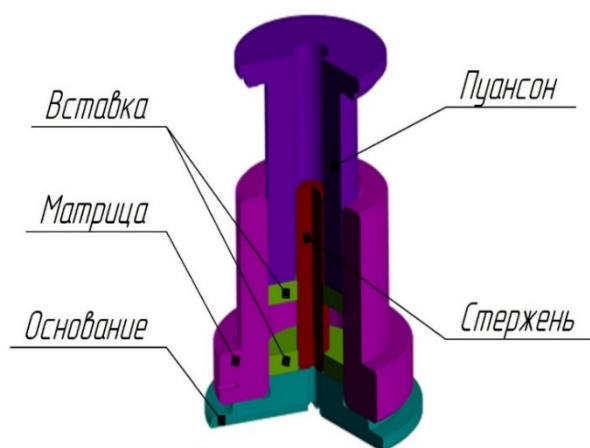


Рисунок 2 – Пресс-форма для переработки ПКМ на основе ПЭЭК

В качестве наполнителя выбрали углеродные волокна т.к. они повышают деформационно-прочностные характеристики, что в свою очередь, приводит к улучшению эксплуатационных свойств композиционного материала.

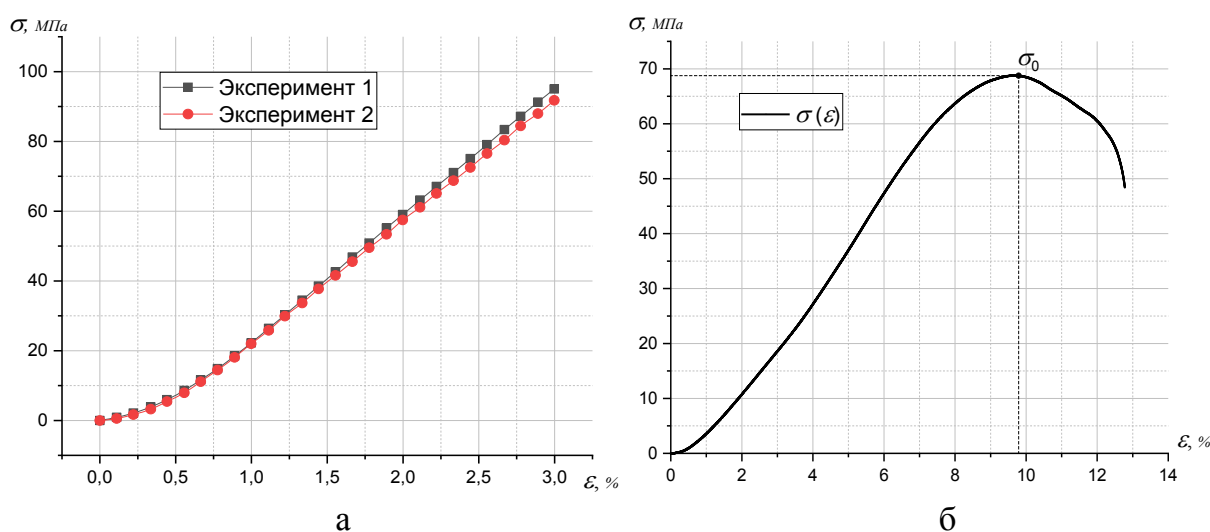


Рисунок 3 – Графики деформаций при: а) сжатии; б) растяжении композита на основе ПЭЭК, наполненного углеродным волокнами

Полученный образец характеризуется высокими деформационно-прочностными характеристиками. Модуль упругости при сжатии полученного ПКМ составил 2,9 ГПа. Для сравнения близкие по термостойкости угленаполненные ПКМ на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) характеризуются модулем упругости порядка 0,7 – 1 ГПа. Предел прочности при относительном удлинении образца порядка

9,7% составило 68 МПа. Относительное удлинение при разрыве образца составило 12,8%.

Заключение

На основании анализа существующих методов переработки выбран метод горячего прессования для получения ПКМ на основе ПЭЭК, требующих разработки и изготовления качественной технологической оснастки. ПЭЭК композиты, полученные данным методом, обладают высокими механическими характеристиками в сравнении с угленасыщенными материалами на основе ПТФЭ и представляют интерес для дальнейших исследований.

Литература

1. Саламов, А. Х., Микитаев, А. К., Беев, А. А., Беева, Д. А., Кумышева, Ю. А. Полиэфирэфиркетоны (ПЭЭК) как представители ароматических полиариленэфиркетонов // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 1. – С. 63–66.

2. Пантелеев, А. П., Шевцов, Ю. М., Горячев, И. А. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс // М.: Машиностроение. – 1986. – С. 399.

Д. А. Буланов, А. Д. Садловский, В. А. Никитюк
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Ю. В. Никитюк**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Существует два основных вида систем видеонаблюдения: аналоговые системы и цифровые [1]. Аналоговые обладают расширением не более двух мегапикселей. Главным преимуществом таких систем является небольшая цена. В настоящее время такие системы все реже применяются на практике. Это обусловлено существенными преимуществами систем ip-видеонаблюдение:

- высокое качество видеопотока;
- программное обеспечение, предоставляющее возможность решения вопросов контроля, систематизации, анализа и архивации данных;

- передача видеoinформации через защищенное сетевое соединение;
- простота интеграции новых устройств.

В связи с этим для формирования системы охранного видеонаблюдения на объекте было выбрано ip-видеонаблюдение. При ее разработке и внедрении будет использовано следующее оборудование: камеры видеонаблюдения, коммутаторы, сервер для хранения и обработки данных, устройство коммутации всей системы.

Были выбраны камеры производителя ZKTeco и коммутаторы Zyxel GS1900-24HPv2, имеющие 22 порта и возможность подключения 2 оптических модулей (рисунок 1).



Рисунок 1 – Коммутатор Zyxel GS1900-24HPv2

Для подсоединения камер к коммутаторам будет применен кабель витая пара, а для соединения коммутаторов между собой будет использован оптоволоконный кабель с использованием SFP-модуль (рисунок 2).



Рисунок 2 – SFP модули

Нужно отметить, что наиболее распространённым стандартом сменных оптических модулей является SFP (англ. Small Form-factor Pluggable). Это модули малогабаритной конструкции. С одной стороны модуль имеет разъём для подключения в коммутационное оборудование, а с другой два оптических порта: излучателя и фотоприем-

ника для работы в двухволоконном режиме либо один оптический порт для одноволоконных SFP [2].

В данном случае используется передача сигнала по 1 оптическому волокну, так как скорость не превышает 1Гбит/с. В таких модулях направление передачи и приема разделяется внутри модуля с помощью встроенного WDM-мультиплексора. Такая технология передачи данных называется WDM - Wavelength Division Multiplexing (Спектральное уплотнение каналов). Это технология, которая позволяет собирать в одно оптическое волокно несколько «поточков» оптического сигнала. Каждый поток транслируется на своей длине волны. Длину волны часто называют «цветом», хотя световые волны длиннее 740 нм человеческим глазом не воспринимаются и различить эти цвета человек не в состоянии [3].

Для расчета емкости дискового пространства была использована специальная утилита (рисунок 3). Расчетная емкость диска должна превышать 15 Тб, чтобы обеспечить 30 дней хранения информации.

В качестве сервера будет использован ПК с 8 Гб ОЗУ, 256 Гб SSD. Необходимость обеспечения бесперебойной работы всей системы обуславливает применение различных источников бесперебойного питания.

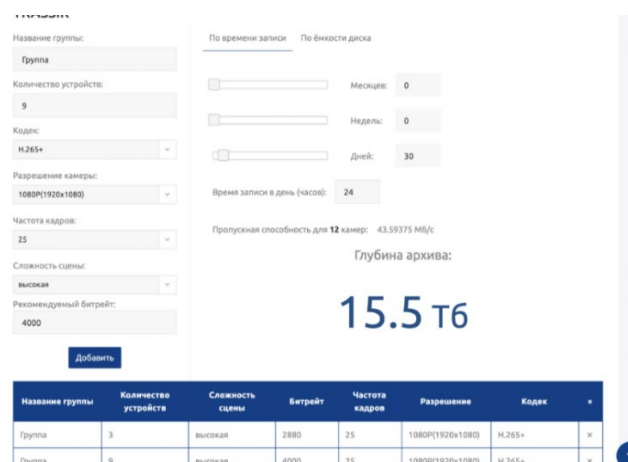


Рисунок 3 – Расчет емкости дискового пространства

Литература

1. Умное видео-наблюдение Ivideon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.iveon.com/>. – Дата доступа: 10.03.2021

2. Оптические модули SFP, SFP+, XFP, QSFP28, CFP и CFP2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sfp.by/>. – Режим доступа:

3. WDM простыми словами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mlaxlink.ru/info/wdm>. – Дата доступа: 10.03.2021

В. Ю. Бурова, О. Д. Заболотный
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЛАХ МАРКИ SAE 10W40

Известно [1–3], что содержание воды в моторном масле не должно превышать значений, составляющих от 0,03 % до 0,05 %. Содержание воды в масле приводит к ряду нежелательных явлений: снижаются защитные свойства масла из-за истощения моющее-диспергирующих присадок водой, вследствие чего возрастают износы деталей цилиндрово-поршневой группы (ЦПГ) и ускоряется загрязнение двигателя; укрупняются загрязняющие частицы, которые осаждаваясь в отверстиях двигателя, приводят к нарушению режима смазки подвижных частей и повышенным гидравлическим сопротивлениям в системе; нарушается гидродинамический режим смазки подшипников (при повышенном содержании воды в масле); повышается вероятность поражения масла микроорганизмами, необходимым условием жизнедеятельности которых является обязательное наличие воды.

В ходе выполнения настоящей работы произведены исследования изменения содержания воды в полусинтетических моторных маслах Shell Helix HX7, Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special марки SAE 10W40 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства, оборудованного бензиновым двигателем внутреннего сгорания. Методика проведения исследований изложена в исследовательской работе [4]. Содержание воды в моторном масле определяли с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 2477–2014 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды» [5]. В таблице 1 представлены результаты исследования моторных масел по определению объемной доли воды при эксплуатации легкового транспортного средства в зависимости от величины пробега.

Установлено, что следы воды присутствуют во всех исследуемых образцах полусинтетических моторных масел. При этом лучший ре-

зультат наблюдается при использовании моторного масла марки Shell Helix HX7, т. к. вода появляется в масле после 9 тыс. км пробега транспортным средством. В то же время в составе моторных маслах марок Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special вода обнаруживается уже после 6 тыс. км пробега. Дальнейшие исследования показывают, что наибольшее увеличение объемной доли воды наблюдается при пробеге транспортным средством более 12 тыс. км.

Таблица 1 – Результаты определения объемной доли воды в исследуемых марках полусинтетических моторных масел

Пробег транспортно-го средства, тыс. км	Объемная доля воды в исследуемом моторном масле, %		
	Shell Helix HX7	Castrol Magnatec	Eni Agip Gas Special
исходное значение	следы	следы	следы
3	следы	следы	следы
6	следы	следы	следы
9	следы	0,002	0,001
12	0,006	0,007	0,006
15	0,019	0,014	0,017

Можно видеть (таблица 1), что после 15 тыс. км пробега объемная доля воды в моторном масле марки Shell Helix HX7 составила максимальное значение (0,019 %) в сравнении с остальными марками исследуемых моторных масел, в которых данный показатель составил следующее значение: для моторного масла Castrol Magnatec – 0,014 %; для моторного масла Eni Agip Gas Special – 0,017 %.

Причиной появления воды в моторных маслах исследуемых марок может быть попадание топлива в масло, а также негерметичность охлаждающей системы двигателя внутреннего сгорания.

По результатам исследования можно утверждать, что лучшими эксплуатационными свойствами, оцениваемыми по объемной доле воды в масле, обладает полусинтетическое моторное масло марки Castrol Magnatec 10W40 в сравнении с моторными маслами марок Shell Helix HX7 и Eni Agip Gas Special 10W40.

Следует также отметить, что в первоначальный период эксплуатации транспортного средства (до 12 тыс. км пробега) лучший показатель по объемной доле воды наблюдался у моторного масла марки Shell Helix HX7.

Полученный результат, по-видимому, связан с тем, что в составе данного полусинтетического масла присутствует большее число присадок и добавок, отвечающих за возможное появление воды в составе

моторного масла. Однако в дальнейшем объемная доля воды в данном моторном масле превышала аналогичный показатель при исследовании других марок моторных масел, вследствие потери присадками своего функционального назначения.

Литература

1. Трубилов, А. К. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / А. К. Трубилов, В. А. Хитрюк. – Минск: Республиканский институт профессионального образования, 2012. – С. 79–105.

2. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с.

3. Геленов, А. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / А. А. Геленов, Т. И. Соченко, В. Г. Спиркин. – 4-е изд., стереотипное. – М.: Академия, 2015. – С. 115–116.

4. Заболотный, О. Д. Исследование плотности полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях внутреннего сгорания легковых транспортных средств / О. Д. Заболотный // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 97–99.

5. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды: ГОСТ 2477–2017. – Взамен ГОСТ 2477–65; введ. Респ. Беларусь 01.06.17. – Минск: Госстандарт, 2016. – 7 с.

Е. В. Воляк, Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА SHELL HELIX ULTRA PROFESSIONAL AV МАРКИ SAE 5W40

Кинематическую вязкость относят к одному из основных эксплуатационных показателей качества моторного масла. Кинематическая вязкость представляет собой отношение динамической вязкости к

плотности моторного масла при той же температуре. Кинематическая вязкость моторного масла определяет: толщину масляной пленки, образующуюся на поверхностях трения в процессе работы двигателя; степень износа деталей двигателя; надежность смазывания при высоких температурах; потери на трение и расход топлива [1].

В ходе проведения настоящей работы выполнены исследования изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 при температуре 40 °С в зависимости от величины пробега транспортного средства. В качестве подвижного состава принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см³. Отбор проб производили из трех автомобилей. Нагрев моторного масла и поддержание заданной температуры (40 °С) осуществляли с использованием термостатирующего прибора модели «Термостат А2». Время истечения моторного масла при указанной температуре определяли методом вискозиметрии в соответствии с требованиями ГОСТ 33–2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» [2] с использованием капиллярного вискозиметра марки ВПЖ-4 с диаметром капилляра 1,47 мм. Кинематическую вязкость каждого образца моторного масла рассчитывали, используя формулу [2]:

$$\nu = \Pi \cdot t, \text{ сСт}; \quad (1)$$

где Π – калибровочная постоянная вискозиметра, сСт. Калибровочная постоянная вискозиметра марки ВПЖ-4 составляла значение 0,3; t – время истечения образца моторного масла из вискозиметра, с.

Результаты исследований кинематической вязкости при 40 °С представлены на рисунке 1. Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные показывают, что исследуемый показатель с увеличением величины пробега транспортного средства до 15 тыс. км снижается. Установлено, что снижение кинематической вязкости, измеренной при 40 °С, при пробеге транспортным средством 15 тыс. км при использовании моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 составило значение 28,48 сСт. Установлено, что при пробеге транспортным средством 10 тыс. км кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С уменьшилась на 18,1 %. Показано (рисунок 1), что наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости

при 40 °С происходит в интервале пробега транспортным средством с 7,5 до 15 тыс. км.

Кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С при пробеге транспортным средством значения от 7,5 до 15 тыс. км при работе двигателя на моторном масле Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 снижается с 77,38 сСт до 58,94 сСт. Можно видеть (рисунок 1), что в результате пробега транспортным средством до рекомендуемого срока замены масла (15 тыс. км) кинематическая вязкость при 40 °С для моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40, в сравнении с исходным значением уменьшилась на 32,6 %.

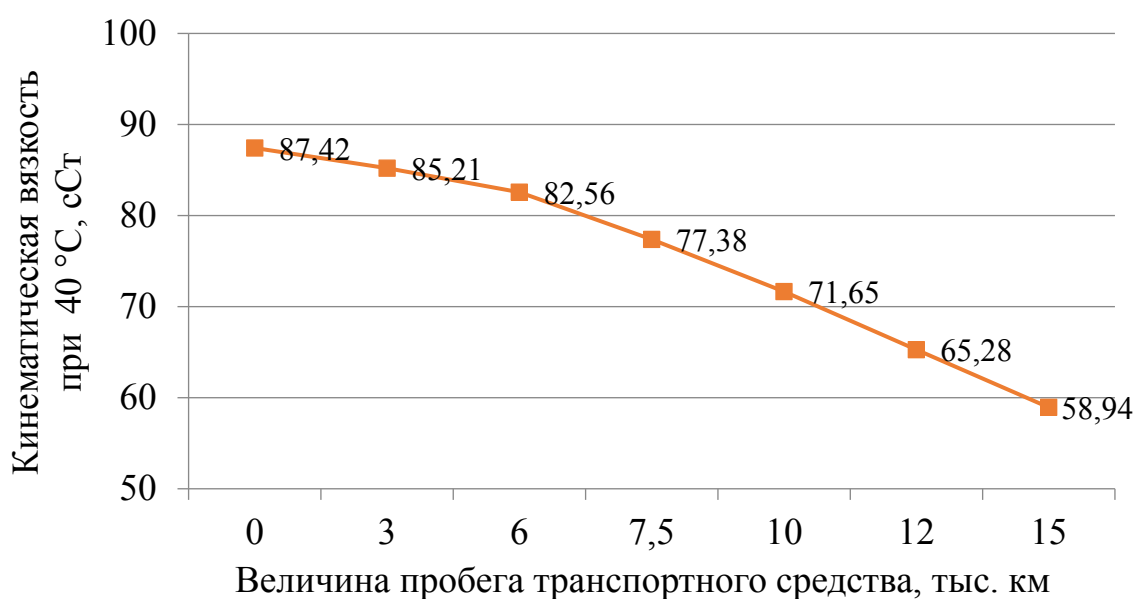


Рисунок 1 – Результаты исследования кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 при 40 °С при увеличении величины пробега транспортного средства

Причинами снижения кинематической вязкости могут быть: неполное сгорание топливно-воздушной смеси, а также утечка из системы питания в моторное масло топлива (бензин). Кроме того, под воздействием легких фракций топлива, моторное масло будет окисляться значительно быстрее, и как следствие, образующиеся при этом органические кислоты и отложения значительно ухудшают его качество, снижая кинематическую вязкость. В результате возможно повреждение подшипников, на деталях двигателя интенсивнее образуются нагар и лаковые отложения, что в свою очередь способствует увеличению количества механических примесей в моторном масле.

Таким образом, в результате исследований установлено, что моторное масло Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 целесообразнее заменить после 10–12 тыс. км пробега, а не после 15 тыс. км пробега (рекомендуемый пробег транспортного средства [3–5]), ввиду снижения кинематической вязкости моторного масла, измеренной при 40 °С более чем на 30 %.

Литература

1. Пивоварчик, А. А. Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2019. – Т.9. – № 1. – С. 78–87.

2. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости: ГОСТ 33–2000. – Переизд. февраль 2012. – Взамен ГОСТ 33–82; введ. Респ. Беларусь 01.01.02. – Минск: Госстандарт, 2012. – 19 с.

3. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с.

4. Зарочинцев, Ю. М. Моторные масла. Причины загрязнения моторных масел: учебн. пособие / Ю. М. Зарочинцев. – Челябинск: Челябин. гос. техн. ун-т., 1992. – 38 с.

5. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения: ТКП 248–2010 (02190). – Введ. 01.07.10. – Минск: Транстехника, 2012.

Д. С. Ворошкевич

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **Л. С. Хорошко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИММОБИЛИЗОВАННЫЕ ФОТОКАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Фотокаталитический способ глубокой очистки воды от примесей органических соединений привлекает внимание в связи с его высокой эффективностью, возможностью полного разрушения ряда хлор-, нитро- и полиароматических соединений и отсутствием необходимо-

сти использования расходуемых реагентов. Имобилизованный фотокатализатор позволяет избежать дополнительной операции фильтрации очищаемого раствора по окончании фотокатализа и позволяет эффективно организовать проточный процесс очистки [1].

В данной работе исследована фотокаталитическая активность пленочных покрытий на основе диоксида титана, сформированных на диэлектрических пористых подложках, а также гетероструктур диоксид титана/титанат стронция.

Тестовые образцы представляли собой пленки диоксида титана и титаната стронция, сформированные золь-гель методом, на подложке пористого анодного оксида алюминия (ПАОА) толщиной 0,5 мкм, выращенного на алюминии А95. Золи изготавливали по методикам, описанным в [2, 3]. Пленки на подложках ПАОА формировали центрифугированием (3200 об/мин, 30 с), каждый слой высушивали при 200 °С в течение 10 мин. Отжиг образцов проводили при температуре 450 °С на воздухе в течение получаса. Фотокаталитическую активность оценивали по степени разложения тестового загрязнителя – Родамина С в водном растворе после облучения растворов в присутствии образцов (время экспонирования составляло 60 мин для всех образцов, источник излучения – ртутная лампа, 365 нм).

Спектры поглощения исходного раствора Родамина С и растворов после фотокатализа в присутствии образцов приведены на рисунке 1.

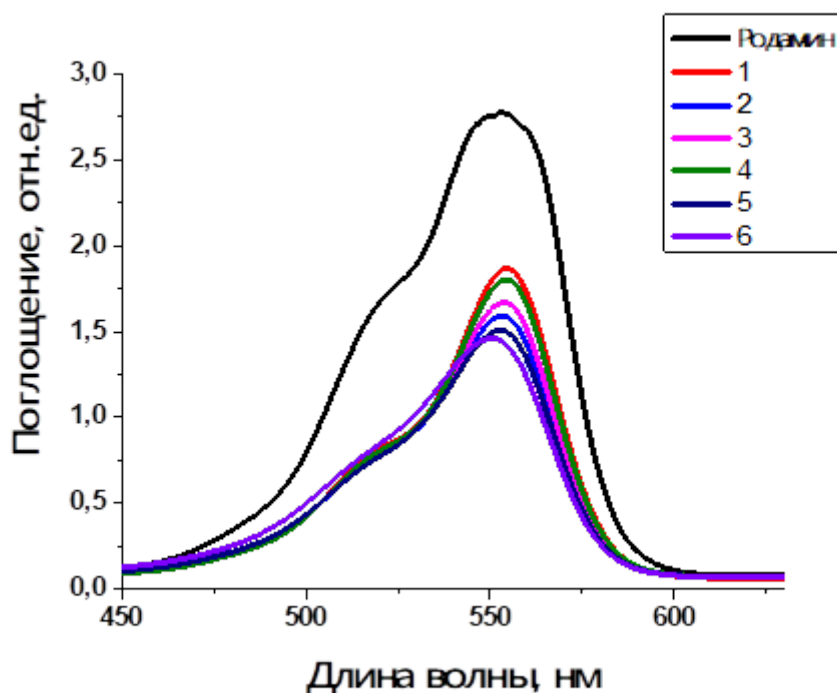


Рисунок 1 – Спектры поглощения исходного и тестовых растворов (обозначения образцов см. в таблице 1)

Спектры поглощения содержат один максимум на длине волны ~ 552 нм, что соответствует максимуму поглощения красителя Родамина С. Наблюдается уменьшение поглощения (гипохромный эффект) для всех образцов.

В таблице 1 слои указаны по порядку нанесения, в скобках концентрация основного оксида в золе в мг/мл. Степень деструкции красителя оценивали по интенсивности максимумов на для исходного раствора и растворов после облучения. В таблице 1 приняты следующие обозначения: D – значение оптической плотности на длине волны максимума λ , ΔD – значение смещения максимума, R – степень деструкции красителя, оцененная по соотношению интенсивностей основного пика поглощения Родамина С.

Таблица 1 – Анализ спектров поглощения тестовых растворов

			D	λ , нм	ΔD	R, %
–	Родамин С		2,78	552,88		
№	Золь (концентрация оксида, мг/мл)	Кол-во слоев				
1	SrTiO ₃ (30)	1	1,87	554,46	0,91	32,7
2	TiO ₂ (50)	1	1,59	553,03	1,19	42,8
3	TiO ₂ (30)	1	1,67	553,52	1,11	39,9
4	TiO ₂ (30)/SrTiO ₃ (30)	1+1	1,80	554,05	0,98	35,3
5	TiO ₂ (30)	2	1,51	552,99	1,27	45,7
6	SrTiO ₃ (30)/TiO ₂ (30)	1+1	1,46	550,07	1,32	47,5

Степень разложения красителей принимает наибольшее значения для пленок чистого TiO₂, полученных из золь с различной концентрацией оксида, а также для гетероструктуры SrTiO₃/TiO₂. Формирование потенциального барьера в твердотельной гетеросистеме SrTiO₃/TiO₂ может содействовать процессу разделения фотогенерированных электронно-дырочных пар и увеличить их время жизни, что и повышает фотокаталитическую активность структур, содержащих SrTiO₃. Однако, для структуры, где титанат стронция является внешним слоем такого повышения не наблюдалось, как и для чистого SrTiO₃, что требует проведения дополнительных исследований. Наблюдаемое смещение максимума поглощения раствора может указывать на присутствие побочных фотоиндуцированных превращений, не приводящих к деструкции молекулы красителя. Для снижения вклада таких реакций можно дополнительно насыщать тестовый раствор кислородом в процессе экспонирования.

Полученные результаты могут быть использованы для получения новых перспективных материалов, применяемых для фотокаталитической очистки воды от органических загрязнителей. Дальнейшими задачами исследования является оптимизация получения оксидных покрытий на структурированных и гладких подложках и сравнительная оценка их фотокаталитической активности.

Литература

1. Крутько, Е. Н. Гетерогенные композитные диоксид-титановые фотокатализаторы на фосфатных носителях Е. Н. Крутько, А. И. Кулак. // Теор. и эксперим. химия. – 2009. – Т. 45, № 1. – С. 36–41.

2. Photocatalytic activity of TiO_2 and SrTiO_3 xerogels embedded in porous anodic alumina / L. Khoroshko, N. Gaponenko, E. Krutko, A. Kulak // Physics, Chemistry and Application of Nanostructures: proceedings of the international conference «Nanomeeting-2015»: Minsk, Belarus, May 26–29, 2015 / World Scientific; ed. by V. E. Borisenko [et al.]. – Singapore, 2015. – P. 377–380.

3. Optical Characteristics of Strontium Titanate Films Formed by Sol-Gel Method on Quartz Substrates / A. I. Kulak, H. Sohrabi Anaraki, N. V. Gaponenko, L. S. Khoroshko, P. A. Kholov, T. F. Raichyonok / Journal of Applied Spectroscopy. – 2017. – Vol. 84, Iss. 1. – P. 132–135.

В. Ю. Гарбарук

(ОДО «НТЦ Ларта», Гомель)

Науч. рук. **В. А. Гольдаде**, д-р техн. наук, профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОВОЛОКНА ДЛЯ ОЧИСТКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА ОТ МАСЛЯНОГО ТУМАНА

Очистка от масла и масляного тумана является одним из основных этапов подготовки технического газа для использования его в производственных узлах и корректного функционирования пневматического оборудования. Немаловажным фактором является также возможность сбора и повторного использования отделённого масла в компрессорных установках и других системах газоподготовки – этим до-

стигается как увеличение экономической эффективности производства, так и увеличение сроков бесперебойной работы оборудования, не требующего дополнительного сервисного обслуживания.

В данной работе в качестве основного фильтрующего слоя фильтроэлемента использовали мат стекловолоконный МЕ-СТВ-2,0 [1], покрытый слоем фторопластового лака ЛФ-32лн [2]. Для увеличения механической прочности полосы стекломата шириной 30 см помещали между двумя слоями нетканого материала и окунали в ванну с раствором лака в бутилацетате концентрации 1:7 и 1:4. Разная концентрация фторопласта-32л в растворе использована для сравнения характеристик материала и нахождения оптимального соотношения лака и растворителя. Затем стекломат пропускали через валы из нержавеющей стали для отжима лишней жидкости и формирования плоской поверхности, после чего помещали на лист металлической сетки для последующей сушки при атмосферных условиях в течение суток. После сушки стекломат отделяли от нетканого материала и проводили финальную термообработку при температуре 150 °С в течение 4 часов для фиксации покрытия.

Полученный материал толщиной 0,8 мм наматывали в один слой на каркас из пористого полипропилена, в качестве дренажа использовали два слоя нетканого материала типа «спанбонд».

Испытательный стенд аналогичен стенду для испытания газовых фильтров, описанному в работе [3], за исключением контрольного фильтра: для более полного детектирования масла использовали цилиндрический фильтроэлемент длиной 250 мм и диаметром 50 мм, состоящий из двух слоев ткани ФПП-15-1,5 [4], задерживающей остатки масляного тумана. Для недопущения перенасыщения маслом контрольный фильтр включали на время от 30 до 60 минут и только после выхода испытуемого фильтроэлемента на стационарный режим с установившимся перепадом давления. Содержание масла на входе в фильтр составляло 46 ± 1 мг/нм³ (в качестве единицы измерения количества вещества используются нормальные метры кубические), расход воздуха - 180 ± 3 нм³/час.

Установлено, что фильтры с разной концентрацией фторопласта в обрабатываемом растворе обладают близкой по величине эффективностью очистки в пределах 92,8 – 93,4 %. На рисунке 1 показана динамика изменения перепада давления в процессе насыщения исследуемого фильтроэлемента маслом при периодической работе компрессора для 4 образцов.

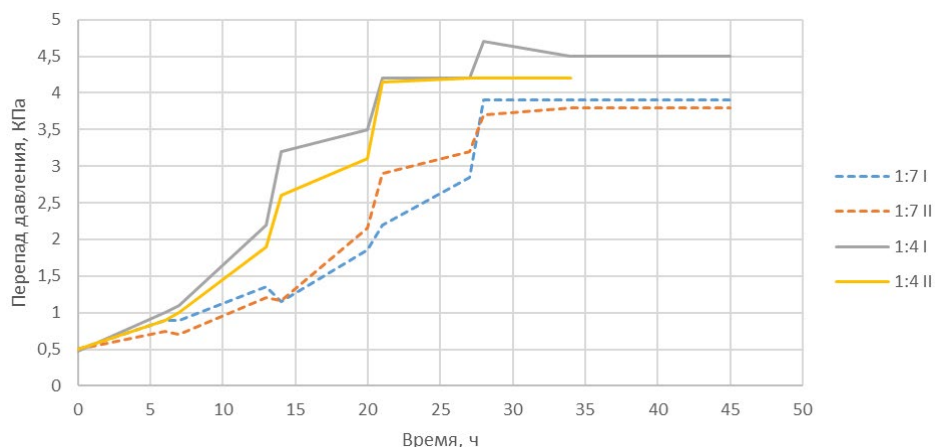


Рисунок 1 – Зависимости величины перепада давления от времени на фильтрах, полученных при разной концентрации лака в пропиточном растворе

Видно, что при большей концентрации лака в растворе (сплошные кривые) наблюдается увеличение перепада давления, что объясняется более быстрым «забиванием» фильтрующего слоя. Это было установлено при сравнении разрезанных отработанных образцов: более вязкий раствор хуже смачивает отдельные волокна, склеивая их при высыхании в жгуты, что уменьшает как проницаемость, так и эффективную площадь фильтрации.

Еще одна серия образцов была изготовлена из стекломата с добавлением в структуру фильтра волокнисто-пористого ПТФЭ марки «Грифтекс» (производства ИММС НАН Беларуси) до и после слоя стекломата. Полученные образцы показали увеличенную на 0,7–1,6 % эффективность маслоотделения вплоть до 94,4% (2,6 мг/нм³) и уменьшенный перепад давления рабочего режима (рисунок 2, для сравнения пунктиром приведены графики рисунка 1). Эти результаты можно объяснить как собственными фильтрующими свойствами «Грифтекса», так и улучшенному стеканию масла по волокнам фторопласта.

Таким образом, полученный стекловолокнистый материал может стать основой для маслоулавливающих фильтров компрессорных установок в условиях, где нет возможности использовать решения, дающие большой перепад давления. Уже на данном этапе эффективность очистки вплотную приблизилась к стандартной для газоперерабатывающей отрасли величине 2 мг/нм³. При дальнейшем исследовании влияния толщины коалесцирующего слоя и сочетания материалов на процессы фильтрации возможно достижение технически необходимой эффективности при сохранении достаточно малого перепада давления.

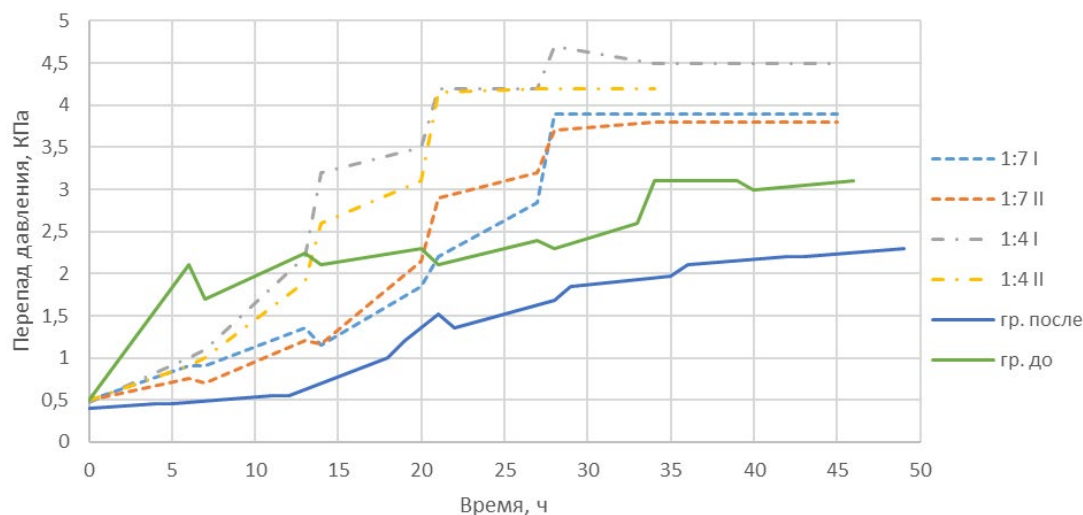


Рисунок 2 – Зависимости величины перепада давления от времени на фильтрах: нижняя сплошная линия – «Грифтекс» до стекломата, верхняя – после.

Литература

1. ТУ 6-11-541-83 с изм. 1-4. Маты из супертонкого стеклянного штапельного волокна марки МБ-СТВ. – Новгород: НЗСВ, 1983. – 9 с.
2. ТУ 6-05-1884-80. Лаки фторопластовые и фторопласто-эпоксидные холодного и горячего отверждения. – Москва: ЦНИИТС, 1980. – 16 с.
3. Гарбарук, В. Ю. Методика определения эффективности фильтрующих элементов для очистки газов от масляного тумана / В. Ю. Гарбарук. – Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования, VI Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых, посвящённая памяти члена-корреспондента НАН Беларуси С. С. Песецкого, 2020. – С. 88-89.
4. ТУ 2568-411-05795731-2008. Материал фильтрующий ФПП 15-1,5. – Пермь: АО «Сорбент», 2008. – 12 с.

Д. Ч. Гвоздовский, М. С. Баранова
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **В. Р. Стемпицкий**, канд. техн. наук, доцент

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОННЫЕ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА «ГРАФЕН / ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОДЛОЖКА»

Основной идеей наноплазмоники является использование поверхностных плазмонных волн (ППВ), которые индуцируются возбуж-

денными зарядами посредством оптического излучения. ППВ существуют на границе раздела диэлектрика и проводника. Данное физическое явление может применяться в качестве различных приложений: химические сенсоры, рамановская спектроскопия с поверхностным усилением (способной обнаруживать одиночную молекулу), оптимизация ячейки солнечного элемента для повышения КПД. Одна из наиболее привлекательных особенностей ППВ заключается в том, что они концентрируют и направляют электромагнитное излучение на субволновых масштабах.

Поверхностные плазмоны (ПП) представляют собой связанные колебания электромагнитного поля и электронов проводимости, распространяющиеся вдоль поверхности проводника. Их можно интерпретировать как электромагнитные волны, захваченные поверхностью металла вследствие взаимодействия со свободными электронами. В ходе этого взаимодействия электроны проводимости коллективно реагируют на электромагнитное воздействие, осциллируя в резонансе со световой волной.

Наиболее распространенными механизмами возбуждения плазмонных волн являются: ослабленное полное отражение, рассеяние на топологическом дефекте на поверхности проводника и брэгговское рассеяние с использованием дифракционных решеток или периодической гофрировки. В графене длина волны ППВ может быть примерно в 40 раз короче, чем длина волны падающего излучения в свободном пространстве. Также графен обладает сильным плазмонным откликом в ТГц диапазоне частот при комнатной температуре.

В [1-3] экспериментально и теоретически изучено распространение поверхностных плазмон-поляритонных волн (ПППВ) на границе раздела двух сред: графена и диэлектрической подложки. ПППВ проявляют сильную волновую локализацию, умеренную потерю энергии, а их частота может изменяться посредством внешнего электромагнитного поля или химического легирования. В отличие от металлических сред, на границе которых распространение волн ППП происходит в диапазоне инфракрасного и оптического спектра, графен обеспечивает распространение волн в терагерцовом диапазоне. В [4] предложена конструкция плазмонной графеновой наноантенны. Показано, что габаритные размеры таких устройств могут измеряться в нанометрах, но при этом иметь диапазон резонансных частот в терагерцовом диапазоне. Таким образом, гетероструктура, которая состоит из графена и диэлектрической подложки может быть функциональной частью наноантенны, которая базируется на ПППВ, что поз-

воляет при нанометровых геометрических размерах иметь терагерцовый диапазон рабочих частот.

Условием существования ПП на плоской границе двух сред является отрицательное значение диэлектрической или магнитной проницаемости [5]. Исследование возможности реализации в планарной периодической структуре на основе графеновых монослоев и диэлектрической подложки поверхностных волн сводится к поиску частотных областей, где действительная часть эффективной диэлектрической проницаемости принимает значения меньше нуля.

На рисунке 1 представлены результаты моделирования оптических свойств, в частности диэлектрической проницаемости, слоистой структуры на основе графена и диэлектрической подложки SiO₂. Поскольку предметом исследований является ПППВ, то интерес представляют компоненты действительной части по xx- и yy-направлениям.

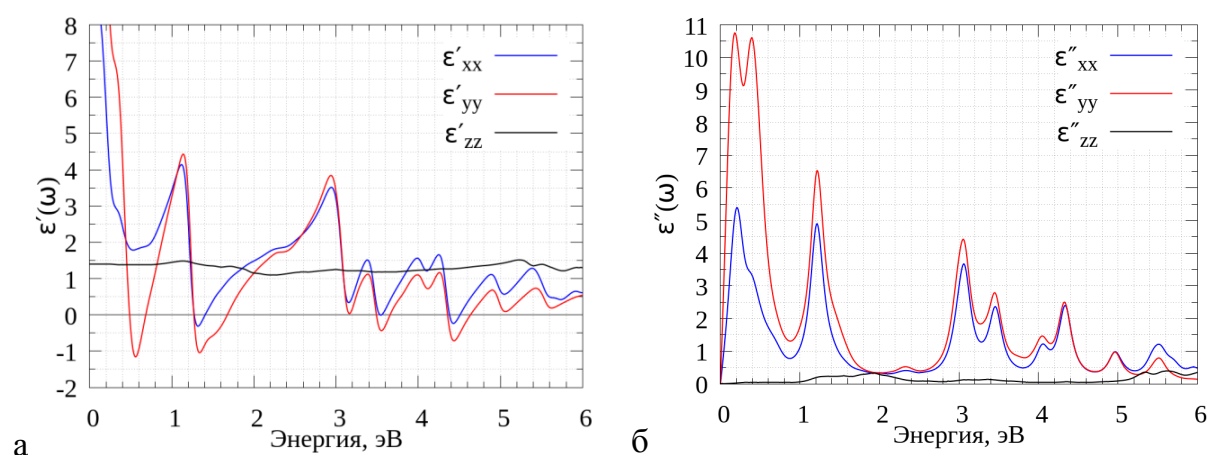


Рисунок 1 – Действительная (а) и мнимая (б) части комплексной диэлектрической проницаемости графена на подложке SiO₂

Результаты расчетов квантово-механического моделирования электронных и оптических свойств системы «графен/ α -SiO₂» позволил сделать выводы, что перспективной гетероструктурой для изучения ПППВ является графен, который расположен на поверхности кварцевой подложки с оборванными связями кислорода O^{unsat}. При этом механизм абсорбции является физическим, что способствует сохранению графеном его электронных свойств. В частности, энергетический спектр графена вблизи уровня Ферми и в интервале энергий от -1,3 до 0,7 эВ остается линейным. Расчёты оптических свойств выбранной гетероструктуры позволили установить по спектральной зависимости действительной части диэлектрической проницаемости, что система

обладает тремя участками в частотном спектре, где возможно формирование поверхностных плазмонных волн: 0,4-0,5 эВ (I), 1,25-1,5 эВ (II), 4,5-5,5 эВ (III). При этом, наиболее перспективным является частотный участок от 4,5 до 5,5 эВ, поскольку в этом случае графен обладает наибольшей проводимостью. Оценка зарядовой плотности позволила установить, что в структуре происходит перераспределение заряда и возможно формирование двумерного электронного газа. При этом основной заряд со стороны подложки локализован на атомах кислорода. Наблюдаемые особенности можно считать механизмом формирования поверхностных плазмонных волн.

Литература

1. Dubinov A. A., Terahertz surface plasmons in optically pumped graphene structures / A. A. Dubinov, V. Y. Aleshkin, V. Mitin // J. Physics: Condensed Matter. – 2011. – V. 23 (14). – P. 145302.

2. Koppens F. H. L., Graphene plasmonics: A platform for strong light matter interactions / F. H. L. Koppens, D. E. Chang, F. J. Garcia de Abajo // Nano Lett. – 2011. – V. 11 (8). – Pp. 3370-3377.

3. Bludov Yu. V., Mechanism for graphene-based optoelectronic switches by tuning surface plasmon-polaritons in monolayer graphene / Yu. V. Bludov, M. I. Vasilevskiy, N. M. R. Peres // Europhysics Letters Association. – 2011. – V. 92 (6). – P. 152.

4. Jornet J. M., Graphene-based nano-antennas for electromagnetic nanocommunications in the terahertz band / J. M. Jornet, I. F. Akyildiz // Proc. 4th European Conf. Antennas Propag. (EUCAP). – 2010.

5. И. Л. Шейнман // Журнал технической физики : журнал. – 2001. – № 71(5). – С. 28-34.

А. С. Гончаров

(ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)

Науч. рук. **С. Д. Лещик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТАЛИ С НАНОКОМПОЗИЦИОННЫМ ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ ХРОМА

Введение. Одним из направлений повышения износостойкости поверхностных слоев деталей машин является хромирование. Так как

хромирование – это энергоемкий процесс с низким выходом металла по току, то повысив твердость и износостойкость покрытий можно уменьшить толщину наносимого слоя хрома при обеспечении требуемого ресурса детали и сокращении затрат на сам процесс хромирования. Для увеличения твердости и износостойкости электролитических хромовых покрытий применяют хромирование из электролитов содержащих наночастицы [1]. При этом формируются нанокпозиционные гальванические покрытие. Получаемые покрытия могут также отличаться по пористости от стандартных, что влияет на их защитные характеристики. Поскольку, в отличие от декоративного, износостойкое хромирование производится по стальной поверхности без защитного слоя меди, то весьма актуальным представляется исследование коррозионной стойкости стальных образцов с покрытием на основе хрома, осажденного из наноэлектролита.

Методика экспериментальных исследований. Электроосаждение хрома осуществляли на стальную подложку при стандартных режимах износостойкого хромирования по стандартной промышленной технологии.

Для приготовления наноэлектролита использовали дистиллированную воду, в которой проводили электроразрядное разрушение графита, и, содержащую, таким образом, наноразмерные и субмикронные частицы. Разрушение материала на структуры нано- и субмикронного уровня при микросекундном электроразрядном импульсе проводились на установке, схема которой описана в работе [2] при режимах и условиях синтеза ультрадисперсных частиц, приведенных в работе [3].

Для получения модифицированных и контрольных образцов готовили стандартный сульфатный электролит хромирования на основе шестивалентных соединений хрома с использованием водной наносуспензии и чистой воды, соответственно. Хромирование вели при постоянном перемешивании электролита, т.к. это необходимо для поддержания во взвешенном состоянии частиц субмикронного размерного уровня (наночастицы же кинетически устойчивы в жидкости), а также для облегчения удаления образующихся пузырьков водорода с поверхности катода.

Коррозионную стойкость металлических образцов с электролитическим покрытием на основе хрома, модифицированным ультрадисперсными частицами, оценивали в камере солевого тумана по стандартной методике ускоренных коррозионных испытаний. Сущность метода оценки коррозионного поражения заключается в наложении

на поверхность образца трафарета из прозрачного материала с нанесенной на него квадратной сеткой и подсчете отношения количества квадратов с ржавчиной независимо от ее площади, занимаемой в квадрате, к общему числу квадратов на поверхности образца. Степень поражения X_C в процентах вычисляют по формуле:

$$X_C = \frac{n_C}{N_C} 100,$$

где n_C – число квадратов с ржавчиной;

N_C – общее число квадратов на поверхности образца.

Толщину покрытий оценивали весовым методом и прямым измерением.

Результаты и их обсуждение. Результаты расчета степени коррозионного поражения образцов по итогам коррозионных испытаний в камере солевого тумана приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты коррозионных испытаний покрытий из электролитического хрома, осажденного из электролита с наночастицами углерода

Толщина покрытия, мкм	Степень поражения X_C (%) образцов в зависимости от содержания (г/л) наночастиц в электролите		
	0,1	1,0	10,0
5	100	100	100
10	45	55	55
20	30	35	40

По результатам коррозионных испытаний установлено следующее. Коррозионное разрушение образцов представляет собой очаги коррозии на поверхности покрытия. Продукты коррозии имеют коричневатый, красно-коричневый, а также черный цвет. Размер пятен коррозии составляет 12 мкм и более. Так как коррозионное поражение имеет очаговый характер, то следует полагать, что происходила коррозия основного металла (стальной поверхности) из-за проникновения коррозионно-активной среды через поры покрытия. Полученный результат согласуется с данными других авторов [4].

Выявлено, что образцы с модифицированным наночастицами покрытием имеют большее количество очагов коррозии и, соответственно, большую степень коррозионного поражения в процентном выражении. Это можно объяснить тем, что из электролитов, содержащих наноразмерные частицы, формируется покрытие с большей пористостью.

Заключение. По результатам исследований установлено, что коррозионная стойкость стальных образцов с покрытием на основе гальванического хрома, осажденным из электролита с добавлением частиц, синтезированных при электроразрядном разрушении графита, ниже, чем у образцов со стандартным покрытием.

Литература

1. Leshchik, S. D. Effect of the ultradispersed diamond phase on the tribological behavior of electrolytic chromium coatings / S. D. Leshchik, V. A. Struk // Journal of Friction and Wear – 1999. – Vol. 20, № 6, – p. 73-79.

2. Сергиенко, И. Г. Влияние временного фактора на поведение наночастиц меди и суспензий на их основе, полученных методами импульсной лазерной абляции и электроразрядного разрушения / Сергиенко И. Г., Зноско К. Ф., Лещик С. Д. // Весн. ГрДУ імя Я. Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2017. – Т.7. – № 2. – С. 18–26.

3. Лещик, С. Д. Синтез наночастиц методом электроимпульсного разрушения графита в жидкости и применение их в композиционных электролитических покрытиях на основе хрома / С. Д. Лещик [и др.] // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2020. – Т. 10. – № 2. – С. 64–73.

4. Лещик, С. Д. Исследование защитных свойств покрытий из модифицированного электролитического хрома / С. Д. Лещик // Вестник Гродненского государственного университета. – 1999. – серия 2, № 2. – С. 67-69.

Е. В. Гришкевич

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **С. С. Ануфрик**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ ИНДИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ АНАЛИТИЧЕСКИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПЛАЗМЫ ЛАТУНИ

Введение. Цель работы – исследование влияния наночастиц индия на интенсивность аналитических спектральных линий латуни с целью улучшения процессов абляции, возбуждения плазмы и чувствительности обнаружения.

Оборудование. Исследования проводились при помощи лазерно-эмиссионного спектрального анализатора LIBS. Лазерный анализатор элементного состава предназначен для экспрессного анализа широкой номенклатуры материалов. Для исследования количественного состава латуни использовался метод рентгено-флуорисцентного спектрального анализа (РФА) – в частности прибор СЕР-01 «Elvax».

Объекты и методика исследования. Объектом исследования являлся образец латуни неизвестного состава. На начальном этапе пробоподготовки образец зачищался наждачной бумагой с различным диаметром зерна абразива. В ходе зачистки размер зерен абразива уменьшался. Для уменьшения количества царапин, на поверхность образца наносилась паста голя для дальнейшей полировки поверхности образца войлочным кругом. Далее зачищенная поверхность промывалась техническим спиртом, с целью удаления мелких частиц абразива и пыли.

После этапа полировки, на поверхность образца наносился водный раствор наночастиц индия. Сушка образца осуществлялась при комнатной температуре. Высушенный образец закрепляли на штативе для облучения лазерным излучением.

Эксперимент. В ходе исследования элементного химического состава методом РФА была определена марка сплава латуни. Результаты исследования элементного состава, образца латуни неизвестного состава, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Элементный состав образца латуни

Образец	Ат. номер	Элемент	Концентрация	Описание
Латунь	23	V	0,281 %	Соответствие: 95.0% марке: С 86400 Обнаружимо: 98.5% Стандарт: СДА
	28	Ni	2,009 %	
	29	Cu	54,372 %	
	30	Zn	42,599 %	
	82	Pb	0,739 %	

Как видно из таблицы 1 образец латуни содержит 54,3% меди, 42,6% цинка, 2,0% никеля и следовые количества ванадия и свинца, что соответствует марке латуни С86400.

Далее исследовались спектры лазерно-эмиссионной плазмы исходного образца латуни без покрытия и с покрытием наночастицами индия. При этом для образца, с покрытием наночастицами, получали 2 спектра: в центре и на краю адсорбированной капли. По каждой области исследуемого образца производилась серия из 5 сдвоенных ла-

зерных импульсов. Суммарная энергия лазерных импульсов составляла $\sim 29,92 \pm 0,83$ мДж.

На рисунке 1 приведены спектры лазерно-эмиссионной плазмы, полученные при абляции латуни без и с покрытием наночастицами индия.

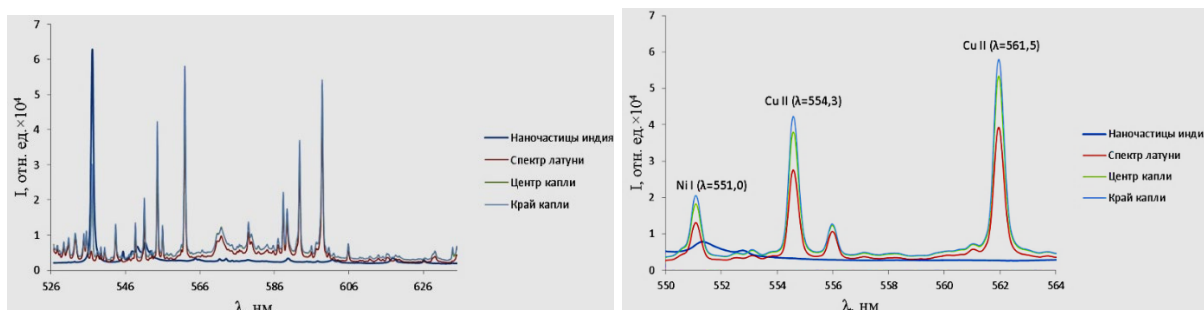


Рисунок 1 - Спектры лазерно-эмиссионной плазмы, полученные при абляции латуни марки С86400

Из рисунка 1 видно, что при применении раствора наночастиц индия, с концентрацией $0,14 \cdot 10^{-5}$ моль/л, увеличивается интенсивность спектральных линий никеля Ni I ($\lambda=551,0$), меди Cu II ($\lambda=554,3$), Cu II ($\lambda=561,5$) в $\approx 1,5$ раза.

Заключение. В ходе эксперимента было установлено, что адсорбция наночастиц индия, полученных методом лазерной абляции, на поверхности образца позволяет увеличить интенсивность спектральных линий ряда элементов, входящих в состав латуни марки С86400. Интенсивность аналитических спектральных линий никеля и меди была увеличена в $\approx 1,5$ раза. Полученные результаты могут использоваться при определении микроколичеств вещества в многокомпонентных сплавах.

Литература

1. Санкт-Петербургский государственный университет “Научный парк” [Электронный ресурс] / Спектроскопия, ИК спектроскопия, ДТА – Научный парк СПбГУ, 2020. Режим доступа: <https://researchpark.spbu.ru/xrd-methods-rus/68-xrd-spektroskopiya-ik-spektroskopiya-dta-rus>. – Дата доступа: 02.12.2020.

2. Inscience «Научные решения» [Электронный ресурс] / Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия с Avantes. – Москва, 2020. – Режим доступа: https://in-science.ru/library/article_post/lazerno-

iskrovaya-emissionnaya-spektroskopiya-s-avantes. – Дата доступа: 04.12.2020.

3. Jantzi S. C. Sample treatment and preparation for laser-induced breakdown spectroscopy / S. C. Jantzi, V. Motto-Ros, F. Trichard, Y. Markushin, N. Melikechi, A. De Giacomo // Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. – 2016. – V. 115. – P. 52 – 63.

И. Л. Громыко, В. О. Белькин
(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Галушко**, канд. техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРА

Одно из самых перспективных направлений, на сегодняшний день, является искусственный интеллект. Нейронная сеть один из способов реализации искусственного интеллекта. В настоящее время в задачах обработки и анализа данных широко применяются искусственные нейронные сети. В связи с этим для диагностики неисправностей силовых трансформаторов целесообразно применить нейросеть.

К основным неисправностям силовых трансформаторов можно отнести:

- Межвитковые замыкания;
- Местное замыкание пластин стали (пожар в стали).

Для обнаружения этих неисправностей были разработаны две нейронные сети: многослойный перцептрон, обучаемый на основе обратного распространения ошибки, и сверточная нейронная сеть, предназначенная для эффективного решения задач распознавания образов, разработанная по специальной архитектуре.

Обе нейронных сети принимают на вход изображение в виде графика (рисунок 1) и выдают соответствующий результат о неисправности электрической машины.

Разработка программного обеспечения многослойного перцептрона велась в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio на платформе .NET Framework на языке C#.

В программе реализована структурная схема нейросети, метод обратного распространения ошибки, нормализация и масштабирование данных, а также способность принимать на вход данные в виде изоб-

ражений. Программа сделана универсальной с целью минимизации контакта человека с программным обеспечением. Нейронная сеть составлена таким образом, чтобы предоставить пользователю выбор составления структурной схемы (т.е. пользователь сам выбирает количество скрытых слоев), загружает данные и задает количество эпох для обучения. Количество нейронов на каждом слое программа выбирает сама, в зависимости от структурной схемы, которую задаст пользователь.

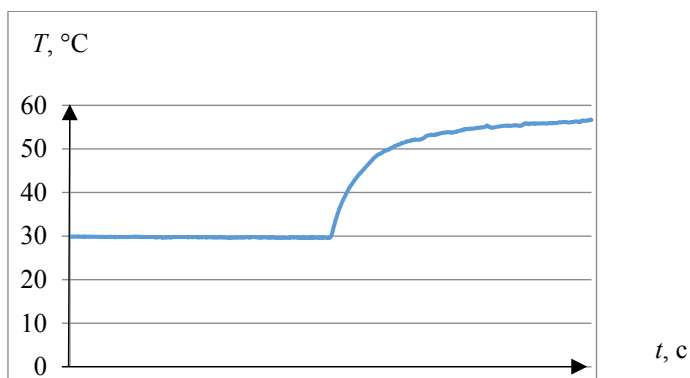


Рисунок 1 – Пример входных изображений

Главным достоинством данной нейронной сети является то, что она быстро обрабатывает входные данные (рисунок 2) и то, что она универсальна.

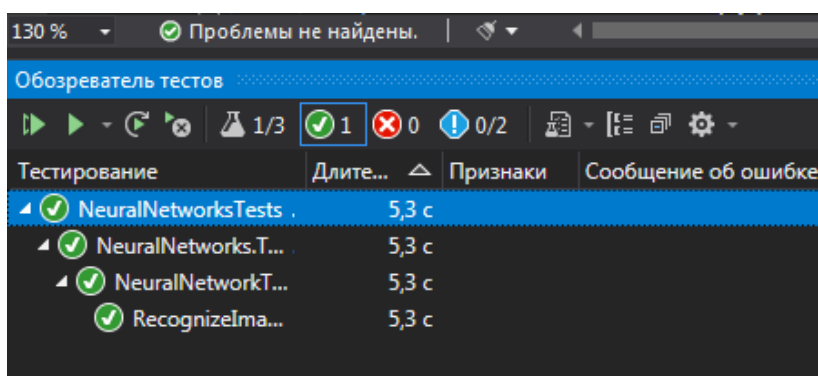


Рисунок 2 – Результат обработки входных данных

К недостаткам можно отнести сложность реализации и очень громоздкий код. Однако главный ее недостаток состоит в том, что процесс обучение длится относительно долго (парой даже часы). Это очень неэффективно.

Для того, чтобы решить эту проблему была реализована еще одна нейронная сеть в программе MATLAB. В этой среде была реализова-

на сверточная нейромодель для анализа данных, полученных приборным учетом. Для анализа данных ей требуется больше времени, однако процесс обучения длится значительно быстрее и количество эпох на несколько порядков меньше, чем в перцептрон.

Training on single CPU.

Initializing input data normalization.

Epoch	Iteration	Time Elapsed (hh:mm:ss)	Mini-batch Accuracy	Mini-batch Loss	Base Learning Rate
1	1	00:00:00	38.28%	1.0837	0.0100
9	50	00:00:19	100.00%	0.0054	0.0100
17	100	00:00:38	100.00%	0.0027	0.0100
25	150	00:00:58	100.00%	0.0009	0.0100
30	180	00:01:09	100.00%	0.0008	0.0100

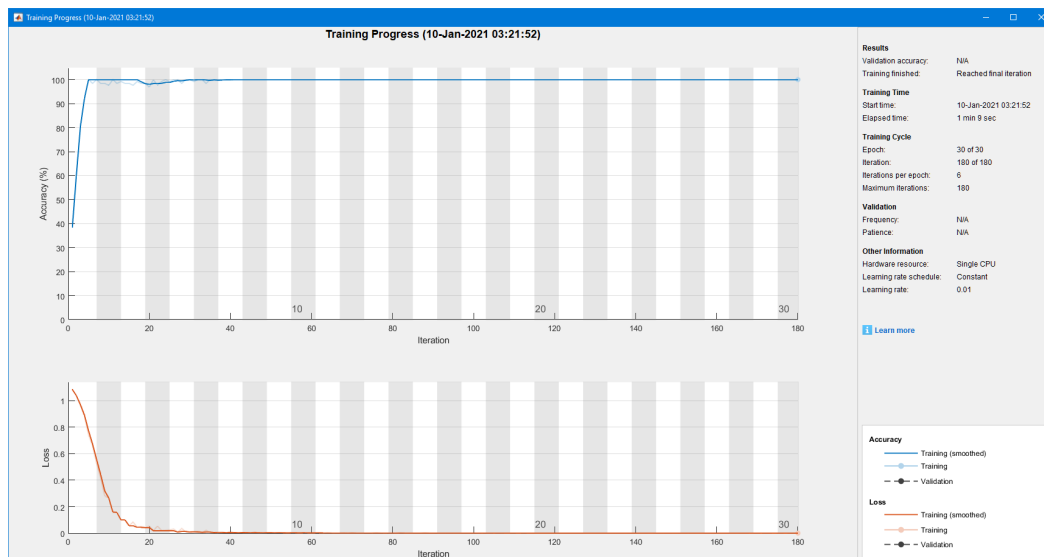


Рисунок 3 – Результаты применения сверточных нейронных сетей

Применение нейромоделирования в диагностике систем обеспечения энергоснабжения, позволит контролировать состояние трансформаторов в режиме реального времени не выводя трансформатор из работы, что предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электроснабжения сопровождающимся, как правило значительными экономическими и экологическими издержками или реальным ущербом для потребителей. При этом затраты на внедрение данной технологии нейромоделирования относительно невелики (например, применение одноплатных компьютеров), а эффективность от применения будет существенной

Б. Г. Джумаев

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Н. Н. Федосенко**, канд. техн. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ПОДЛОЖКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЦИРКОНИЯ И КРЕМНИЯ

Оптические покрытия на основе тугоплавких оксидов, такие как TiO_2 , SiO_2 , ZrO_2 , HfO_2 [1], успешно используются в областях оптики, лазерной и электронной техники при производстве интерференционных покрытий, оптических фильтров и поляризаторов [2]. Наиболее эффективным методом нанесения оптических покрытий на основе тугоплавких оксидов является вакуумный электронно-лучевой синтез за счет таких преимуществ, как проведение процесса осаждения в высоком вакууме и отсутствии плазмы реактивных химически активных газов. В настоящее время повышенный интерес представляют оптические покрытия на полимерных подложках благодаря чему возможно достигнуть уменьшения размеров, веса и стоимости оптических устройств, по сравнению с подложками на основе стекла и кварца. Таким образом, исследование влияния является актуальной задачей.

Целью данной работы являлось исследование влияния природы подложки на оптические свойства многослойных покрытий на основе оксидов тугоплавких металлов, таких как SiO_2 и ZrO_2 .

На основании данных о структуре и оптических параметрах однослойных покрытий на основе оксида циркония и кремния была разработана конструкция и методом электронно-лучевого испарения сформировано 14-слойное покрытие для рабочей длины волны 532 нм на подложках различной природы. Формирование чередующихся слоев SiO_2 (толщина $d = 95,6$ нм, показатель преломления $n = 1,49$) и ZrO_2 ($d = 71,3$ нм, $n = 2,0$) производилось с использованием установки вакуумного напыления ВУ-1А, оборудованной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-1 и системой контроля оптических характеристик модели Iris 0211 (ООО «ЭссентОптикс», Республика Беларусь) на длине волны контроля 569 нм. В качестве подложек были использованы стекло К8, кварцевая пластина, полиметилметакрилат (ПММА), полиэтилентерафталат (ПЭТ) и кремниевая пластина.

Исследование спектров пропускания и отражения многослойных покрытий проводилось с использованием спектрофотометра Photon

RT (Essent Optics, Беларусь) в режиме PS-поляризации и угле падения излучения 75° , как установлено в работе [3], покрытия на основе оксидов кремния и циркония обладают максимальной поляризующей способностью при угле падения излучения 75° .

На рисунке 1 изображены полученные спектры отражения и пропускания многослойного покрытия $[\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2]_7$, осажденного на различные подложки, при угле падения излучения 75° .

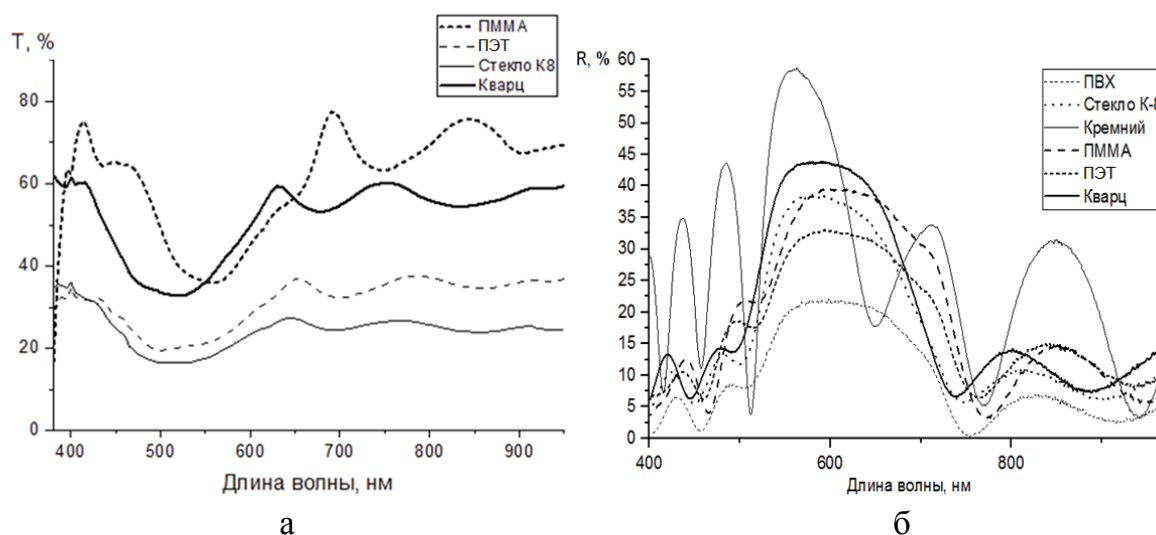


Рисунок 1 – Спектры: а – пропускания и б – отражения многослойного покрытия $[\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2]_7$, осажденного на различные подложки, при угле падения света 75°

На основе данных спектральных зависимостей пропускания покрытия $[\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2]_7$ (рисунок 1а), полученных в поляризованном свете с различным типом поляризации, установлено, что максимальной пропускающей способностью поляризованного излучения при угле падения в 75° обладают покрытия на подложках из ПММА и кварца, при этом средние значения коэффициента пропускания в данном диапазоне составляют 60 % и 65 %, соответственно. При этом в спектрах наблюдаются интерференционные минимумы пропускания на длине волны 550 нм для покрытия на подложке из ПММА, при котором значения коэффициента пропускаются снижаются до 39 %, для покрытия, осажденного на кварцевой подложке минимум пропускания, достигает 35 % и смещается на в область 500 нм. Согласно полученным спектрам, максимальный коэффициент пропускания достигается для покрытия, осажденного на подложку ПММА, и составляет 78 % на длине волны 700 нм. Покрытия, осажденные на подложки из стекла К8 и ПЭТ, характеризуются более равномерным распределением значений коэффициента пропускания, лежащем в диапазоне от 20 % до

35 %, при этом минимум пропускания фиксируется на длине волны 500 нм.

Как видно из рисунка 1 (а), при угле падения 75° излучения к поверхности многослойного покрытия, сформированного на прозрачных подложках, происходит снижение коэффициента отражения и его распределение находится в диапазоне от 0 % до 14 %. Установлена зависимость спектра отражения от природы подложки, особенно проявляющаяся в диапазоне длин волн 400–500 нм и 750–950 нм. На наш взгляд увеличение отражения, полимерных подложек обусловлено различным значением их поверхностной шероховатости.

Таким образом тип подложки оказывает значительное влияние на пропускающую способность оптической системы.

Литература

1. Comparative properties of ternary oxides of ZrO_2 - TiO_2 - Y_2O_3 obtained by laser ablation, magnetron sputtering and sol-gel techniques / B. Mitu [et al.] // *Thin Solid Films*. – 2007. – Vol. 515. – P. 6484–6488.

2. Ouseph, P. J. Polarization of light by reflection and the Brewster angle / P. J. Ouseph, K. Driver, J. Conklin // *American Journal of Physics*. – 2009. – Vol. 9. – P. 707–712.

3. Оптические свойства и морфология тонкоплёночного поляризатора для двух рабочих длин волн на основе тугоплавких оксидов / Н. Н. Федосенко, Д. Л. Горбачёв, Е. А. Кулеш // *Оптика неоднородных структур – 2019: материалы Международной конференции, 28–29 мая 2019 г., МГУ имени А.А. Кулешова*. – Могилев, 2019. – С. 91–97.

Дун Лэй

(БГУ, Минск)

Науч. рук. А. Л. Толстик, д-р физ.-мат. наук, профессор

ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА СИЛИКАТА ВИСМУТА

Постоянный интерес, проявляемый в последние десятилетия к методам голографической интерферометрии, связан с широкими возможностями метода для диагностики микросмещений различных объектов, контроля качества оптических элементов, плоскостности поверхности и др. Традиционные методы основаны на использовании

интерференции двух световых пучков, отраженных от разных граней объекта или отраженных от исследуемого объекта в разные моменты времени. Однако, используемые среды для регистрации интерферограмм, как правило, требуют постэкспозиционной химической обработки голографических пластинок, что существенно усложняет процесс регистрации и не позволяет оперативно отслеживать изменение объекта в реальном времени [1].

Целью настоящей работы является исследование возможностей использования фоторефрактивных кристаллов семейства силленитов для регистрации интерферограмм при импульсной голографической записи.

Особенностью фоторефрактивных кристаллов семейства силленитов (силикат и титанат висмута) является их высокая чувствительность в видимой области спектра для реализации фотоиндуцированных процессов и записи голограмм, причем была показана возможность использования как непрерывного, так и импульсного лазерного излучения. Анализ кинетики формирования и релаксации динамических голограмм показал, что в зависимости от условий лазерного возбуждения время жизни записываемых решеток может меняться от сотен микросекунд до единиц секунд [2].

Проведенные нами эксперименты с используемыми в работе кристаллами силиката висмута показали, что при интенсивности лазерного излучения в области 1 МВт/см^2 (длина волны 532 нм, длительность импульса 20 нс) время жизни записываемой решетки составляет $\sim 1 \text{ с}$. Сказанное иллюстрируется на рисунке 1, на котором представлена осциллограмма дифрагированного сигнала при использовании для считывания голограммы излучения гелий-неонового лазера на длине волны 632,8 нм.

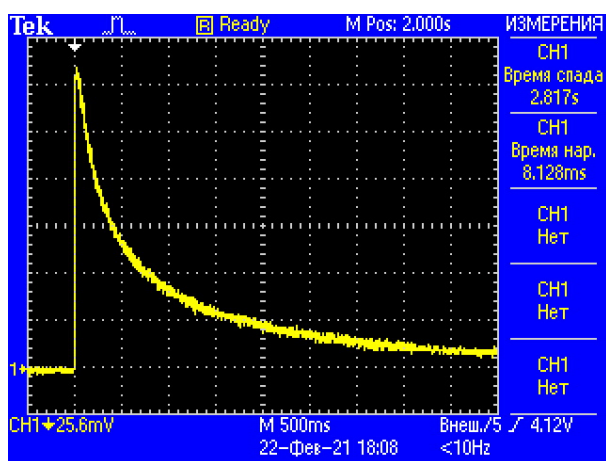
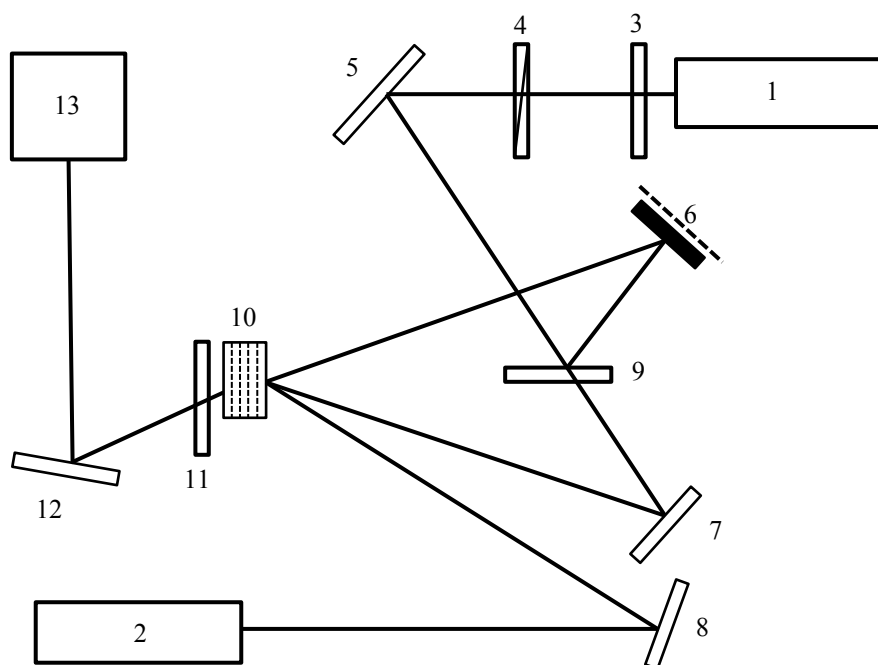


Рисунок 1 – Осциллограмма дифрагированного сигнала

Для реализации метода голографической интерферометрии была собрана установка, схема которой представлена на рисунке 2.



1 – лазер на иттрий-алюминиевом гранате; 2 – гелий-неоновый лазер; 3, 11 – светофильтры; 4 – полуволновая пластинка; 5, 7, 8, 12 – зеркала; 6 – исследуемый объект; 9 – полупрозрачное зеркало; 10 – фоторефрактивный кристалл; 13 – ПЗС-камера

Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки для реализации метода голографической интерферометрии

В качестве исследуемого объекта использовалось зеркало 6, смещением которого можно было управлять с использованием двух динамиков при подаче на них смещенных по фазе электрических прямоугольных импульсов. При этом во времени периодически изменялось направление распространения сигнального пучка. Частота следования импульсов была выбрана 15 Гц, что позволяло записывать в фоторефрактивном кристалле две решетки с временами жизни порядка 1 секунды. Как видно на рисунке 3 в зависимости от величины смещения объекта фиксируется несколько интерференционных максимумов, количество которых зависит от амплитуды колебаний.

Таким образом, были определены условия записи динамических решеток в кристаллах силиката висмута с временем жизни порядка секунды и показана возможность их использования в схеме гологра-

фической интерферометрии с возможностью диагностики микросмещений в реальном времени.

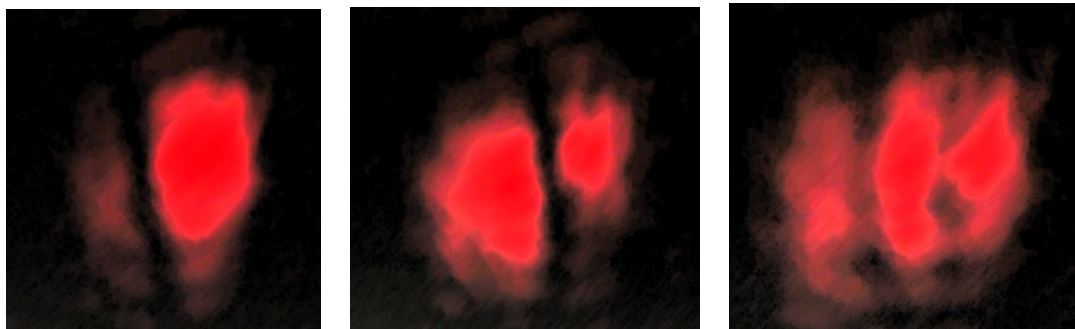


Рисунок 3 – Зарегистрированные интерферограммы при различных смещениях объекта

Литература

1. Островская, Г. В. Голографическая интерферометрия физических процессов / Г. В. Островская // Журнал технической физики. – 2016. – Т.86, вып.6. – С. 1-16.
2. Даденков, И. Г. Фотоиндуцированное поглощение и импульсная запись динамических голограмм в кристаллах силиката висмута / И. Г. Даденков, А. Л. Толстик, Ю. И. Миксюк, К. А. Саечников // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т.128, вып.9. – С. 1290-1295.

О. К. Ермак, О. Д. Заболотный, С. С. Нестер
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЛАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

К механическим примесям относят все твердые вещества органического и неорганического происхождения, находящиеся в моторном масле в виде осадка или во взвешенном состоянии, которые задерживаются фильтром при фильтровании самого нефтепродукта или его бензинового раствора. В свежих маслах механические примеси, как правило, должны отсутствовать, но некоторые стандарты допускают

содержание в смазочном масле до 0,007–0,01 % механических примесей. В процессе хранения и работы масел они засоряются твердыми примесями, попадающими извне, а также продуктами химического превращения самих масел, работающих при высокой температуре, и продуктами износа деталей. Механические примеси, находясь в масле, вызывают повышенный износ и нагрев поверхностей трения. Они способствуют образованию шлама, который может отлагаться в маслопроводах и нарушать тем самым подвод масла к узлам трения [1, 2].

В ходе выполнения настоящей работы проведены исследования по определению содержания механических примесей в полусинтетических моторных маслах Shell Helix HX7, Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special марки SAE 10W40 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства с бензиновым двигателем. Методика проведения исследований изложена в работе [3]. Содержание механических примесей в исследуемых марках моторных масел определяли с использованием сертифицированного оборудования по ГОСТ 6370–83 «Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей» [4]. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

Количественная картина изменения содержания механических примесей, представленная на рисунке 1, показывает, что при пробеге автомобиля до 10 тыс. км в исследуемых образцах моторных масел значения содержания механических примесей не превышает допустимого значения, указанного в работах [1, 2]. Максимальное значение содержания механических примесей в моторном масле при эксплуатации не должно превышать 0,03 % [1, 2].

Показано (рисунок 1), что содержание механических примесей в исследуемых образцах полусинтетических моторных масел марок Castrol Magnatec, Shell Helix HX7 и Eni Agip Gas Special при увеличении пробега транспортного средства возрастает у всех моторных масел.

Установлено, что при использовании моторного масла марки Shell Helix HX7 содержание механических примесей при пробеге транспортным средством 15 тыс. км увеличивается с 0,009 % до 0,034 %.

При использовании моторного масла Castrol Magnatec контролируемый показатель увеличивается с 0,004 % после 5 тыс. км пробега до 0,016 % после 15 тыс. км пробега. При работе бензинового ДВС с использованием моторного масла марки Eni Agip Gas Special исследуе-

мый показатель изменяется от 0,01 % до 0,042 % при аналогичной величине пробега транспортного средства (15 тыс. км).

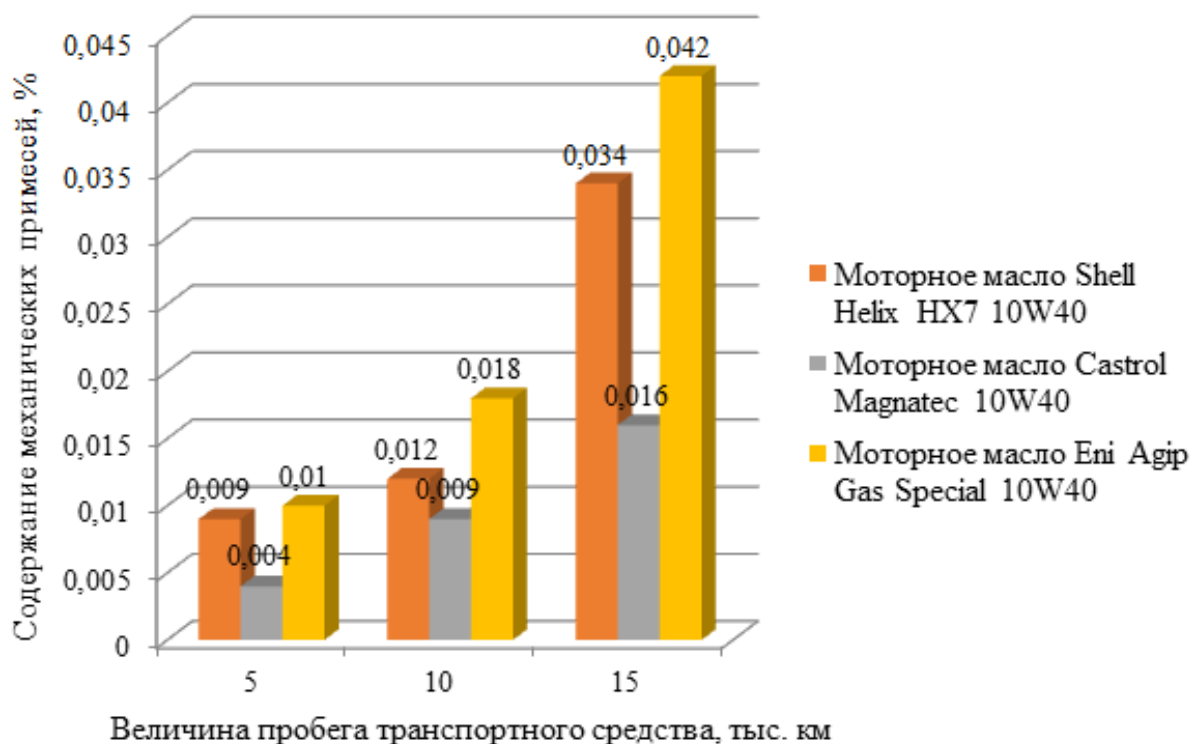


Рисунок 1 – Результаты исследований по определению содержания механических примесей в исследуемых образцах моторных масел в зависимости от величины пробега транспортного средства

Можно видеть (рисунок 1), что наилучший результат получен при использовании полусинтетического моторного масла марки Castrol Magnatec. При пробеге транспортным средством 15 тыс. км содержание механических примесей увеличилось на 0,016 %, что, несомненно, свидетельствует о высоком качестве данного моторного масла.

Наибольший рост числа механических примесей в моторном масле наблюдается при использовании моторного масла марки Eni Agip Gas Special (0,042 %), что в 2,6 раза выше, чем при использовании моторного масла марки Castrol Magnatec. Промежуточный результат получен при исследовании моторного масла марки Shell Helix HX7, однако, окончательное содержание механических примесей после 15 тыс. км пробега в 2,1 раза выше, чем в моторном масле марки Castrol Magnatec.

Установлено, что превышение нормативного значения содержания механических примесей наблюдается при использовании исследуе-

мых моторных масел марок Shell Helix HX7 и Eni Agip Gas Special при пробеге транспортным средством более 10 тыс. км. При величине пробега 15 тыс. км содержание механических примесей в данных моторных маслах превышает допустимое значение на 0,04 % и 0,012 % соответственно.

Литература

1. Карташевич, А. Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. – М.: Инфра-М, 2015. – 420 с.

2. Хитрюк, В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / В. А. Хитрюк, А. К. Трубилов. – Минск: Республиканский институт профессионального образования, 2013. – С. 91-119.

3. Заболотный, О. Д. Исследование плотности полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях внутреннего сгорания легковых транспортных средств / О. Д. Заболотный // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 97–99.

4. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей: ГОСТ 6370–83. – Переизд. декабрь 2012 с Изм. 1 (ИУС. 1988. № 11). – Взамен ГОСТ 6370–59; введ. Респ. Беларусь 17.12.92. – Минск: Госстандарт, 2012. – 5 с.

О. К. Ермак, О. Д. Заболотный
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Под плотностью моторного масла понимают его густоту и вязкость. Плотность моторного масла определяется при температуре окружающей среды равной 20 °С, после чего пересчитывается на значение при 15 °С. Данный показатель моторного масла показывает от-

ношение общей массы продукта к его номинальному объему и напрямую зависит от вязкости моторного масла и коэффициента сжимаемости. В случае, когда испарение масла будет высоким, плотность моторного масла возрастает и наоборот. Чем выше плотность, тем хуже моторное масло проходит по всем каналам и зазорам в двигателе внутреннего сгорания, вследствие чего затрудняется вращение коленчатого вала. Это приводит к его повышенному износу, появления отложений, образованию нагара и повышенному расходу топлива [1, 2].

В ходе выполнения настоящей работы произведены исследования изменения плотности полусинтетических моторных масел Shell Helix HX7, Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special марки SAE 10W40 измеренной при температуре 15 °С в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства с бензиновым двигателем. Методика проведения исследований изложена в работе [3]. Плотность моторных масел определяли с использованием сертифицированного оборудования по ГОСТ 3900–85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности» [4]. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

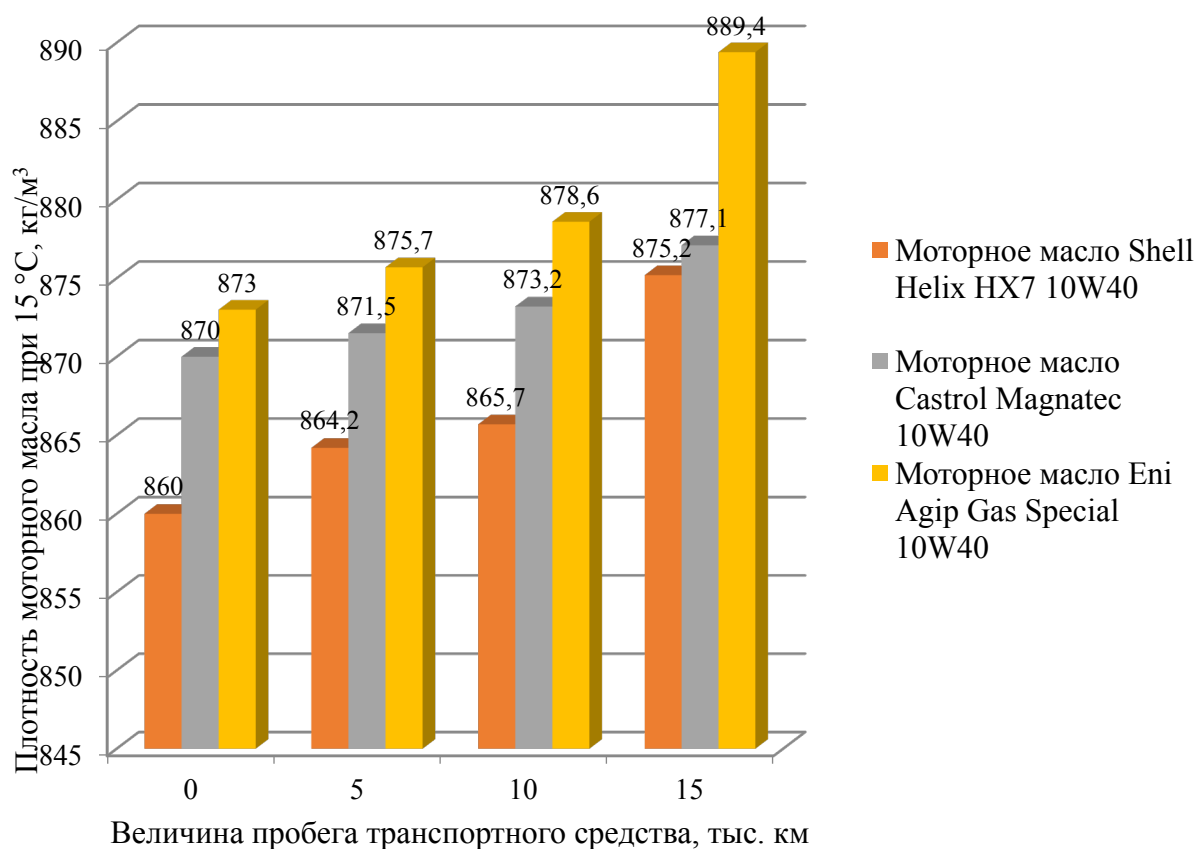


Рисунок 1 – Результаты исследования изменения плотности исследуемых моторных масел при увеличении величины пробега транспортного средства

Экспериментально установлено, что плотность всех исследуемых моторных масел при увеличении величины пробега возрастает. При использовании моторного масла марки Shell Helix HX7 плотность изменяется от значения $860,0 \text{ кг/м}^3$ до $875,2 \text{ кг/м}^3$ при пробеге транспортным средством 15 тыс. км. В случае исследования моторных масел марок Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special плотность изменяется в диапазоне значений от $870,0 \text{ кг/м}^3$ до $877,1 \text{ кг/м}^3$ и от $873,0 \text{ кг/м}^3$ до $886,4 \text{ кг/м}^3$ соответственно, при идентичном значении величины пробега.

Таким образом результаты исследований показывают (рисунок 1), что значение плотности, измеренной при $15 \text{ }^\circ\text{C}$, повышается при использовании моторного масла Shell Helix HX7 на $15,2 \text{ м}^3$; Castrol Magnatec на $7,1 \text{ кг/м}^3$ и Eni Agip Gas Special на $13,4 \text{ кг/м}^3$.

По результатам исследования можно утверждать, что лучшими эксплуатационными свойствами, оцениваемыми по значению плотности моторного масла, обладает полусинтетическое моторное масло марки Castrol Magnatec в сравнении с моторными маслами марок Shell Helix HX7 и Eni Agip Gas Special, ввиду менее интенсивного изменения вышеназванного показателя. Полученный результат, по-видимому, связан с тем, что в составе данного полусинтетического масла в качестве добавки используют большее число синтетических добавок (до 40 % от основы). Полученные худшие результаты при использовании моторных масел марок Shell Helix HX7 и Eni Agip Gas Special, по-видимому, связаны с метеорологическими условиями проведения исследований. Исследование данных масел по указанному показателю проводилось в осенне-зимний период эксплуатации транспортных средств. При этом в исследовании участвовало по одному транспортному средству. Известно [5], что при достаточно интенсивном охлаждении двигателя (зимний период) возможно в результате конденсации влаги при резком понижении температуры, в частности, при охлаждении двигателя автомобиля, после завершения работы. Как результат, данные условия эксплуатации могли оказать негативное влияние на увеличение количества воды в исследуемых образцах масла и как следствие привести к повышению плотности моторного масла.

Помимо сказанного к повышению плотности моторного масла также могут привести отложения, нагары и осадки, образующие в ДВС в процессе эксплуатации транспортного средства. Отложения образуются в ДВС в результате превращения углеводородов (основа моторных масел). Нагары представляют собой твердые углеродистые

вещества, откладывающиеся на стенках камеры сгорания, клапанах, свечах, днище поршня и на верхнем пояске боковой поверхности поршня.

Литература

1. Карташевич, А. Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. – М.: Инфра-М, 2015. – 420 с.

2. Хитрюк, В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / В. А. Хитрюк, А. К. Трубилов. – Минск: Республиканский институт профессионального образования, 2013. – С. 91-119.

3. Заболотный, О. Д. Исследование плотности полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях внутреннего сгорания легковых транспортных средств / О. Д. Заболотный // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 97-99.

4. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности: ГОСТ 3900–85. – Переизд. май 2012 с Изм. 1, Попр. (ИУС. 1991. № 4; ИУС РБ. 1999. № 2; ИУ ТНПА. 2010. № 6). – Взамен ГОСТ 3900–47; введ. Респ. Беларусь 17.12.92. – Минск: Госстандарт, 2012. – 36 с.

5. Сырбаков, А. П. Топливо и смазочные материалы: учебн. пособие / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова; Томский политехн. ун-т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 159 с.

А. Е. Ермакова

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **А. Т. Бельский**, канд. техн. наук, доцент

ПЛОТНОСТЬ ЗАЩИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Для нанесения покрытия на длинномерное изделие в настоящее время применяют различные методы, в том числе и методы обработки металлов давлением.

Учитывая, что наиболее высокопроизводительным процессом обработки металлов давлением является волочение, была разработана

технология нанесения покрытия из металлического порошка на длинномерное изделие в процессе его волочения.

Захват и увлечение металлического порошка материала покрытия в зону деформации осуществляется за счет сил трения между движущейся проволокой и металлическим порошком. Пластическая деформация частиц порошка при этом происходит на протяжении всей зоны уплотнения и деформации. В начальный момент увеличение плотности формируемого покрытия осуществляется в основном за счет межчастичного сдвига, а затем за счет деформации частиц.

Данная работа посвящена исследованию плотности покрытия из металлического порошка, полученного в процессе волочения проволоки. Для оценки плотности покрытия применяли косвенный метод, который заключается в определении удельного сопротивления материала покрытия, так как электрическое сопротивление покрытия зависит от материала контактирующих частиц, площади контакта и связи между частицами.

Величину электрического сопротивления образца производили на универсальном измерительном приборе УПИП-60М с пределом измерения от 10^{-5} до 10^5 Ом по известной схеме четырехточечного контакта. Значение удельного электрического сопротивления покрытия на проволоке определяли по зависимости:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{R\rho_{\text{с}} \left[\frac{d_0^2}{(d_0 - 2h)^2} - 1 \right]}{\rho_{\text{с}} \frac{4l_0}{\pi(d_0 - 2h)^2} - R},$$

где R – электрическое сопротивление образца;

$\rho_{\text{с}}$ – удельное сопротивление материала проволоки;

h – толщина покрытия;

l_0 – длина образца.

Толщину покрытия определяли на поперечных микрошлифах с помощью металлографического микроскопа ММУ-3.

Плотность покрытия косвенно оценивали в виде отношения удельного электрического сопротивления покрытия $\rho_{\text{п}}$ к удельному электрическому сопротивлению компактного материала ρ .

Влияние степени обжатия в рабочем конусе волоки на плотность покрытия из оловянного порошка марки ПО2 на медной проволоке

марки М1 определяли на образцах, полученных при волочении проволоки с исходным диаметром $d = 3,0$ мм со скоростью $V = 0,134$ м/с.

В результате обработки экспериментальных данных была получена зависимость, представленная на рисунке 1.

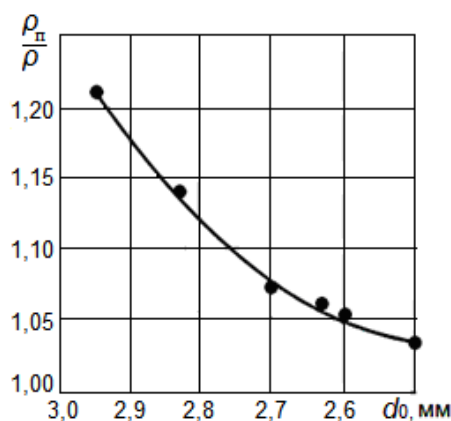


Рисунок 1 – Зависимость отношения $\rho_{\text{п}}/\rho$ от диаметра калибрующей зоны d_0

Аналогичный характер изменения зависимости отношения $\rho_{\text{п}}/\rho$ от диаметра калибрующей зоны проволоки наблюдается при нанесении покрытий с применением порошков свинца и цинка.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что с увеличением степени деформации при формировании металлических покрытий на проволоке плотность их возрастает, так как отношение $\rho_{\text{п}}/\rho$ приближается к единице.

При нанесении покрытий на длинномерные изделия применяли металлические порошки различной дисперсности, которая при проведении экспериментов изменялась в пределах от -56 мкм до +200 мкм. В результате проведенных исследований было замечено, что при применении металлических порошков с более высокой дисперсностью наблюдается существенное уменьшения плотности покрытия.

Так при применении металлического свинцового порошка дисперсностью -56 мкм отношение $\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho} = 1,05$, а при дисперсности +200 мкм это отношение составляло $\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho} = 1,55$.

Таким образом, для получения покрытий высокой плотности из металлических порошков на проволоке необходимо увеличивать степень деформации при волочении и применять металлические порошки с малой дисперсностью.

О. Д. Заболотный, Ю. Ю. Тонко
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ МАРКИ SAE 10W40

Под температурой вспышки (далее – ТВ) понимают минимальную температуру, при которой пары нагреваемого моторного масла при определенных условиях образуют смесь с воздухом, взрывающуюся при поднесении пламени (первая вспышка). Данный показатель моторного масла свидетельствует о содержании в нем легкокипящих фракций, которые вызывают появление нагара на горячих деталях двигателя. У масла с высокими эксплуатационными свойствами значение ТВ должно быть как можно выше. У современных моторных масел ТВ превышает значение 175 °С, и, как правило, находится в пределах от 190 °С до 230 °С и выше [1, 2].

В ходе выполнения настоящей работы произведены исследования изменения ТВ в открытом тигле полусинтетических моторных масел Shell Helix HX7, Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special марки SAE 10W40 при температуре 40 и 100 °С в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства с бензиновым двигателем. Методика проведения исследований изложена в работе [3].

ТВ в открытом тигле определяли по ГОСТ 4333–87 «Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле» [4]. Результаты исследований изменения ТВ в открытом тигле представлены на рисунке 1.

Показано (рисунок 1), что ТВ в открытом тигле при исследовании образцов всех моторных масел, с увеличением величины пробега транспортного средства снижается. Установлено, что исходное значение ТВ в открытом тигле для моторного масла Shell Helix HX7 составляет 246 °С, для моторного масла Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special значение данного показателя составляет 200 °С. Минимальное значение после пробега легковым транспортным средством равного 15 тыс. км для моторного масла Shell Helix HX7 составило 215 °С; для моторного масла Castrol Magnatec – 175 °С; для моторного масла марки Eni Agip Gas Special – 171 °С. Наибольшее снижение ТВ при использовании моторного масла марки Shell Helix HX7 наблюдается в интервале от 5 до 10 тыс. км и составляет 14 °С. При аналогичном

пробегах при исследовании моторного масла марки Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special – 8 °С и 9 °С соответственно (рисунок 1).

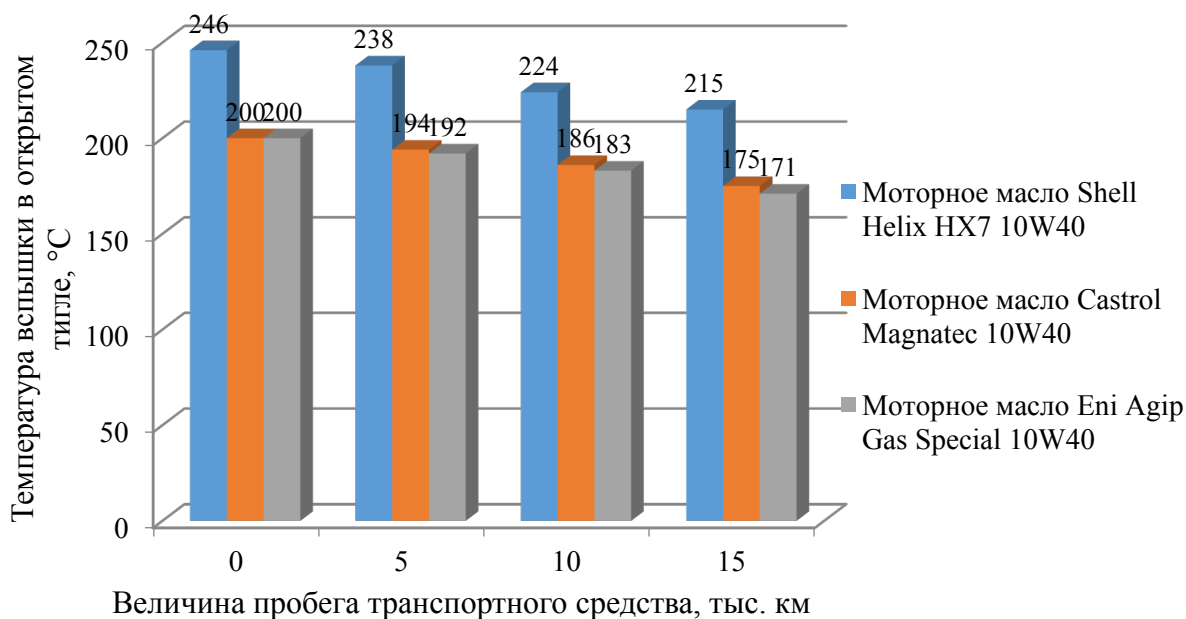


Рисунок 1 – Результаты исследований ТВ в открытом тигле моторных масел при увеличении величины пробега транспортного средства

При дальнейшем увеличении пробега транспортного средства с 10 до 15 тыс. км наблюдается менее интенсивная потеря моторным маслом ТВ в открытом тигле и составляет значение 9 °С для моторных масел марок Shell Helix HX7 и Castrol Magnatec. Однако при использовании моторного масла марки Eni Agip Gas Special значение ТВ в открытом тигле при пробеге от 10 до 15 тыс. км увеличилось и составило значение 12 °С.

Показано (рисунок 1), что через каждые последующие 5 тыс. км пробега транспортным средством, ТВ в открытом тигле для моторного масла марки Shell Helix HX7 снижается в среднем на 10,1 °С. При использовании моторного масла Castrol Magnatec данный показатель составляет значение 7,3 °С. Для моторного масла марки Eni Agip Gas Special равен 9,3 °С.

Результаты исследований, показанные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что ТВ в открытом тигле при использовании моторного масла марки Shell Helix HX7 снизилась на 12,7 %. В свою очередь данный показатель при использовании моторного масла Castrol Magnatec уменьшился 12,5 % за весь пробег. При использовании моторного масла марки Eni Agip Gas Special ТВ в открытом тигле сни-

зилась после пробега транспортным средством 15 тыс. км на 14,5 % по сравнению с исходным значением.

Литература

1. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных свойств полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях внутреннего сгорания / А. А. Пивоварчик, А. К. Гавриленя, А. И. Сергей // Вестник БарГУ. Серия: Технические науки. – 2020. – № 8. – С. 111–118.

2. Сырбаков, А. П. Топливо и смазочные материалы: учебн. пособие / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова; Томский политехн. ун-т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 159 с.

3. Заболотный, О. Д. Исследование плотности полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях внутреннего сгорания легковых транспортных средств / О. Д. Заболотный // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 97–99.

4. Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле: ГОСТ 4333–2014. – Взамен ГОСТ 4333–87; введ. Респ. Беларусь 01.05.17. – Минск: Госстандарт, 2017. – 15 с.

О. Д. Заболотный

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Кинематическая вязкость (далее – КВ) является фактически одним из наиболее важных эксплуатационных показателей качества моторных масел. Под КВ принято понимать отношение динамической вязкости к плотности моторного масла при идентичной температуре. Из-

вестно, что преждевременную замену моторных масел следует проводить в случае увеличения начального значения КВ на 25 % и снижения более чем на 20 %. Не проведенная замена моторного масла вызовет ряд негативных последствий, которые в дальнейшем приводят к значительному износу элементов и деталей двигателя и увеличению расхода топлива.

В ходе выполнения настоящей работы выполнены исследования изменения КВ ряда полусинтетических моторных масел, таких как: Shell Helix HX7, Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special марки SAE 10W-40. Согласно действующих требований, указанных в стандартах КВ определяют при температуре 40 и 100 °С. Методика по отбору проб моторного масла для исследований изложена в работе [1]. КВ определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 33–2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» [2] с использованием комбинированного стеклянного вискозиметра марки ВПЖ-4 с диаметром капилляра 1,47 мм. Нагрев и поддержание необходимой температуры исследований (40 и 100 °С) осуществляли при использовании термостатирующего прибора модели «Термостат А2». Результаты исследований по определению КВ представлены на рисунках 1 и 2.

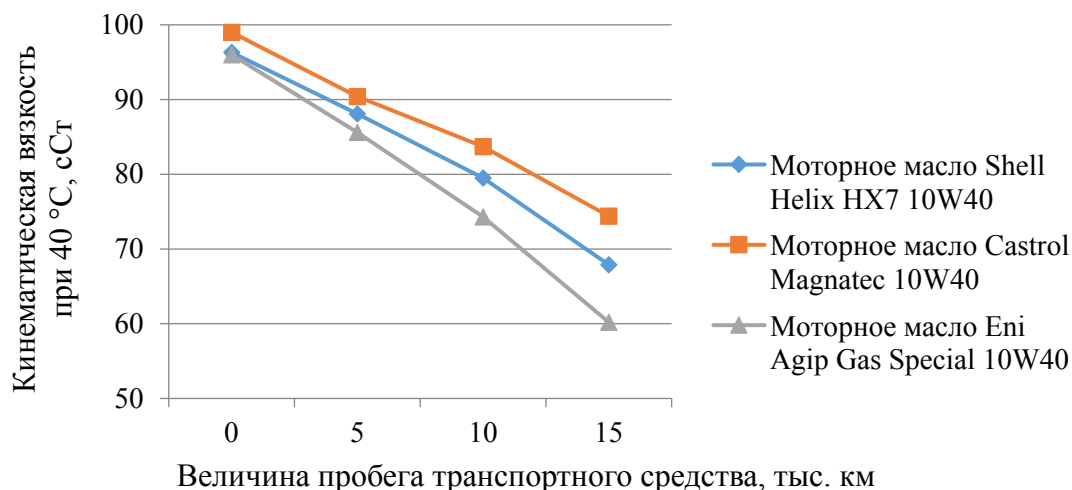


Рисунок 1 – Результаты исследования КВ моторных масел при 40 °С при увеличении величины пробега транспортного средства

Показано (рисунок 1), что суммарное снижение КВ, измеренной при 40 °С, при пробеге транспортным средством 15 тыс. км при использовании моторного масла марки Shell Helix HX7 составило 28,41 сСт; для моторных масел марок Castrol Magnatec и Eni Agip Gas

Special – 26,6 сСт и 35,2 сСт соответственно. Можно видеть (рисунок 1), что наиболее существенное уменьшение КВ при 40 °С происходит после 10 тыс. км пробега. При этом КВ при пробеге транспортным средством от 10 до 15 тыс. км при использовании моторного масла марки Shell Helix HX7 снижается с 79,5 сСт до 67,9 сСт. Для моторного масла марки Castrol Magnatec значение КВ, измеренной при 40 °С при пробеге транспортным средством значения от 10 до 15 тыс. км уменьшаются с 83,7 сСт до 74,4 сСт. При использовании моторного масла марки Eni Agip Gas Special данный эксплуатационный показатель снижается с 74,3 сСт до 60,8 сСт. Видно, что изменение КВ при использовании всех исследуемых марок моторных масел носит практически линейный характер, что характерно для моторных масел высокого качества.

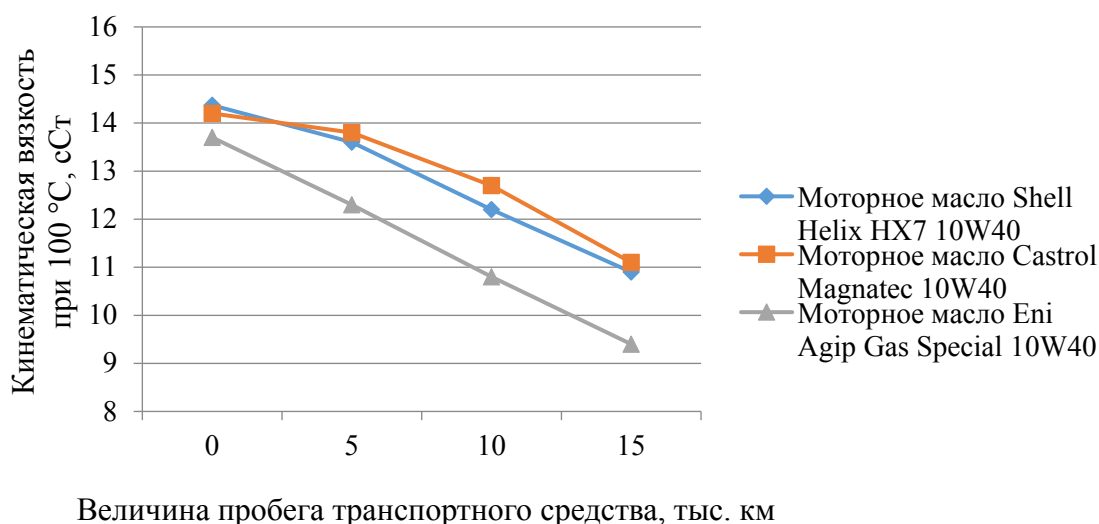


Рисунок 2 – Результаты исследования КВ моторных масел при 100 °С при увеличении величины пробега транспортного средства

Результаты исследований свидетельствуют о том, что в результате пробега транспортным средством до рекомендуемого срока замены (15 тыс. км) КВ при 40 °С для моторного масла марки Shell Helix HX7 уменьшилась на 29,5 %; для масел марок Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special – 24,9 % и 26,7 %, в сравнении с первоначальным значением исследуемого показателя.

Результаты исследования изменения КВ моторных масел, измеренной при температуре 100 °С, представленные на рисунке 2 показывают, что при пробеге 15 тыс. км, наибольшее изменение КВ отмечено при использовании полусинтетического масла марки Eni Agip Gas Special (5 сСт). Лучший результат получен при использовании

моторного масла марки Castrol Magnatec (3,2 сСт), промежуточный результат получен при использовании моторного масла марки Shell Helix HX7 (4,17 сСт).

Установлено, что при пробеге транспортным средством 15 тыс. км значение кинематической вязкости, измеренной при 100 °С, для моторного масла марки Shell Helix HX7 уменьшилось на 29,1 %; для моторных масел марок Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special на 22,6 % и 37,5 %.

Результаты исследований показали, что фактическим периодом замены исследуемых моторных масел является 10 тыс. км пробега, вследствие сохранения на данном отрезке моторными маслами требуемого значения КВ.

Литература

1. Заболотный, О. Д. Исследование плотности полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях внутреннего сгорания легковых транспортных средств / О. Д. Заболотный // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: А.С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 97–99.

2. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости: ГОСТ 33–2000. – Переизд. февраль 2012. – Взамен ГОСТ 33–82; введ. Респ. Беларусь 01.01.02. – Минск: Госстандарт, 2012. – 19 с.

Ю. В. Запорожченко, А. В. Аксючиц
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **Д. А. Котов**, канд. техн. наук, доцент

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПЛАЗМЕ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

В современном мире широко распространены многие полимеры. Не смотря на неблагоприятную экологическую ситуацию, связанную с их повсеместным использованием, полимеры крепко вошли в раз-

ные сферы жизни благодаря своим уникальным свойствам и цене. Из политетрафторэтилена (другие названия фторопласт, тефлон, нейлон) изготавливают датчики и имплантаты для хирургических, офтальмологических, стоматологических и прочих операций, он широко используется в производстве искусственных сосудов, протезов хрящей и стимуляторов сердца. Полиметилметакрилат (другие названия оргстекло, плексиглас, акрил) используется в медицине, микро- и наноэлектронике, строительстве и многих других сферах. Из полиимида производятся изоляционные материалы, детали для электроустановок благодаря электроизолирующим свойствам. Поливинилхлорид используется для производства различных изделий медицинского назначения на протяжении 50 лет. Из нитрила и латекса изготавливают перчатки, подобрать которые можно для любого применения.

Для многих процессов, в которых используются данные материалы, большое значение имеет чистота поверхности. На данный момент самым производительным и экономичным инструментом для изменения гидрофильных свойств (адгезии) является плазма атмосферного разряда. Этот метод, может быть, интегрирован в единый технологический цикл и в отличие от химических и физических в вакууме не требует токсичных реактивов, сложного и дорогостоящего оборудования для создания и поддержания вакуума. [1]

Поверхности поливинилхлорида (ПВХ) и нитрила обрабатывались в плазме атмосферного давления.

Для обработки поверхности использовался экспериментальный комплекс, созданный в БГУИР (рисунок 1).

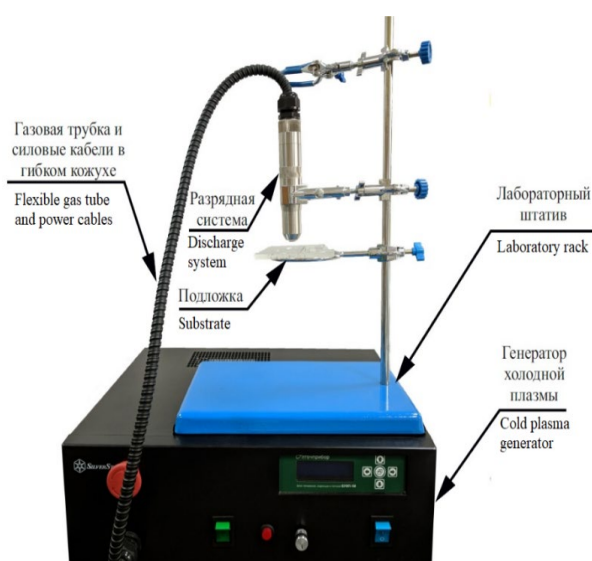


Рисунок 1 – Внешний вид экспериментального комплекса

Комплекс включает разрядную систему коаксиального типа, к которой через гибкий кабель-канал подводится плазмообразующее вещество и питающее напряжение для генерации диэлектрического барьерного разряда, лабораторный штатив с обрабатываемой подложкой для размещения поверхности обрабатываемого материала.

Для исследования изменения гидрофильных свойств ПВХ от времени обработки в плазме атмосферного разряда использовались шпатели Эйера, изготовленные из данного полимера. Образцы отмывали в изопропиловом спирте и сушили перед обработкой. На рисунке 2 показан процесс обработки поверхности ПВХ.

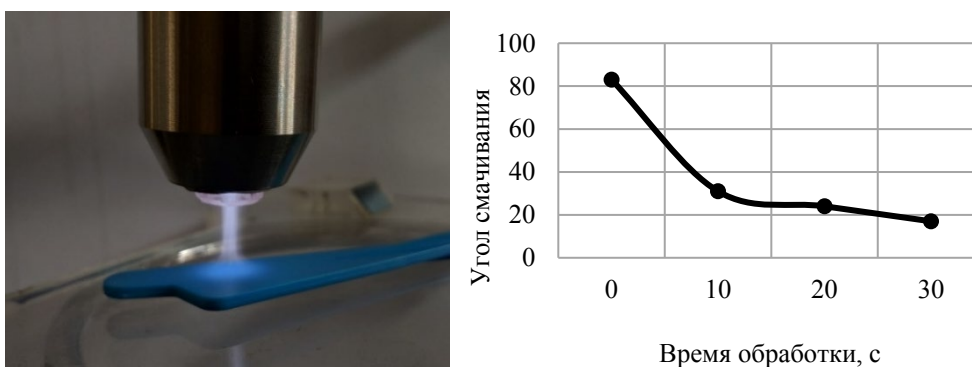


Рисунок 2 – Обработка поверхности ПВХ в плазме атмосферного разряда и зависимость угла смачивания поверхности ПВХ от времени обработки

На полученном графике видно, что за 30 секунд обработки угол смачивания уменьшился в 4 раза от 83° до 20° . Такое изменение объясняется процессами очистки и активации поверхности. Значительное понижение угла смачивания после обработки поверхности ПВХ в плазме атмосферного разряда готовит о том, что данный метод может эффективно использоваться для модификации поверхности и данного полимера.

Проводилось исследование влияния плазменного факела на смачиваемость поверхности нитрила от времени обработки (рисунок 3). В качестве исследуемых образцов использовались хирургические латексные перчатки, которые в современном мире используются для выполнения широко спектра работ. Обработка проводилась на гладкой части. Перед обработкой подготавливались небольшие образцы, которые закреплялись на прямой, твёрдой поверхности, промывались от загрязнений в изопропиловом спирте и просушивались.

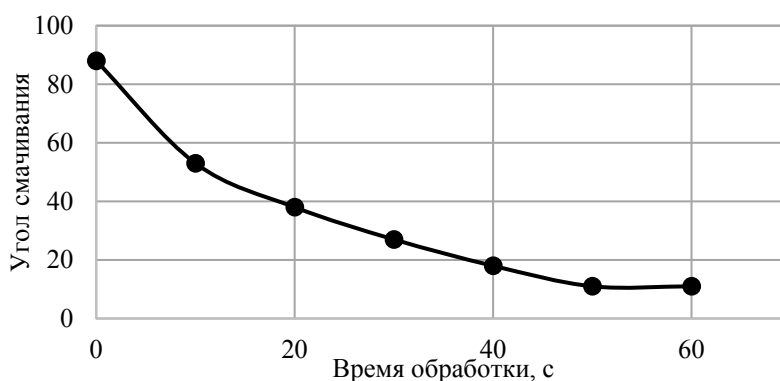


Рисунок 3 – Зависимость угла смачивания гладкой поверхности нитрила от времени обработки

Данные, полученные на основе проведенных экспериментальных исследований, позволяют сделать вывод, что плазма атмосферного разряда подходит для модификации поверхности различных полимеров. Это универсальный и эффективный инструмент для увеличения адгезии поверхности полимеров. Наиболее эффективное время обработки составляет: у ПВХ за 30 секунд угол смачивания уменьшился в 4 раза, у нитрила за 50 секунд угол смачивания уменьшился в 8 раз. Такие разные значения обусловлены строением и особенностями каждого полимера. Однако значительный эффект наблюдается после обработки всех исследуемых материалов в плазме атмосферного разряда.

Литература

1. Назаров, В. Г. Поверхностная модификация полимеров / В. Г. Назаров. – М.: МГУП, 2008. – 474с.

А. А. Зглюй
(БГУ, Минск)

Науч. рук. **М. С. Тиванов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА

Загрязнение Земли и нехватка источников энергии в наше время является одной из центральных проблем, требующих непосредственного решения. Наиболее экономичным и эффективным из них счита-

ется солнечная энергия, в частности – производство и эксплуатация фотоэлектрических систем [1]. В связи с этим возникает повышенное внимание к прямозонным полупроводникам, к которым относится и объект исследования – $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS). Солнечные элементы на их основе имеют малый вес и объем, к тому же $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ содержит только доступные, нетоксичные химические элементы, обладает высоким коэффициентом оптического поглощения [2].

Целью работы является установление зависимости структурных и морфологических свойств $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ от степени легирования Ag.

Пленки CZTS были синтезированы методом спрей-пиролиза с последующим отжигом при температуре 525°C и легированием Ag с концентрациями 5%, 10% и 15%. Метод характеризуется простой реализацией, высокой вариативностью условий нанесения слоев и отсутствием сложного технологического оборудования. Элемент легирования – Ag – был выбран исходя из анализа проведенных ранее исследований, которые показывают, что пленка, содержащая Ag, имеет меньшее количество неблагоприятных медных дефектов [3].

Анализ пленок CZTS проводился такими методами, как электронный микроанализ, рентгенофазовый анализ, сканирующая электронная и зондовая микроскопии.

Результаты электронного микроанализа и рентгенофазового анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты электронного микроанализа и структурные параметры $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Легирование, %	(hkl)	L, нм	d, Å	a, Å	c, Å	Стехиометрическое соотношение (Cu+Zn+Sn+Ag)/S
0	112	17,8	3,120	5,404	10,808	1,06
5	112	17,8	3,125	5,413	10,825	0,96
10	112	19,6	3,130	5,421	10,843	1,05
15	112	16,4	3,135	5,430	10,860	1,04

Для синтезированных пленок были рассчитаны межплоскостное расстояние (d), постоянные решетки a, c и размер области когерентного рассеяния (L). Полученные значения a, c для тетрагональной решетки согласуются с соответствующими карте параметрами [4].

Из полученных дифрактограмм (рисунок 1) были определены характерные пики, принадлежащие тетрагональной структуре. С добавлением примеси Ag появлялись новые рефлексы, однако их интенсивность с ростом степени легирования практически не изменялась.

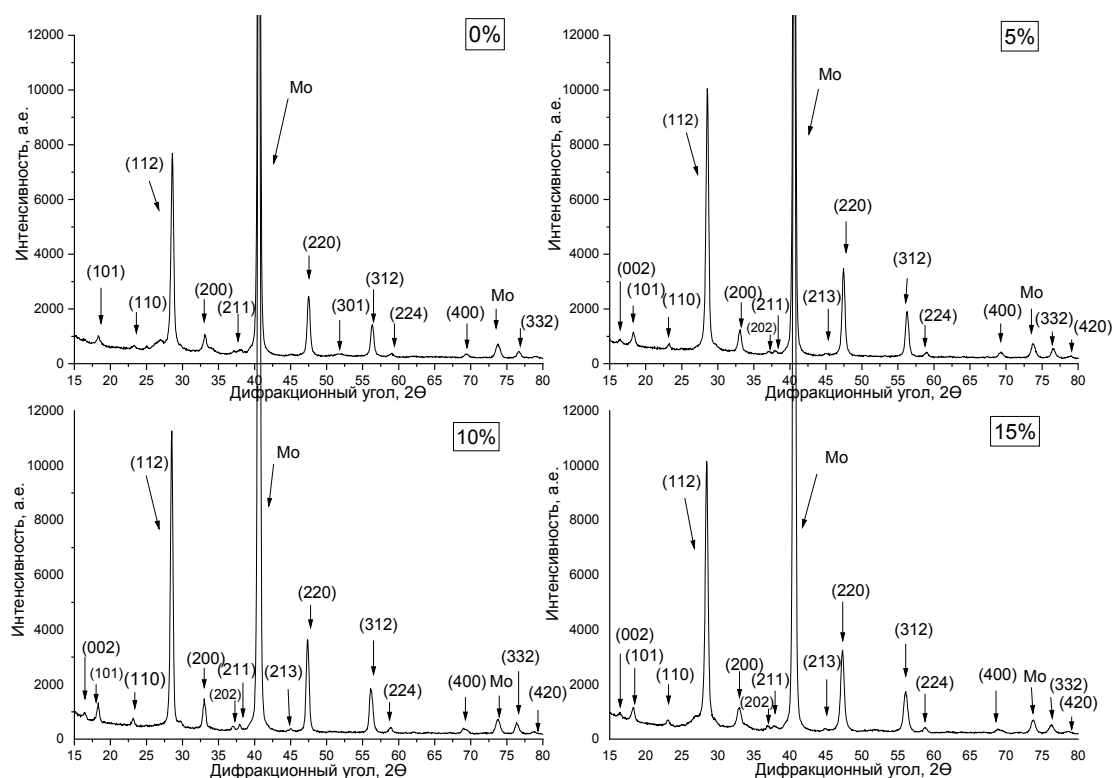


Рисунок 1 – Дифрактограмма пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Методом сканирующей зондовой микроскопии было выявлено, что в образцах не наблюдается четкой зависимости изменения шероховатости поверхности от степени легирования. Рассчитанные по этому методу топографические параметры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Топографические параметры пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Легирование, %	Средняя шероховатость R_a , нм	Среднеквадратичная шероховатость R_{rms} , нм	Средняя арифметическая высота S_y , нм	Асимметрия R_{sk}
0	228	287	1042	0,377
5	220	272	1670	0,274
10	313	378	2109	0,344
15	198	279	2686	1,856

Изображения сканирующей электронной микроскопии (рисунок 2) показали, что на пленках отсутствуют отверстия, пустоты и трещины.

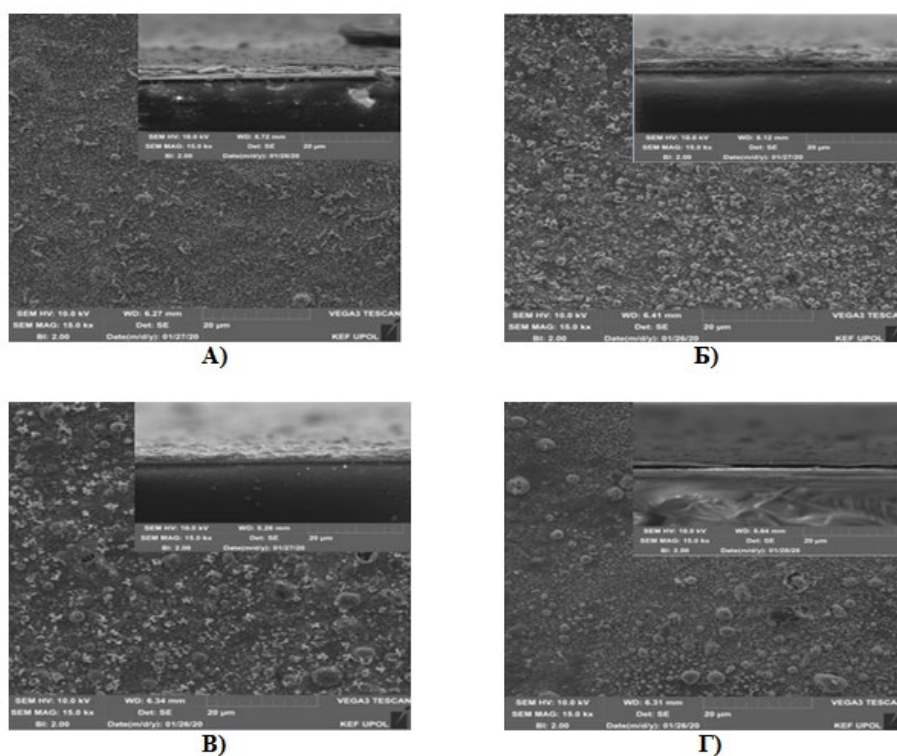


Рисунок 2 – СЭМ-снимки образцов $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ с температурой отжига 525°C и легированием Ag: А) 0%, Б) 5%, В) 10%, Г) 15%

Таким образом, установлено, что с увеличением степени легирования Ag от 0% до 15% улучшается кристалличность синтезированных пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, о чем свидетельствуют приближение соотношения компонентов соединения к стехиометрии, увеличение параметров решетки и области когерентного рассеяния, а также отсутствие изменений шероховатости поверхности.

Литература

1. Jiang, M. $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ Thin Film Solar Cells [Text]: Present Status and Future Prospects / M. Jiang, X. Yan // InTech. – 2013. – С.107-143.
2. Шелег, А. У. Определение структурных и оптических характеристик тонких пленок полупроводниковых соединений $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ [Текст] / А. У. Шелег [и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т.48. – Вып. 10. – С.1332-1338.
3. Nguyen, T. H. Structural and Solar Cell Properties of a Ag-Containing $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ Thin Film Derived from Spray Pyrolysis [Text] / T. H. Nguyen [et al.] // Applied Materials&Interfaces. – 2018. – №10(6). – С.5455-5463.
4. Карта ICSD № 01-075 – 4122.

А. С. Зырянова
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **Е. В. Телеш**, ст. преподаватель

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ГАФНИЯ

Оксид гафния (HfO_2) является высокотемпературным огнеупорным материалом с отличительными физическими и химическими свойствами, которые обеспечивают его применение для широкого спектра технологических приложений. Наибольший интерес представляют структуры на основе HfO_2 , который, по сравнению с традиционно используемым диоксидом кремния, обладает высокими значениями диэлектрической постоянной ($\epsilon_{\text{HfO}_2} = 16-25$), ширины запрещенной зоны (8,0–5,7 эВ), коэффициента преломления (1,8–2,2). Также HfO_2 является прозрачным в спектральном диапазоне от ультрафиолетового до инфракрасного излучения, что делает его перспективным оптическим материалом [1]. Обладая термической и химической устойчивостью, HfO_2 термодинамически стабилен в контакте с кремниевой поверхностью, что крайне важно для подзатворного диэлектрика. При термообработке при 770 К на воздухе происходит кристаллизация аморфных пленок HfO_2 с образованием моноклинной кристаллической решетки [2].

Формирование пленок HfO_2 осуществляли реактивным ионно-лучевым распылением металлической мишени. В качестве рабочих газов использовались аргон газообразный, чистый марки «А», ГОСТ 10157-73 и кислород ГОСТ 6331-78. В качестве материала мишени использовался металлический гафний марки ГФИ-1 ГОСТ 22517-77. Для подложек применялись кремний КДБ-10, кварц и оптическое стекло К8. Расстояние мишень-подложка составляло ~ 80 мм, остаточный вакуум составлял $2,0 \cdot 10^{-3}$ Па. Спектры оптического пропускания и поглощения пленок HfO_2 определялись при помощи спектрофотометра MC-121 PROSCAN в диапазоне 300...1000 нм. Электрофизические параметры пленок (диэлектрическая постоянная ϵ , тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$) определялись путем измерения характеристик структуры металл/ HfO_2 /кремний. Емкость и $\text{tg}\delta$ данной структуры измеряли с помощью прибора E7-20 на частоте 1 МГц.

В таблице 1 приведены режимы формирования образцов структур. Термообработку структур HfO_2 /кремний осуществляли на воздухе при температуре 653–663 К в течение 30 минут. Затем через металлическую маску наносились контакты из никеля.

Таблица 1 – Режимы формирования образцов

№ образца	U_a , кВ	I_m , мА	P_{Ag} , $\text{Ч}10^{-2}\text{Па}$	P_{O_2} , $\text{Ч}10^{-2}\text{Па}$	T , К
1	3,0	70	6,65	1,72	303
2	3,1	80	6,60	3,99	303
3	3,0	80	6,65	3,99	523

На рисунках 1 и 2 представлены спектры пропускания пленок HfO_2 до и после термообработки.

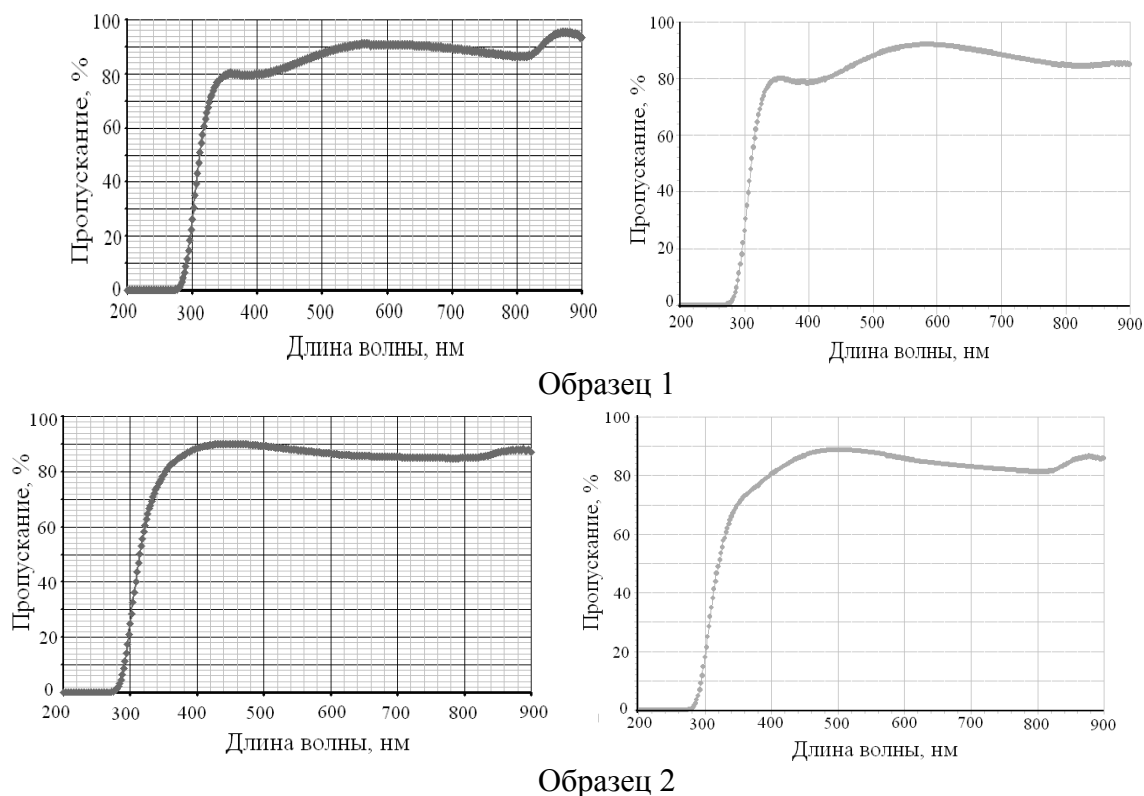
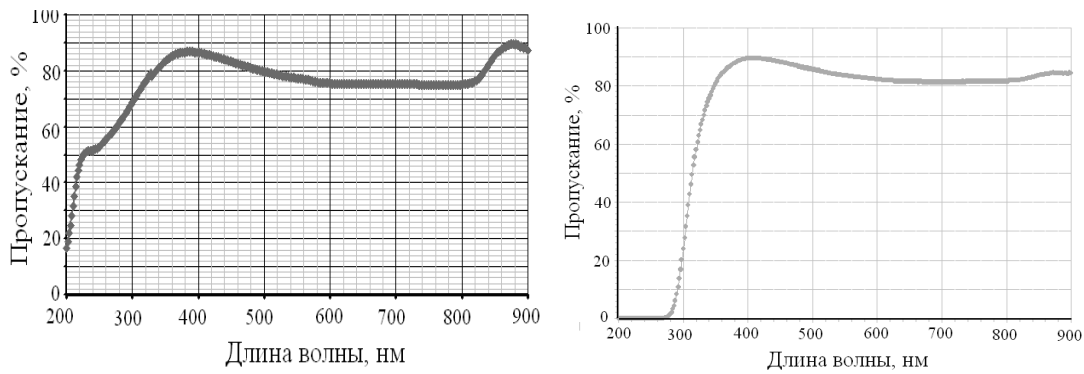


Рисунок 1 – Спектры пропускания пленок диоксида гафния до и после термической обработки (для образцов 1 и 2)

Установлено, что заметные изменения произошли только у образца 3 – существенно снизилось пропускание в УФ области спектра, но увеличилось в видимой и ИК области.



Образец 3

Рисунок 2 – Спектры пропускания пленок диоксида гафния до и после термической обработки (для образца 3)

В таблицах 2 и 3 приведены результаты измерений электрофизических и оптических характеристик структур до и после термообработки. Величины оптического пропускания T и поглощения α измерялись на длине волны 555 нм.

Таблица 2 – Характеристики пленок HfO_2 до термообработки

Показатели № обр.	ϵ	$\text{tg}\delta$	$T, \%$	$\alpha, \%$	$E_g, \text{эВ}$
1	6,1	0,50	80,3	0,046	5,6
2	7,5	0,35	93,0	0,030	5,8
3	7,6	0,26	92,0	0,095	4,4

Таблица 3 – Характеристики пленок HfO_2 после термообработки

Показатели № обр.	ϵ	$\text{tg}\delta$	$T, \%$	$\alpha, \%$	$E_g, \text{эВ}$
1	6,7	0,10	91,2	0,040	4,39
2	8,0	0,15	87,6	0,057	4,37
3	8,5	0,13	83,5	0,089	4,34

Термообработка привела к увеличению значений диэлектрической проницаемости и резкому снижению тангенса диэлектрических потерь. Оптические характеристики улучшились у образца 1. Отжиг привел к снижению пропускания у образцов 2 и 3. Установлено, что термообработка вызвала снижение ширины запрещенной зоны E_g , что может быть связано с появлением кристаллической структуры в пленке HfO_2 .

Литература

1. Khoshman, J. M. Amorphous hafnium oxide thin films for antireflection optical coatings / J. M. Khoshman, A. Khan, M. E. Kordesch // Surf. Coat. Technol. – 2008. – V. 202, № 11. – P. 2500–2502.

2. Багмут, А. Г. Фазовые превращения в пленках, осажденных лазерной абляцией Hf в атмосфере кислорода / А. Г. Багмут, И. А. Багмут, В. А. Жучков, М. О. Шевченко // Журнал технической физики, 2012.–Т. 82.–вып.6. – С. 122–126.

И. В. Капцевич, А. Ю. Валюк, А. В. Струк

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **В. А. Струк**, д-р техн. наук, профессор

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

В технологических процессах, используемых на предприятиях химической, горнодобывающей, перерабатывающей промышленности, теплоэнергетики и строительной индустрии, используют металлополимерные функциональные элементы, обеспечивающие устойчивую эксплуатацию оборудования, монтаж конструктивных составляющих для функционирования производственных, социальных и бытовых зданий и сооружений. К числу распространённых элементов подобного типа относят опознавательные и ограничительные столбики, металлополимерные ролики ленточных конвейеров и металлополимерные крепёжные элементы типа дюбель и адаптивных опор [1–3].

Использование в конструкциях роликов ленточных конвейеров функциональных элементов из полимерных и композиционных материалов позволяет не только расширить их номенклатуру с различными параметрами эксплуатационных характеристик, но и в ряде случаев достичь значимого технического эффекта вследствие снижения массы конструкции, увеличения параметров стойкости к коррозионно-механическому изнашиванию, технологичности изготовления, монтажа и обслуживания в действующих производственных циклах.

Разработана конструкция металлополимерного ролика ленточного конвейера для комплектации технологических линий по транспортированию сырьевых полуфабрикатов и продукции на предприятиях

горнодобывающей, перерабатывающей промышленности и строительной индустрии. Конструкция включает ряд функциональных элементов – обечайку, корпус подшипника, лабиринтное уплотнение, которые изготавливают из конструкционных материалов на основе регенерированных термопластов класса полиамидов или полиолефинов.

Для обеспечения необходимых параметров эксплуатационных характеристик в состав матричного полимера (полиамида 6, полипропилена), полученного рециклингом при термомеханическом воздействии вводят функциональные компоненты различного состава и термодинамической совместимости, относящиеся к классу термопластов или термоэластопластов (полиэтилен высокого давления, сополимер этилена с винилацетатом, термопластичный полиуретан). Для повышения термодинамической совместимости в смесевой композит вводят низкомолекулярный пластификатор и высокодисперсные частицы слоистых силикатов.

В процессе термомеханического воздействия на совмещаемые компоненты, находящиеся в вязко-текучем состоянии, происходит термическая деструкция дисперсных частиц силикатсодержащих минералов с образованием активных наноразмерных фракций, распределённых по объёму композита. Наноразмерные фрагменты с повышенной энергетической активностью выполняют функцию многоуровневого модификатора, способствующего образованию надмолекулярной структуры с повышенной устойчивостью к воздействию деформационных и температурных факторов. Этот аспект модифицирующего действия наноразмерных компонентов силикатсодержащих частиц способствует повышению термодинамической совместимости матричного и модифицирующего полимеров, что благоприятно сказывается на повышении комплекса параметров эксплуатационных характеристик изделий из композиционных материалов.

Важным аспектом разработанных составов композиционных материалов на основе регенерированных термопластов является возможность регулирования параметров их реологических характеристик в достаточно широком диапазоне значений, что позволяет обеспечивать необходимую технологичность их переработки в изделия конкретного конструкционного назначения высокопроизводительными методами литья под давлением или экструзии.

Композиционные материалы с лабильными параметрами реологических характеристик имеют предпочтение в сравнении с композитами, разработанными на традиционных методологических подходах, так как позволяют осуществлять модифицирование в зависимости от

вида технологического оборудования, которым располагает субъект хозяйствования.

Разработанные составы композиционных материалов на основе регенерированных термопластов позволили заменить в роликах ленточных конвейеров элементы их листового и трубного проката, который импортируется из-за рубежа. С использованием элементов из разработанных составов на основе регенерированных термопластов предложена номенклатура крепёжных элементов типа дюбель и адаптивных опор, применяемых в строительной индустрии, включающая более 20 наименований. Разработана технология и технологическая оснастка для изготовления элементов металлополимерных крепёжных элементов и их предварительной сборки на специальных стендах.

Промышленное апробирование металлополимерных функциональных элементов с применением регенерированных композитов свидетельствует о высокой эффективности их применения в качестве альтернативы отечественным и импортным аналогам.

Исследования выполнены при целевом финансировании Государственным комитетом по науке и технологиям Республики Беларусь в рамках совместного международного научно-технического проекта с Ташкентским государственным транспортным университетом Т19УЗБГ-003 «Нанокпозиционные термо-пластичные материалы для технологического оборудования и функциональных элементов транспортных коммуникаций».

Литература

1. Абдуразаков, А. А. Композиционные материалы в конструкциях ленточных конвейеров повышенного ресурса: монография / А. А. Абдуразаков, С. В. Авдейчик, А. С. Антонов; под науч. ред. В. А. Струка, В. Я. Прушака. – Ташкент: Vneshinvestprom, 2019. – 351 с.
2. Рециклинг в материаловедении и технологии полимерных композитов: монография / А. В. Струк, Х. И. Нурметов, А. В. Береснева, Ж. С. Авлиекулов; под науч. ред. А. А. Рискулова, В. А. Струка. – Ташкент: Vneshinvestprom, 2019. – 336 с.
3. Концепт «экологизации законодательства» в сфере рециклинга отходов промышленного производства / А. В. Струк, А. Г. Авдей, М. Г. Жук. – Минск: Право и экономика, 2019. – 308 с.

О. В. Кисель, Д. Р. Чарьев
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **С. Д. Лещик**, канд. техн. наук, доцент

ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ АВТОБУСНОГО ГОРОДСКОГО МАРШРУТА

Ежегодно городским наземным автотранспортом перевозится огромное количество пассажиров. Немалая доля из этого объема транспортной работы приходится на автобусные перевозки. Обеспечение безопасности пассажиров при этом является первоочередной задачей. Большинство дорожно-транспортных происшествий происходят по причине ошибок водителей, напряженность работы которых зависит и от сложности маршрута движения автобуса. Оценка сложности маршрутов, несомненно, позволит аргументированно вносить предложения по корректировке в режим труда и отдыха водителей. Целью настоящей работы явилась оценка сложности городских автобусных маршрутов на примере маршрутной автобусной сети ОАО «Автобусный парк г. Гродно».

Для оценки сложности автобусного маршрута использовали методику, предложенную и описанную в [1]. Суть методики заключается в следующем. На основании статистических данных, характеризующих как сам маршрут (число остановок, перекрестков, светофоров на линии, число поворотов, состояние дорожного покрытия и т.д.), так и условия движения на маршруте, вычисляют обобщенный параметр сложности маршрута движения городских автобусов. Учитывается влияние таких факторов как средняя скорость движения по маршруту, среднесуточный пробег, время в наряде, коэффициент использования пассажироместимости. При этом под сложностью автобусного маршрута понимается совокупное действие упомянутых выше факторов, выраженное численным значением параметра P_c , который вычисляется по следующей формуле [1]:

$$P_c = -0,314 - 0,059cV - 0,506cL + 0,713cn + + 0,764c\gamma + 0,246c\rho,$$

где P_c – обобщенный параметр сложности маршрута движения городских автобусов;

V – средняя эксплуатационная скорость, км/ч;

L – средняя длина перегона, км;

n – удельное число поворотов, шт./км;

γ – коэффициент использования пассажироместности;
 ρ – плотность транспортного потока, авт./100м.

Классификация городских автобусных маршрутов на основе обобщенного параметра сложности выполняется следующим образом [1]. Вначале рассчитывается значение обобщенного параметра сложности маршрута движения городских автобусов. Далее по численному значению обобщенного параметра сложности конкретного маршрута движения городского автобуса и данных таблицы 1 определяется его категория сложности маршрута движения.

За исходные данные для расчета сложности автобусных маршрутов принимаются результаты обследования маршрутной сети и данные паспорта маршрута (значения средней эксплуатационной скорости, количества светофоров на маршруте, пересечений с главной дорогой, количества поворотов на маршруте, коэффициента использования пассажироместности).

Таблица 1 – Категории сложности городских автобусных маршрутов и соответствующие им численные значения обобщенного параметра сложности маршрута движения городского автобуса [1]

Категория сложности городского автобусного маршрута	Интервал численных значений обобщенного параметра сложности маршрута движения городского автобуса (P_c), ед.
1	от $-1,8$ и менее
2	свыше $-1,8$ до $-0,6$
3	свыше $-0,6$ до $0,6$
4	свыше $0,6$ до $1,8$
5	свыше $1,8$

Коэффициент использования пассажироместности определяется, исходя из номинальной вместимости подвижного состава (МАЗ-103 – 85-90 пассажиров, МАЗ-105 – 85-90 пассажиров, МАЗ-107 – 130-145 пассажиров и т. д.) в «часы пик» и «межпиковые периоды».

Средняя длина перегона на маршруте определяется отношением длины маршрута к суммарному количеству остановок (технологических, на светофорах, на пересечениях с главной дорогой) [1]. Удельное число поворотов на маршруте представляет отношение количества поворотов к длине маршрута [1].

Для определения среднего значения плотности транспортного потока было проведено обследование каждого маршрута, в «пиковый» и «межпиковый» периоды дорожного движения по методике, изложенной в литературе [1].

Данные исследований и расчетов, характеризующие маршруты № 1-5 городской маршрутной сети ОАО «Автобусный парк г.Гродно» представлены в таблице 2.

Таким образом, в данной работе рассмотрена методика классификации городских автобусных маршрутов на основе обобщенного параметра сложности на основе статистической информации. Определена категория сложности маршрутов № 1, № 2, № 3 и № 5 маршрутной автобусной сети ОАО «Автобусный парк г. Гродно».

Таблица 2 – Классификация автобусных маршрутов № 1–5 городской маршрутной сети ОАО «Автобусный парк г.Гродно» по сложности

Номера маршрутов	Эксплуатационная скорость, км/ч	Средняя длина перегона, км	Удельное число поворотов, шт./км	Коэффициент использования пассажироместимости	Плотность транспортного потока, авт./100м	Обобщенный параметр сложности маршрута движения	Категория сложности маршрута движения
1	18,7	0,51	1,62	0,54	2,4	0,8	4
2	18,5	0,48	1,68	0,56	2,5	0,91	4
3	18,6	0,50	1,73	0,56	2,6	0,95	4
4	19,4	0,63	0,96	0,51	1,9	0,08	3
5	20,3	0,56	0,78	0,49	1,1	-0,28	3

Литература

1. Прохоров, В. Н. Методика и результаты распределения автобусов между филиалами ГУП «Мосгортранс» с учетом сложности маршрутов движения / В. Н. Прохоров // Вестник МАДИ(ГТУ). – 2008. – № 4 (15). – С. 63-70.

М. С. Клакевич
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **С. В. Бордусов**, д-р техн. наук, профессор

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК В ПЛАЗМЕ ВЧ И СВЧ РАЗЯДОВ

Проводилось изучение характеристик изменений спектрального излучения кислорода СВЧ и ВЧ разрядов применительно к контролю удаления фоторезистивных покрытий с поверхности пластин, путем

регистрации временного изменения интенсивности линий кислорода $\lambda=777,7$ нм и $\lambda=844,6$ нм, а также полосы СО $\lambda=519,82$ нм [1].

Сравнительные эксперименты по изучению влияния числа загружаемых пластин на интенсивность свечения линии ОI ($\lambda=844,6$ нм) в процессе удаления фоторезистивных пленок в ВЧ разряде ($f=13,56$ МГц) и в кислородном СВЧ разряде показали следующее. Период времени T , соответствующий процессу стабилизации разрядных условий и началу установления энергетического баланса в разрядной камере, с увеличением числа обрабатываемых пластин в ВЧ разряде увеличивается, а для СВЧ разряда увеличение не наблюдается. Эти зависимости можно объяснить тем, что, скорость удаления фоторезиста в кислородной плазме ВЧ и СВЧ разрядов в большей степени зависит от температурного фактора (от предварительного нагрева подложек). Увеличение периода времени T в плазме ВЧ разряда связано с ростом периода установления теплового равновесия в системе «ионизированный газ - образцы» и увеличением периода времени нагрева пластин до определенной температуры, с которой начинается интенсивный процесс удаления фоторезистивных пленок. Для СВЧ разряда видно сокращение периода времени T при увеличении числа кремниевых подложек, что может быть объяснено увеличением воздействия на пластины побочного энергетического фактора (энергия СВЧ поля поглощается пластинами) [2].

На рисунке 1 показана зависимость характера изменения отношения интенсивности свечения линии кислорода ($\lambda=844,6$ нм), взятой из эмиссионного спектра при наличии в плазме пластин с фоторезистом к интенсивности свечения этой же линии без фоторезиста (M) от числа обрабатываемых пластин для ВЧ и СВЧ кислородных разрядов.

Видно, что с увеличением числа пластин при обработке в ВЧ разряде отношения интенсивности свечения линии кислорода при наличии в плазме фоторезиста к интенсивности свечения линии без фоторезиста уменьшается, что объясняется ухудшением стабилизации разряда, возрастанием времени установления баланса за счет необходимости нагрева большого количества пластин, затруднением поддержания разряда из-за гибели плазменных частиц на поверхности пластин. Соответственно снижается и интенсивность свечения разряда во время установления баланса в газоразрядной системе. Величина интенсивности свечения линии кислорода без фоторезиста в плазме при этом практически не изменяется. В СВЧ разряде общая интенсивность свечения линии кислорода как для интенсивности свечения при наличии в плазме фоторезиста, так и для без фоторезиста снижа-

ется, и, начиная с некоторого числа пластин, становится одинаковой. Это может происходить потому, что с увеличением числа пластин начало интенсивного удаления фоторезистивных пленок затягивается, и интенсивность свечения кислорода с фоторезистом определяется уже не только процессом удаления фоторезиста, в ходе которого должен расходоваться атомарный кислород и, соответственно, снижаться интенсивность свечения полосы ОI, но и уменьшением величины СВЧ энергии, расходуемой на поддержание разряда, в результате ее частичного поглощения кремниевыми подложками [2].

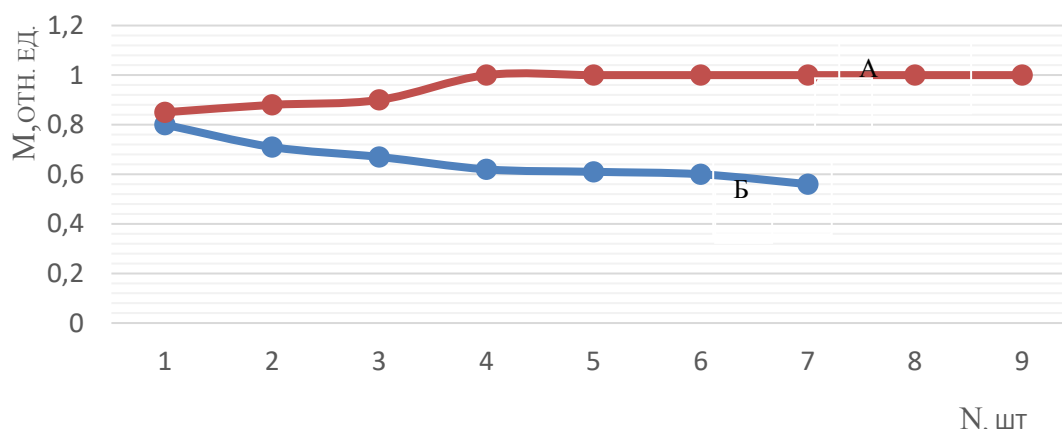


Рисунок 1 – Зависимость характера изменения отношения интенсивности свечения линии кислорода ($\lambda=844,6$ нм), взятой из эмиссионного спектра при наличии в плазме пластин с фоторезистом к интенсивности свечения этой же линии без фоторезиста в процессе удаления фоторезистивных пленок в кислородном СВЧ и ВЧ разряде в зависимости от числа кремниевых пластин (А – СВЧ разряд, Б – ВЧ разряд)

Данные по контролю удаления фоторезистивных пленок по интенсивности свечения полосы СО показали на ее уменьшение с ростом количества одновременно обрабатываемых пластин. В ВЧ разряде эта зависимость противоположна. На рисунке 2 представлены относительные интенсивности свечения полос СО для разного количества подложек.

По результатам можно сказать, что при обработке в объеме кислородной плазмы СВЧ разряда небольших партий пластин контроль за удалением фоторезистивных пленок лучше проводить по изменению интенсивности полос СО, а в случае обработки большого количества пластин – по линиям ОI [2].

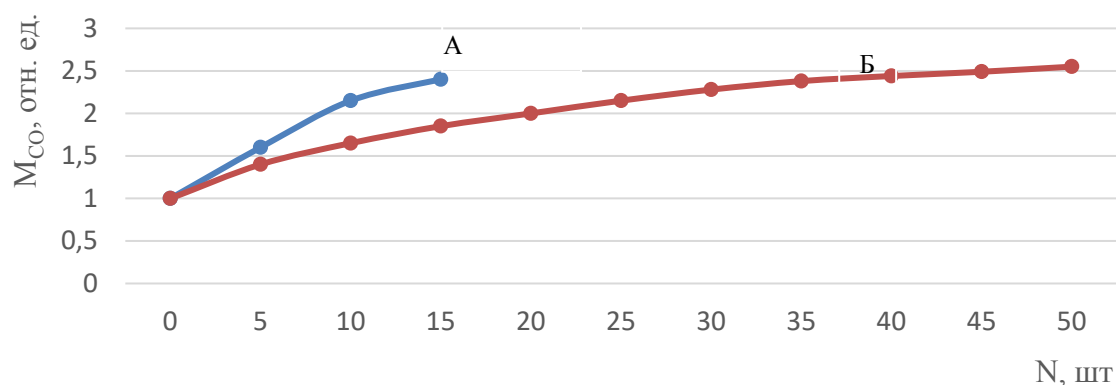


Рисунок 2 – Интенсивность свечения СО, в процессе удаления фоторезистивных пленок в ВЧ и СВЧ кислородных разрядах (А – СВЧ разряд, Б – ВЧ разряд)

Вывод: Оптическая эмиссионная спектроскопия процессов удаления фоторезиста в ВЧ и СВЧ разрядах показала, что в связи с поглощением кремниевыми подложками части подводимой к разрядному объему СВЧ энергии надежный спектральный контроль процесса СВЧ плазмохимического удаления фоторезиста с небольших партий подложек целесообразно проводить по изменению интенсивности полосы СО ($\lambda=519,82$ нм), а в случае обработки большого количества подложек – по линиям ОI ($\lambda=777,7$ нм, $\lambda=844,6$ нм).

Литература

1. Достанко, А. П. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники. В 3-х т. Том 1 / А. П. Достанко, С. П. Кундас, М. Н. Босяков и др. – Мн.: ФУАинформ, 2000. – 424 с.
2. Бордусов, С. В. Плазменные технологии в производстве изделий электронной техники / С. В. Бордусов. – Мн.: Бестпринт, 2002. – 452 с.

П. В. Ключко, Вань Сюеминь, А. Н. Лесун
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В технологических процессах, основанных на применении лекарственных препаратов различного функционального назначения, ис-

пользуют специальные устройства, обеспечивающие дозирование, направленную подачу и выполнение комфортных и безопасных манипуляций в области поражения для обеспечения оптимального эффекта и минимизации рецидивов.

Разработаны оригинальные конструкции устройств для гидровакуумаспирации лакун нёбных миндалин при лечении оториноларингологических заболеваний пациентов различных возрастных групп и одноразовых инъекций специальных препаратов в условиях экстремального воздействия неблагоприятных факторов в ситуациях чрезвычайного характера.

Устройство для гидровакуумаспирации, используемое в оториноларингологии, обеспечивает дозированную подачу лекарственного препарата в виде водного раствора функционального компонента в зону поражения с точной локализацией потока при тактильном управлении его интенсивностью с последующим удалением продуктов неблагоприятных биохимических процессов, вызывающих негативный воспалительный эффект в полости рта. Разработанная конструкция насадки позволяет локализовать поток лекарственного препарата с высокой точностью и манипулируя продолжительностью импульсов обработать зону поражения с минимальным дискомфортом для пациента. Эффективность действия разработанной конструкции по сравнению с традиционными насадками для гидровакуумаспирации лакун нёбных миндалин обусловлена не только оптимальным сочетанием конструктивных элементов, учитывающих возрастные особенности пациентов, но и использованием специальных конструкционных материалов на основе термопластичных полимеров взамен коррозионно-стойких легированных сталей [1–3].

Разработанная конструкция инжектора для введения функциональных лекарственных препаратов в экстремальных условиях позволяет обеспечить выполнение необходимых действий по поддержанию жизнеспособности при воздействии негативных факторов различного вида.

Для изготовления конструктивных элементов устройства для гидровакуумаспирации и инжектора разработаны составы композиционных материалов, обеспечивающие реализацию заданных параметров деформационно-прочностных характеристик, и технология их производства с использованием высокопроизводительного оборудования и оснастки. В качестве матричных компонентов композиционных материалов использованы термопласты класса полиолефинов и стиролсодержащих полимеров. В состав композиции введены функциональные

модификаторы, обеспечивающие необходимые параметры реологических характеристик для реализации технологии литья под давлением.

Характерной особенностью композиционных материалов для изготовления конструктивных элементов насадки для гидровакуумаспирации и инжектора является выраженное бактерицидное действие, повышающее устойчивость к воздействию неблагоприятных эксплуатационных факторов. Эффект достигается вследствие введения в состав композиционного материала наноразмерных модификаторов с повышенной энергетической активностью при их допинговом содержании, составляющем 0,1÷1,0 мас. %. Бактерицидное действие поверхностного слоя функциональных изделий обусловлено наличием особого энергетического состояния наноразмерных частиц модификаторов, о котором свидетельствуют данные спектроскопии термостимулированных токов (ТСТ). Реализуемый эффект увеличивает действие параметров стерилизации, достигаемых с использованием общепринятых технологий. Наноразмерный модификатор одновременно увеличивает параметры деформационно-прочностных характеристик композитов вследствие образования пространственной системы адсорбционных связей с активными центрами макромолекул, обеспечивая синергический эффект.

Разработана технологическая оснастка для изготовления насадок для аппарата гидровакуумаспирации и инжекторов.

Осуществлено апробирование опытных партий изделий в условиях практического применения.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках совместного международного научно-технического проекта с Пекинским технологическим институтом Т20ПТИ-005 «Влияние параметров структурных и морфологических характеристик наноцеллюлозных и хитиновых волокон на механизмы их модифицирующего действия в нанокompозитах на основе термопластичных матриц промышленного производства».

Литература

1. Принципы формирования оптимальной структуры для эндопротезирования и оториноларингологии / В. А. Новоселецкий [и др.] // Оториноларингология. Восточная Европа. – 2014. – № 2(15). – С. 88–89.

2. Одноразовая насадка для аппарата гидровакуумаспирации лакун небных миндалин : пат. ВУ 21874 / О. Г. Хоров, В. А. Струк, В. В. Зинчук, И. Ч. Алещик, В. А. Новоселецкий, В. Г. Сорокин, С. В. Авдейчик, С. В. Белецкий. – Оpubл. 30.04.2018.

3. Реконструкция слуховых косточек модифицированными полимерами / О. Г. Хоров, В. А. Струк, В. А. Новоселецкий, В. Г. Сорокин. – Beau Bassin : Lap Lambert Academic Publishing RU, 2018. – 197 с.

А. В. Ковалец

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. С. А. Лукашевич, ст. преподаватель

ПРОГРАММА ТЕСТИРОВАНИЯ ПО КУРСУ «ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ»

В работе рассматривается задача написания доступного для всех мобильного приложения на платформу Android с помощью которого студенты смогут освоить материал и пройти тестирование по курсу: «Основы программирования мобильных систем». Считаю, что благодаря этому приложению студенты смогут лучше усваивать материал и проверять свои остаточные знания. В приложении будут, как и сами лекции по данной дисциплине, так и тесты с системой оценивания, благодаря этому студент сам будет понимать уровень своих знаний и при необходимости сможет восполнить недостающие знания. Это приложение будет удобно не только для тех, кто проходит данную дисциплину, но и для тех, кто решил самостоятельно освоить программирование для мобильных систем. Оно будет помогать студентам во время прохождения лекций, а также, сможет помочь им при подготовке к предстоящему экзамену или зачету по данной дисциплине.

Большой плюс данного приложения будет в том, что оно всегда будет у пользователя под рукой и доступно в любой момент, т.е. не нужно будет тратить лишнее время на поиск информации в интернете или же в библиотеке. Все что нужно – это всего лишь достать свой телефон, открыть приложение и начать изучать материал. В нем будет понятный и доступный интерфейс, для любого пользователя, что позволит без особых усилий и потерь во времени изучать материал. Будут реализованы лекции по нескольким платформам, где будет

описание самих программ, как ими пользоваться и конечно же как создавать программы для мобильных устройств.

Что касательно тестов, они будут делиться по платформам, чтобы при изучении не путался материал и знания. Когда будут изучены пользователем все платформы и идеально будут пройдены тесты по ним, то будет предложен один общий итоговый тест по всему материалу и он будет вмещать в себя вопросы по разным платформам. В итоге любому пользователю, у которого есть желание освоить данную дисциплину на хорошем уровне, будет достаточно скачать это приложение и воспользоваться им, без потерь во времени на поиск информации по книгам или в интернете, он сможет изучать специально подобранный материал, а после проверить свои знания.

Е. В. Койпиш

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Н. В. Иноземцева**, канд. техн. наук, доцент

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПЛАКИРОВАНИЯ ОБРАТНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ НА УСЛОВИЕ СХВАТЫВАНИЯ

Процесс нанесения на металлическую основу покрытия путем совместной пластической деформации основы и плакирующего материала является достаточно перспективным, вследствие высокой производительности и малой энергоемкости. Проблемы надежности соединения между слоем покрытия и основой достаточно актуальны, так как именно качество этого соединения во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики получаемого материала. Целью исследований являлся анализ влияния параметров процесса на условие схватывания между слоями.

В результате исследований получены аналитические зависимости для параметров, входящих в условие схватывания [1]: $t_d \geq t_a \geq t_p$,

где t_d – длительность совместной пластической деформации, с; t_a – длительность активации поверхности менее деформируемой основы в зоне соединения, с; t_p – длительность релаксации остаточных напряжений в покрытии, с.

Длительность совместной пластической деформации определяется по зависимости: $t_o = l_o / v_n$, где l_o – длина очага деформации, м; v_n – скорость процесса деформирования металла, м/с;

Если предположить, что активным центром при схватывании является дислокация с полем напряжения для определения длительности активации используется следующая зависимость [2]:

$t_a = Lb / \dot{\epsilon} S$, где L – путь движения дислокации до барьера м; b – модуль вектора Бюргера для материала менее пластичной основы, м; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации металла в зоне соединения, 1/с; S – изменение площади активного центра в месте выхода дислокаций к зоне соединения, м².

Длительность релаксации определяется зависимостью [2, 3]: $t_p = t_0 \exp\left(\frac{U}{kT}\right)$, где t_0 – период собственных колебаний атомов около равновесного положения, $t_0 = 10^{-13}$ с; R – универсальная газовая постоянная; T – температура в зоне деформации, К; U – энергия активации процесса, контролирующего релаксацию внутренних напряжений в покрытии.

Для выбора определенных параметров процесса необходимо изучить их степень влияния на условие достижения адгезии. В практических целях наиболее приемлемо использовать наиболее влиятельные параметры процесса на условие достижения адгезии. В качестве таких параметров рассматривается скорость процесса, степень деформации и геометрия очага деформации. Было подробно изучено влияние этих параметров на величину времени деформации, времени активации и релаксации.

Диапазоны параметров выбирались в соответствии с технологическими рекомендациями: $v_n = [0,2...12]$ мм/с; $\epsilon = 2...20\%$; $T_0 = [20...700]^\circ\text{C}$, $v1 = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м/с; $v2 = 3 \cdot 10^{-3}$ м/с; $v3 = 5,8 \cdot 10^{-3}$ м/с; $v4 = 8,6 \cdot 10^{-3}$ м/с; $v5 = 12 \cdot 10^{-3}$ м/с. При анализе в качестве постоянных параметров были выбраны $v_n = 2,2 \cdot 10^{-3}$ м/с; $\epsilon = 12\%$; $T_0 = 20^\circ\text{C}$.

Используя формулы для времени деформации, активации, релаксации и выбранные величины параметров были построены графики, некоторые из которых представлены на рисунках 1–3.

Анализ графиков показывает, что наибольшее влияние на t_o , t_a и t_p оказывает скорость деформации v_n и ϵ . С ростом v_n значение t_o и t_a

уменьшается, а с ростом ε значение t_{∂} и t_a увеличивается. Изменением величин скорости и степени деформации можно добиться получения условия схватывания.

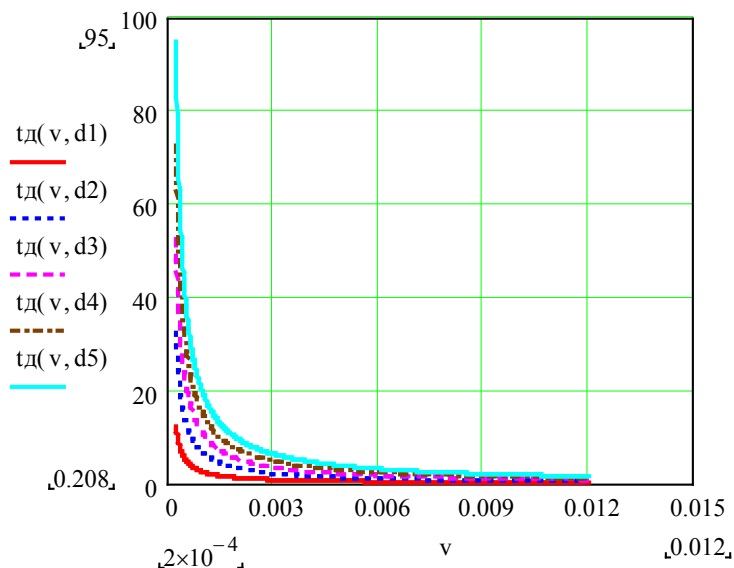


Рисунок 1 – Зависимость времени деформации t_{∂} от v_n и ε при $T_0 = \text{const}$

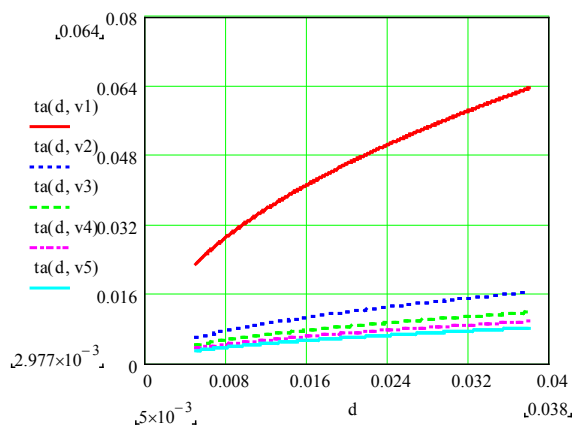


Рисунок 2 – Зависимость времени активации t_a от ε и v_n при $T_0 = \text{const}$

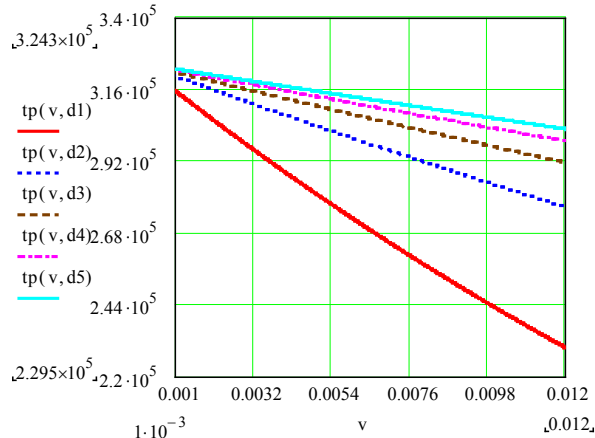


Рисунок 3 – Зависимость времени релаксации t_{ρ} пары металлов сталь-алюминий от v_n и ε при $T_0 = \text{const}$

Литература

1. Селивончик, Н. В. Разработка критерия получения соединения покрытия с основой при плакировании обратным выдавливанием/

Н. В. Селивончик, Ю. Л. Бобарикин // Материалы, технологии, инструменты. – 2002, т.7. – №3. – С. 33-37.

2. Кочергин, К. А. Сварка давлением / К. А. Кочергин. – Л.: Машиностроение, 1972. – 216с.

3. Каракозов, Э. С. Диффузионная сварка титана / Э. С. Каракозов, Л. М. Орлова, В. В. Пешков. – М.: Металлургия, 1977, – 272с.

К. Г. Комяк

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **А. Л. Толстик**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДИФРАКЦИОННЫМИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Разработка и создание управляемых дифракционных элементов на основе жидких кристаллов – одно из перспективных направлений современной фотоники. Жидкокристаллические (ЖК) элементы характеризуются низким рабочим напряжением, высокой анизотропией тонких оптических слоев, дешевизной изготовления и позволяют формировать световые поля с заданными свойствами.

Целью представленной работы являлось исследование оптических свойств двумерных дифракционных структур, созданных на основе нематических жидких кристаллов с различной ориентацией директора. Исследуемые в работе ЖК-элементы были созданы методом фотоориентации. Важным элементом данной методики является фотоориентант, который задает граничные условия ориентации директора жидкого кристалла на поверхности. Эксперименты проводились с двумя типами ЖК дифракционных элементов: «твист-планар» и «елочка».

В первом случае на одной из подложек ЖК ячейки фотоориентант засвечивался пространственно модулированным излучением с использованием амплитудной фотомаски, вторая подложка была засвечена ортогонально поляризованным пространственно однородным излучением. В итоге в местах засветки фотополимера пространственно модулированным излучением формировалась твист структура, которая чередовалась с планарной ориентацией директора ЖК (рисунок 1, а).

Во втором случае засветку одной подложки ЖК ячейки по-прежнему необходимо проводить пространственно однородным излучением. Вторую подложку следует засвечивать сначала однородным линейно поляризованным излучением под углом 45° к первоначальной поляризации, а затем через маску-транспарант линейно поляризованным излучением под углом 45° , но в противоположную сторону к первоначальной поляризации. В результате на первой подложке будет создана планарная ориентация директора ЖК, а на второй будет получена структура «елочка» (рисунок 1, б).

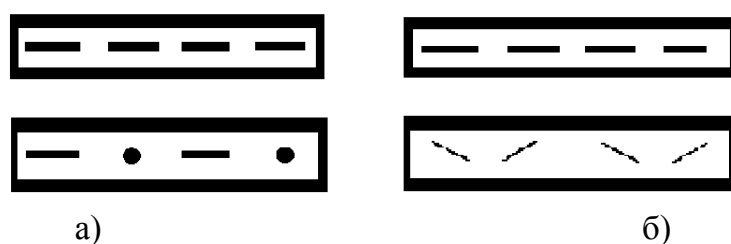


Рисунок 1 – Направление ориентации директора молекул жидкого кристалла на двух подложках: а) твист-планар; б) елочка

В обоих случаях будет наблюдаться твист-эффект – плавный переход от ориентации, заданной на одной подложке, к ориентации заданной на другой. Однако переориентация директора ЖК будет происходить по-разному в ячейках «твист-планар» и «елочка». Решетка «твист-планар» исследовалась ранее в работах [1, 2].

Особенностью исследуемой ячейки «елочка» является ее закрученная структура, которая представляет интерес для исследования поляризационных характеристик прошедшего через ЖК ячейку света. В ходе экспериментов была изучена поляризация излучения, дифрагировавшего в различные порядки. Исследование показало, что при линейной поляризации падающего излучения под углом 45° , поляризация прошедшего излучения (дифрагировавшего в нулевой порядок) повернута на 45° относительно поляризации падающего излучения (рисунок 2, а). В то время как поляризация излучения, дифрагировавшего в первый порядок, совпадает с поляризацией падающего излучения (рисунок 2, б). Заметим, что в случае дифракции в первый порядок наблюдается появление эллиптичности.

В случае, когда падающий свет имеет линейную вертикальную поляризацию, состояние поляризации дифрагировавшего излучения в различные порядки отличалось от значений, полученных в первом эксперименте. В данном случае поляризация прошедшего излучения

(нулевой порядок) повернулась на 90° относительно падающей, кроме того, поляризация перестала быть чисто линейной – появился элемент эллиптичности. В то же время, излучение, дифрагировавшее в первый порядок, имеет поляризацию идентичную поляризации падающего излучения.

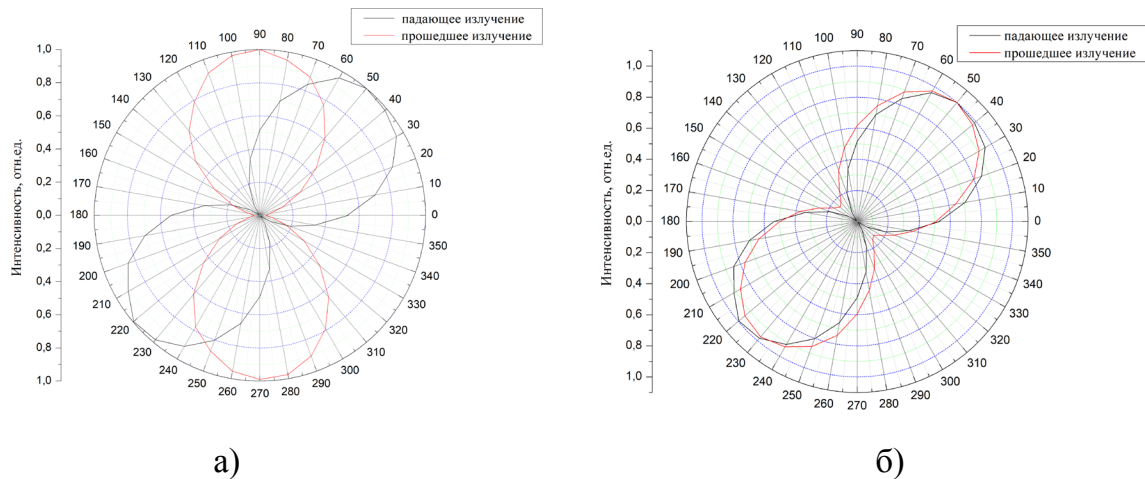


Рисунок 2 – Состояние поляризации дифрагировавшего излучения для ячейки «елочка» при падающей линейной поляризации под углом 45° : а) нулевой порядок дифракции; б) первый порядок дифракции

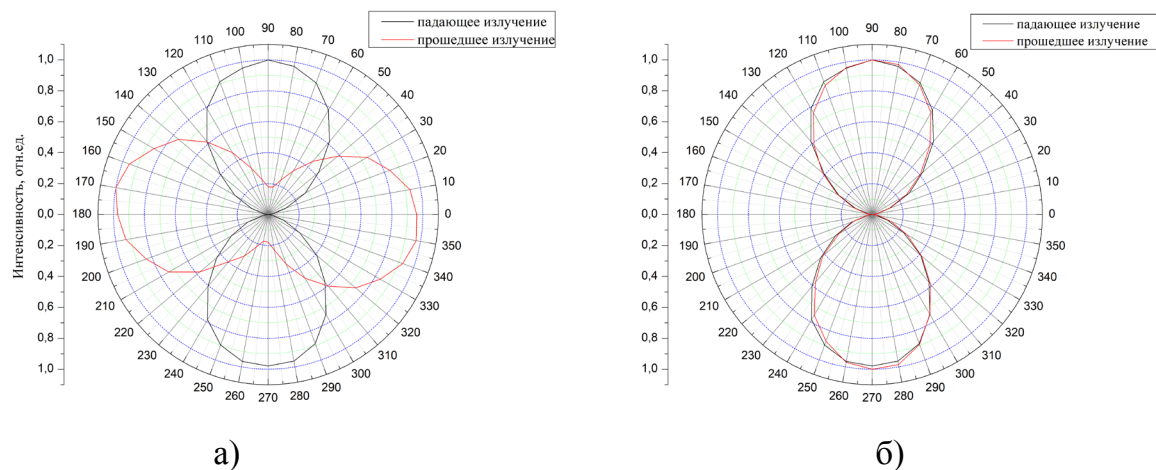


Рисунок 3 – Состояние поляризации дифрагировавшего излучения для ячейки «елочка» при падающей линейной вертикальной поляризации: а) нулевой порядок дифракции; б) первый порядок дифракции

Таким образом, было установлено, что поляризация падающего излучения оказывает влияние на поляризационные характеристики дифракционной ЖК решетки. Обнаруженная зависимость может представлять интерес для создания поляризационных ЖК-элементов с заданными свойствами.

Литература

1. Казак, А. А. Управление световыми полями с помощью дифракционных жидкокристаллических элементов / Казак А. А., Толстик А. Л., Мельникова Е. А. // Оптический журнал. – 2010. – Т.77., №7. – С. 72-74.
2. Казак, А. А. Управляемые жидкокристаллические элементы на основе компьютерно-синтезированных голограмм / Казак А. А., Толстик А. Л., Мельникова Е. А. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т.58, №11/3. – С. 51-53.

О. В. Конакова

(ИММС НАН Беларуси, Гомель)

Науч. рук. **В. М. Шаповалов**, д-р техн. наук, профессор

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ БИОУТИЛИЗИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рост количества полимерных отходов обуславливает повышение опасности загрязнения ими окружающей среды. В мире предпринимаются многочисленные попытки создания биоутилизируемых (или биоразлагаемых, т.е. деградирующих в почве в естественных условиях) материалов, способных заменить крупнотоннажные синтетические пластмассы во многих изделиях бытового и технического назначения [1]. В Республике Беларусь в 2019 г. на государственном уровне поставлена задача ускоренного развития научно-технической деятельности в области биоутилизируемых материалов и подчеркнута актуальность создания отечественных конкурентоспособных рецептур. Цель настоящей работы – сформулировать основные тенденции в данном направлении, выдвинуть гипотезу о новых возможностях по получению таких материалов и обсудить пути ее проверки.

С одной стороны, большинство связующих на основе синтетических полимеров обладает крайне низкой способностью к биоутилизации в окружающей среде. Применение для изготовления широкого круга изделий немногочисленных заведомо биоразлагаемых синтетических полимеров (полилактиды и др.) ограничивается высокой стоимостью последних. С другой стороны, в отношении органо-растительного сырья существует сложность его технологической переработки в формоустойчивые изделия с прогнозируемыми физико-

механическими свойствами. Тем самым, актуален поиск разумных сочетаний органо-растительных компонентов с незначительными количествами синтетических полимеров и/или других связующих, а также изучение способности к биоутилизации изделий – экспериментальных образцов тары и посуды одноразового применения, изготовленных на базе оригинальных рецептов таких композитов.

Нами выдвинута гипотеза о том, что следует в максимальной степени отойти от идеи применения синтетических полимеров, при этом совмещение органо-растительных компонентов в единую стабильную композиционную систему может быть стимулировано специфическими функциональными добавками в сочетании с воздействием на компоненты системы физических полей различной интенсивности.

Экспериментальная проверка данной гипотезы, по нашему мнению, должна базироваться на следующих принципах:

- доскональное исследование номенклатуры материалов, позиционируемых как *biodegradable*, и их компонентного состава;
- научно обоснованный выбор органо-растительного сырья, его морфологических признаков и дисперсности;
- подбор полимерного связующего (оптимально – технологичного биополимера), которое способно полностью биоутилизироваться, не переходя в форму микропластика;
- выбор технологии гомогенизации компонентов;
- анализ роли и масштаба воздействия физических полей.

Современный уровень разработок биоразлагаемых материалов может быть проиллюстрирован следующими техническими решениями. Согласно патенту [2], биоразлагаемый материал для упаковочных термоформованных изделий и пленок, способных к биодеструкции под действием климатических факторов и микроорганизмов, содержит смесь крахмала с поливиниловым спиртом и целевыми добавками. В патенте [3] предлагается материал на основе природных биоутилизируемых полимеров (мука из свекловичного жома и пшеничный крахмал). Крахмал могут использовать как наполнитель синтетических полимеров [4]. Перспективными связующими для биоразлагаемых материалов также считаются поливиниловый спирт и поливинилацетат. Роль органо-растительных компонентов обычно состоит в ускорении механического разрушения утилизируемого изделия за счет разрыхления структуры и интенсификации проникновения в нее воды и микроорганизмов. Среди пластификаторов, улучшающих перерабатываемость подобных композиций при литье или экструзии изделий, наиболее часто используют глицерин. Дополнительные ком-

поненты – вещества, улучшающие смачиваемость дисперсных частиц, катализаторы гидролиза биополимеров, катализаторы окисления, а также вода в качестве растворителя некоторых добавок [2, 3, 5].

Проведены исследования материалов зарубежного производства, заявленных в качестве biodegradable. Оценку биодеструкции проводили по ГОСТ 9.060, помещая образцы в почву и определяя изменение их внешнего вида и массы [6]. Установлено, что ни один из изученных композитов не соответствует критерию биоразлагаемости. Очевидно, что некоторые производители пошли на компромисс, состоящий в использовании заведомо неразлагаемых компонентов, облегчающих технологичность, на фоне сокрытия рецептуры (ноу-хау). Это обуславливает необходимость поиска новых подходов.

Проведены исследования изготовленных в ИММС НАН Беларуси композиций, содержащих свекловичный жом и незначительное количество смеси биоразлагаемых полимеров с целевыми добавками. В процессе пробной утилизации в почве наблюдались: значительная потеря целостности образцов, снижение прочности остатков, изменение цвета, обрастание биомассой разного генеза, быстрый рост водопоглощения. Эти данные, систематизация которых продолжается, указывают на высокую степень биоразлагаемости материалов, выполненных по предложенной рецептуре. Впоследствии предполагается оценить, для каких конкретных видов биоутилизируемой тары и посуды эти рецептурно-технологические решения будут являться оптимальными. Представляется также, что в дальнейшей работе по разработке композиций следует изучить способность функциональных компонентов к активации посредством воздействия физических полей, что должно благоприятно повлиять на взаимную совместимость и обусловить привлекательность для биомассы.

Сделан вывод о том, что замещение в одноразовой таре и посуде традиционных синтетических пластиков биоразлагаемыми материалами на основе органо-растительного сырья и недорогих целевых добавок может значительно снизить нагрузку на окружающую среду, чем способствовать решению экономических и экологических проблем. Проверка гипотезы продолжается.

Работа выполняется в рамках ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» (задание 6.52) и ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» (тема 4.2.2, НИР 2).

Литература

1. Технические материалы на основе свекловичного жома / Б. А. Кулишов, Л. А. Зимагулова, Ле Ань Туан, А. В. Канарский // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18, №23. – С.72-78.
2. Патент 2669865 РФ. МПК C08L3/02 C08L29/04 C08K3/00 C08K5/05 C08L101/16. опубл. 16.10.2018. Композиция для получения биоразлагаемого полимерного материала и биоразлагаемый полимерный материал на её основе/ О. Н. Малинкина, В. Ю. Папкина, А. Б. Шиповская. Заявка 2017136410, заявлено 2017.10.16, опубликовано 2018.10.16.
3. Патент 2709883 РФ. МПК C08L3/02 C08K5/53 C08K5/09 C08L101/16. Биоразлагаемое вещество на основе природных полимеров/ Н. Е. Павловская, А. Ю. Гаврилова, И. Н. Гагарина, И. В. Горькова, К. Н. Гуляева. Заявка 2019102573, заявлено 2019.01.30, опубликовано 2019.12.23.
4. Биоразлагаемые упаковочные материалы на основе полисахаридов (крахмала) / С. П. Рыбкина, В. В. Пахаренко, В. Ю. Булах, В. А. Пахаренко // Пластические массы. – 2012. – №2. – С. 61–64.
5. Патент 2710151 РФ. МПК A21B 3/13. Съедобная посуда/ Н. Е. Павловская, А. Ю. Гаврилова, И. Н. Гагарина, И. В. Горькова, К. Н. Гуляева. Заявка 2019102576, заявлено 2019.01.30, опубликовано 2019.12.24.
6. Методы оценки биоразлагаемых полимерных материалов / О. А. Ермолович [и др.] // Биотехнология. – 2005. – С. 47–54.

А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец, О. Д. Заболотный
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА SHELL МАРКИ 5W40

Плотность моторного масла представляет собой отношение общей массы вещества к его номинальному объему. Чем выше плотность, тем хуже моторное масло проходит по всем каналам и зазорам в двигателе внутреннего сгорания, вследствие чего затрудняется вращение

коленчатого вала, что в свою очередь ведёт к его повышенному износу, появлению отложений, образованию нагара и повышенному расходу топлива [1]. Плотность моторного масла определяют преимущественно при фактической температуре в лабораторном помещении, а затем пересчитывают на значение при температуре 15 °С.

В ходе выполнения настоящей работы произведены исследования изменения плотности синтетического моторного масла Shell марки SAE 5W40 измеренной при температуре 15 °С в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства с бензиновым двигателем. В качестве подвижного состава принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объёмом 1 598 см³. За результат исследования принимали среднее арифметическое значение плотности, полученное после пяти измерений. Перед проведением исследований провели компьютерную диагностику автомобиля. Установлено, что двигатели в легковых автомобилях полностью исправны. В результате проведения проверено натяжение ремня газораспределительного механизма, тепловые зазоры находятся допуске, исправность стартера, генератора, приборов системы зажигания и питания, напряжение бортовой сети – 12,4 В. Величина пробега всех автотранспортных средств находилась в диапазоне значений от 0 до 15 тыс. км. Объем заливаемого моторного масла в двигатель легкового транспортного средства перед эксплуатацией составлял 3,6 л.

Плотность моторного масла определяли методом ареометрии по ГОСТ 3900–85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности» [2] с использованием ареометра марки АНТ-2 ГОСТ 18481–81 [3]. Пересчет плотности моторного масла при температуре 15 °С выполняли с помощью автоматизированной программы «Калькулятор для расчета плотности при разных температурах» на ЭВМ. Результаты исследований по определению изменения плотности моторного масла Shell марки SAE 5W40 представлены на рисунке 1.

Экспериментально установлено, что плотность исследуемого моторного масла при увеличении величины пробега автомобилем до 15 тыс. км возрастает. Показано (рисунок 1), что при использовании моторного масла Shell марки SAE 5W40 плотность изменяется от исходного значения 840,0 кг/м³ (новое масло) до 864,2 кг/м³ при пробеге легковым транспортным средством 15 тыс. км. Можно видеть (рисунок 1), что значение плотности исследуемого моторного масла при пробеге легковым транспортным средством 3 тыс. км возрастает на 13,3 кг/м³; при пробеге 10 тыс. км повышается на 20,1 кг/м³; при про-

беге 15 тыс. км увеличивается на 24,2 кг/м³ в сравнении с исходным значением. Значительное увеличение плотности моторного масла в интервале от 3 до 10 тыс. км можно объяснить тем, что в данный период эксплуатации транспортного средства проходит «обкатка» нового двигателя, и работа узлов цилиндра-поршневой группы происходит при высоком значении коэффициента трения, что в свою очередь способствует снижению плотности моторного масла.

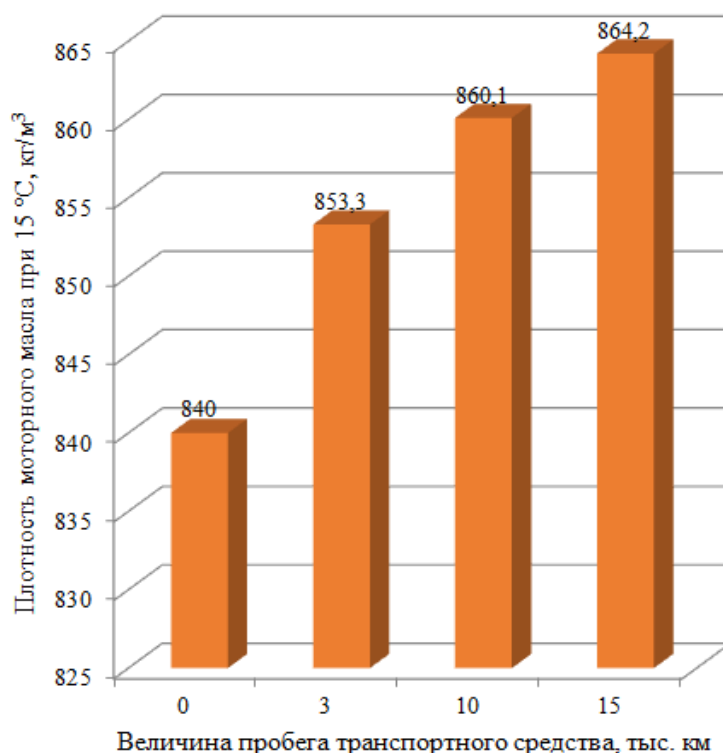


Рисунок 1 – Результаты исследования изменения плотности моторного масла Shell марки SAE 5W40 при увеличении величины пробега транспортного средства

В среднем при пробеге транспортным средством 10 тыс. км плотность моторного масла возрастает на 16,7 кг/м³. В то же время в интервале пробега от 10 до 15 тыс. км плотность моторного масла возрастает на величину равную 4,1 кг/м³, что более чем в 4 раза меньше, чем при пробеге транспортным средством первых 10 тыс. км.

По результатам исследования можно утверждать, что наиболее интенсивное изменение плотности исследуемого синтетического моторного масла наблюдается до 10 тыс. км пробега.

К повышению значения плотности моторного масла также могут привести отложения, нагары и осадки, образующие в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) в процессе эксплуатации транспортного

средства. Отложения образуются в ДВС в результате превращения углеводородов (основа моторных масел). Нагары представляют собой твердые углеродистые вещества, откладывающиеся на стенках камеры сгорания, клапанах, свечах, днище поршня и на верхнем пояске боковой поверхности поршня [4].

Литература

1. Карташевич, А. Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. – М.: Инфра. – М, 2015. – 420 с.

2. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности: ГОСТ 3900–85. – Переизд. май 2012 с Изм. 1, Попр. (ИУС. 1991. № 4; ИУС РБ. 1999. № 2; ИУ ТНПА. 2010. № 6). – Взамен ГОСТ 3900–47; введ. Респ. Беларусь 17.12.92. – Минск: Госстандарт, 2012. – 36 с.

3. Ареометры и цилиндры стеклянные. Технические условия: ГОСТ 18481–81. – Переизд. сентябрь с Изм. 1. – Взамен ГОСТ 18481–73, ГОСТ 4226–73, ГОСТ 1289–76, ГОСТ 8668–75, ГОСТ 9545–73, ГОСТ 1032–75, ГОСТ 1300–74, ГОСТ 3637–75, ГОСТ 8667–74, ГОСТ 895–66; введ. 01.01.83 до 01.01.88. – М.: Стандартиформ, 2007. – 22 с.

4. Милованов, А. В. Топливо и смазочные материалы: учебное пособие / А. В. Милованов, С. М. Видищев. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 80 с.

А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЩЕЛОЧНОГО ЧИСЛА СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ SHELL SAE 5W40, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Одним из наиболее важных эксплуатационных показателей моторного масла является щелочное число. Данный показатель моторного масла указывает на то, как долго масло может нейтрализовать вредные для него кислоты, которые вызывают коррозионный износ деталей двигателя и усиливают процессы образования различных уг-

леродистых отложений. Для нейтрализации вредных кислот используют присадку гидроксид калия – КОН. Единицей измерения щелочного числа является мг·КОН/г. Физически единица измерения щелочного числа означает, что количество гидроксида эквивалентно по своему действию пакету присадок. Чем больше значение щелочного числа моторного масла, тем более длительный срок моторное масло сможет нейтрализовать действие кислот, образующихся при окислении масла и сгорании топлива [1, 2]. В странах Европы и США не рекомендуют использовать моторные масла со значением щелочного числа более 6 мг·КОН/г. В то же время в странах СНГ принято использовать моторные масла, щелочное число которых не менее 9 мг·КОН/г.

В ходе выполнения настоящей работы выполнены исследования по изменению щелочного числа синтетического моторного масла Shell марки SAE 5W40 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства. В качестве подвижного состава принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объёмом 1 598 см³. Методика проведения исследований по отбору образцов моторного масла изложена в работе [3]. Щелочное число определяли с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 30050–93 «Нефтепродукты. Общее щелочное число. Метод потенциометрического титрования хлорной кислотой» [4]. Для определения щелочного числа моторного масла использовали прибор – иономер модели И-160МИ. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерений анализируемого раствора. Работа преобразователя основана на преобразовании сопротивления термодатчика и электродвижущей силы электродной системы соответственно в значение температуры раствора и значения показателя концентрации ионов в данном растворе. Результаты исследований по определению значения щелочного числа в зависимости от пробега транспортного средства представлены на рисунке 1.

Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные по изменению щелочного числа моторного масла Shell марки SAE 5W40, показывают, что исследуемый показатель с увеличением пробега транспортного средства до 15 тыс. км снижается. Показано (рисунок 1), что значение щелочного числа моторного масла Shell марки SAE 5W40 при пробеге транспортным средством 15 тыс. км уменьшилось на величину равную 6,02 мг·КОН/г. Установлено, что существенное изменение значения щелочного числа наблюдается в интервале про-

бега от 6 до 10 тыс. км с 9,52 мг·КОН/г до 6,21 мг·КОН/г. При увеличении пробега с 10 тыс. км до 15 тыс. км в среднем исследуемый показатель через каждые последующие 3 тыс. км снижается на 0,69 мг·КОН/г.

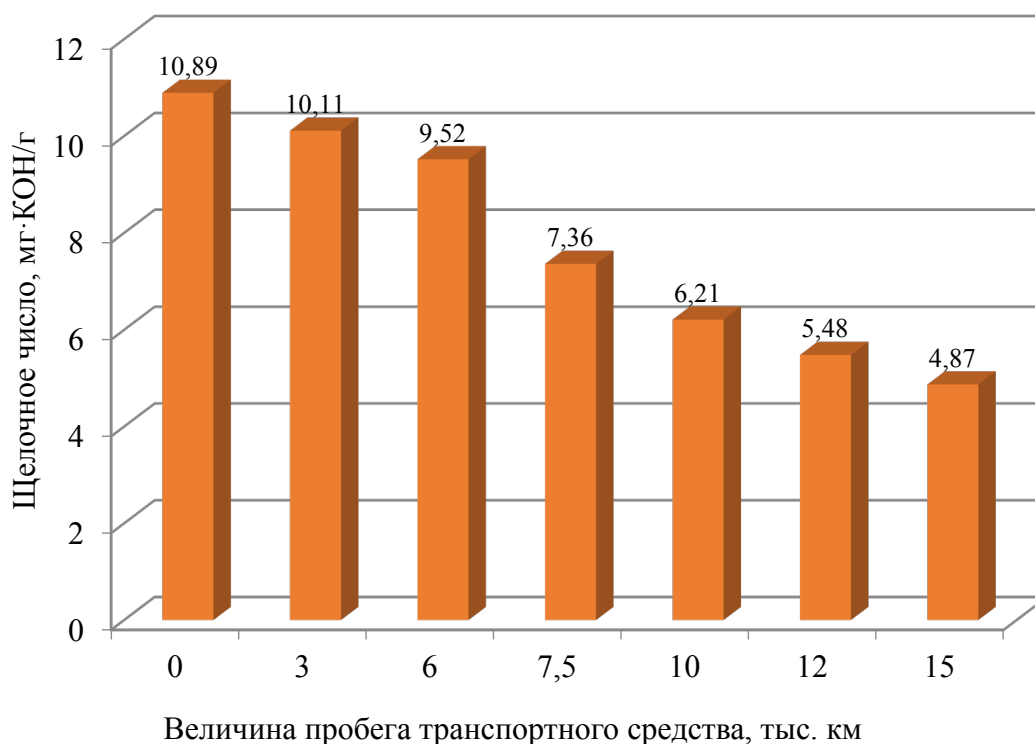


Рисунок 1 – Результаты исследования щелочного числа синтетического моторного масла Shell марки SAE 5W40 при увеличении величины пробега транспортного средства

Известно [1, 2], что в случае снижения значения эксплуатационного показателя моторного масла более чем на 30 % моторное масло следует заменить в ближайшее время.

В результате выполненных исследований установлено, что при пробеге транспортным средством до рекомендуемого срока замены моторного масла (15 тыс. км) значение щелочного числа в сравнении с исходным значением уменьшилось почти 66 %, что свидетельствует о необходимости досрочной замены данного моторного масла, ввиду потери им эксплуатационного показателя (щелочное число). Рекомендуемым периодом замены данного моторного масла следует считать интервал пробега транспортного средства от 7,5 тыс. км до 10 тыс. км.

При несвоевременной замене моторного масла ввиду низкого значения щелочного числа моторного масла, некоторое число непрореагировавших соединений будет оседать в виде шлама и сажи на частях

системы смазки двигателя, засоряя масляные каналы и ухудшая циркуляцию. Данные процессы в последствие, могут привести к «масляному голоданию» распределительного вала, и как следствие, износу его опорных шеек, а также к засорению масляных каналов в коленчатом валу, что приведет к преждевременному срабатыванию вкладышей.

Литература

1. Шпак, Е. Д. Физико-химические показатели качества моторного масла / Е. Д. Шпак, В. И. Митрофанова // Вестник АмГУ. – 2019. – № 85. – С.103–106.

2. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебн. пособие / В. В. Остриков [и др.]. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 304 с.

3. Линько, Р. А. Исследование плотности синтетического моторного масла Motul, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / Р. А. Линько, О. К. Ермак // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 123–125.

4. Нефтепродукты. Общее щелочное число. Метод потенциометрического титрования хлорной кислотой: ГОСТ 30050–93; введ. Респ. Беларусь 01.01.96. – Мн.: Белстандарт, 1995. – 8 с.

Н. Н. Курьян

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **С. С. Ануфрик**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ И КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

Одним из главных достоинств картофеля является его богатый и ценный химический состав. Он может в значительной степени зависеть от сорта, климатических условий и почвенного питания. На химический состав картофеля большое влияние оказывают удобрения, регулирующие химический состав, повышающие продуктивность и улучшающие качественные показатели картофеля [1, 2].

Исходя из вышеизложенного, цель работы – выполнить исследование элементного состава надземной части и клубней картофеля, выращенных на различных типах почв.

Среди методов спектрального анализа, наиболее экспрессным и информативным является метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) [3]. Данный метод позволяет получать количественные и качественные данные об элементном химическом составе без сложной и длительной пробоподготовки. Исследования проводили с помощью рентгенофлуоресцентного спектрального анализатора SER-01 ElvaX, в соответствии с утвержденной методикой МВИ.МН. 3730–2011 [3].

В качестве исследуемых образцов картофеля были взяты сорта: «Журавинка», «Янка», «Скарб», а в качестве анализируемых почв были отобраны 3 образца почв, различного элементного химического состава и с различным содержанием гумуса. Далее производилась посадка картофеля. В каждый ящик, на глубину 7 см, производилась посадка одного клубня картофеля (весом ≈ 150 г) определенного сорта. Картофель выращивался в естественных условиях. Полив стенов осуществляется дождевой водой. Минеральные удобрения и пестициды, в ходе роста картофеля, не вносились. Далее производился отбор биоматериала (клубень картофеля, стебель, листья).

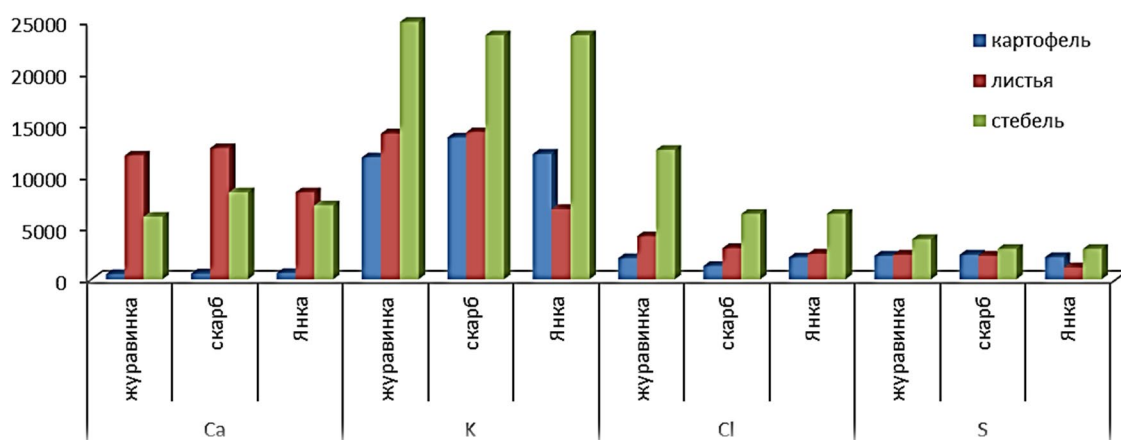
На рисунке 1 приведены зависимости концентраций эссенциально-значимых элементов (Ca, K, Cl, S) от сорта картофеля, выращенных на различных образцах почв.

В результате было установлено, что эссенциально значимые элементы (K, S, Cl) в основном накапливаются в стебле картофеля и в меньшей степени в листьях. В листьях исследуемых сортов картофеля в больших концентрациях содержится Ca и K.

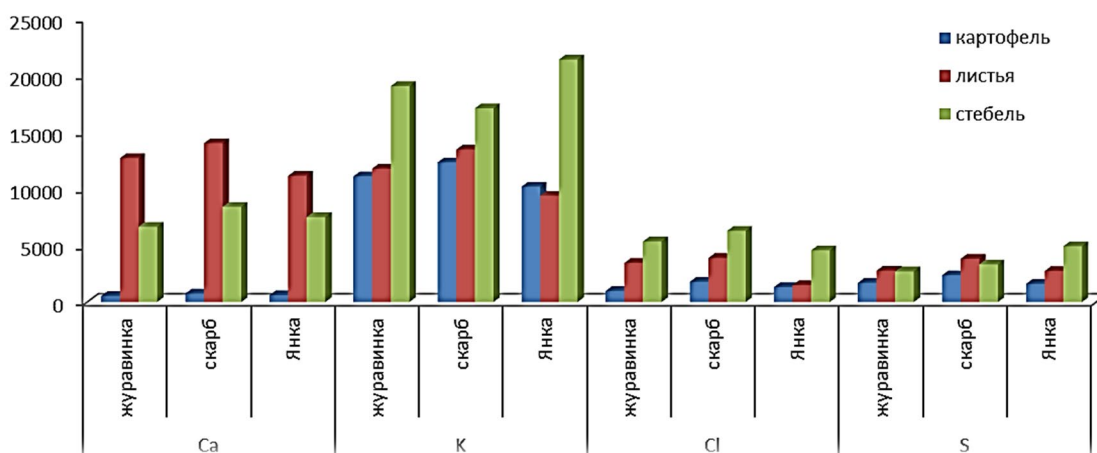
Так же следует отметить, что в исследуемых образцах картофеля был обнаружен тяжелый металл - Pb. На рисунке 2 приведены зависимости концентраций Pb от сорта картофеля («Журавинка», «Янка», «Скарб»), выращенных на различных образцах почв.

Анализ результатов, представленных на рисунке 2 показывает, что концентрации свинца, в клубнях картофеля, исследуемых сортов, находятся в пределах нормы и не превышает ПДК (0,5 мг/кг). По полученным результатам исследования элементного состава системы «почвы - клубней картофеля-надземная часть» методом РФА сформирована база данных и зарегистрирована в виде информационного ресурса «Накопление эссенциальных элементов в различных сортах

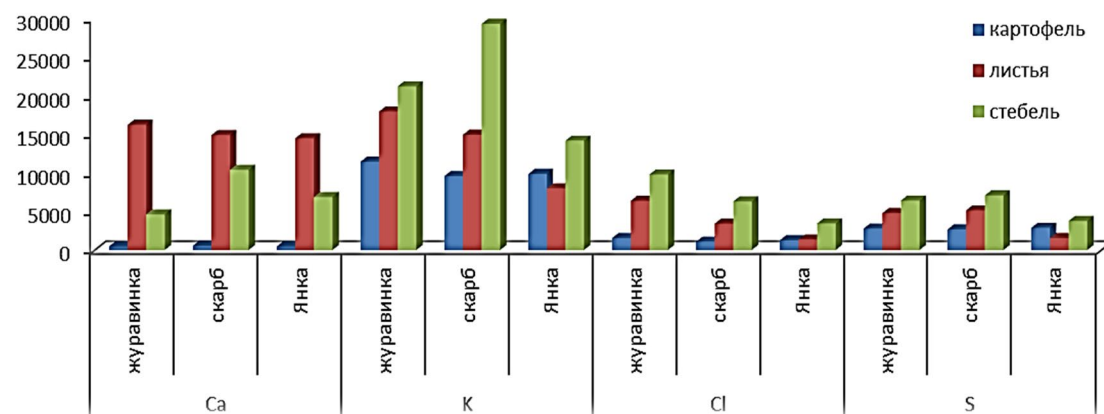
картофеля в зависимости от типа почвы» № 4292023900 от 25.11.2020 г.



А



Б



В

Рисунок 1 – Зависимость концентраций эссенциальнозначимых элементов (Ca, K, Cl, S) от сорта картофеля («Журавинка», «Янка», «Скарб»), выращенного на различных образцах почв: А. «Образец 1»; Б. «Образец 2»; В. «Образец 3»

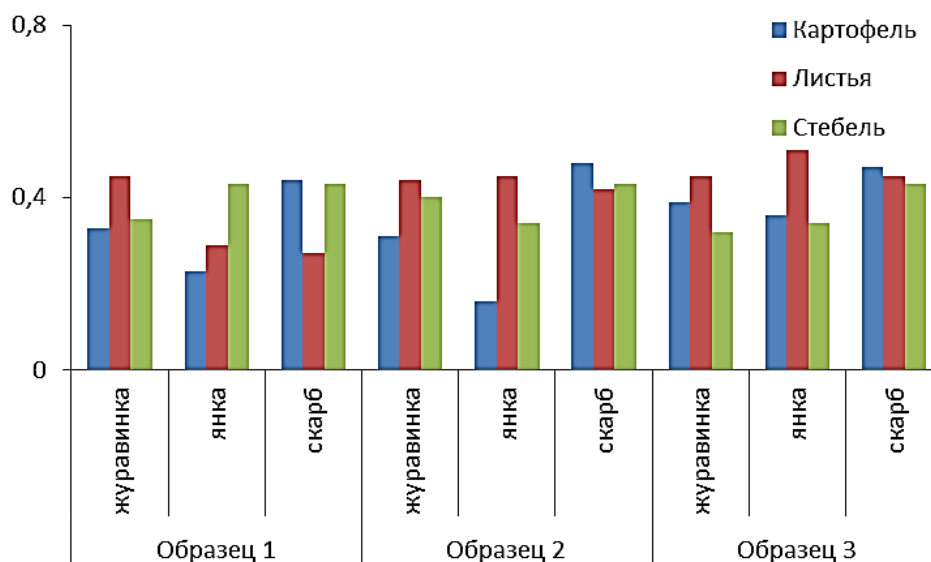


Рисунок 2 - Зависимость концентрации свинца от сорта картофеля («Журавинка», «Янка», «Скарб»), выращенного на различных образцах почв

Литература

1. Ever D., DeuЯer H. Potato antioxidant compounds: Impact of cultivation methods and relevance for diet and health. //Nutrition, well-being and health, ed. J. Bouayed and T. Bohn, 2012. - P. 95-118.
2. Ezekliel R., N. Singh S., Sharma, Kaur A. Beneficial phytochemicals in potato. // Food Research International, 2013. – № 50. – P.487-496.
3. Методика проведения исследований элементного состава почв с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра: МВИ.МН 4092–2011 10.04.11 – Гродно: 2011.

Н. Н. Курьян

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **С. С. Ануфрик**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОЧВ

Почва – это тонкий поверхностный слой земной коры, который сформировался в процессе преобразования горных пород под воздействием климата, растений и животного мира [1].

На территории Беларуси почвы формируются под воздействием подзолистого, дернового и болотного почвообразовательных процес-

сов. Наиболее распространенными типами почв, на территории РБ, являются дерново-подзолистые (занимают около 37 % сельскохозяйственных земель), торфяно-болотные (занимают около 13 % сельскохозяйственных земель) и песчаные (занимают около 11 % сельскохозяйственных земель) [2].

В качестве анализируемых проб были выбраны образцы почв различных типов (Образец №1 – песчаная; Образец №2 – дерново-подзолистая; Образец №3 – торфяно-болотная) неизвестного элементного состава. Исследования типов почв проводили методом РФА, на рентгенофлуоресцентном анализаторе СЕР-01 ElvaX, в соответствии с утвержденной методикой МВИ.МН. 3730-2011. Полученные данные обрабатывались программами МК_RE_06, MO Excel. Результаты исследования количественного элементного состава отобранных образцов почв, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количественное содержание химических элементов в образцах почв (мкг/г)

химический элемент	Образец почвы					
	Образец №1		Образец №2		Образец №3	
	концентрация	Средняя статистическая погрешность	концентрация	Средняя статистическая погрешность	концентрация	Средняя статистическая погрешность
K	16021,48	690,74	13528,15	614,28	12955,10	631,81
Cl	12134,60	2834,00	18641,88	3403,50	11431,32	2800,10
S	10070,24	3316,10	6287,57	2520,60	15164,55	4135,80
Fe	7164,51	89,00	7805,21	89,90	7388,64	91,94
Ca	6985,56	425,92	4075,04	314,81	17898,73	693,50
Ti	2266,25	123,57	1554,20	99,03	1263,21	93,84
Zr	300,58	5,77	256,11	5,15	268,27	5,54
Cr	186,11	32,34	117,73	24,91	96,15	23,63
Ni	41,32	10,71	26,77	8,33	49,35	11,89
Cd	20,91	4,01	20,71	3,88	17,50	3,68
Cu	15,36	3,69	14,65	3,48	25,43	4,82
Zn	13,21	2,09	9,82	1,75	117,03	6,34
Pb	7,78	1,07	4,32	0,77	7,03	1,04

Оценка количественного элементного состава образцов почв осуществлялось путем сравнения ориентировочно допустимых концентраций металлов в различных типах почв (Таблица 2) и предельно

допустимых концентраций подвижных форм химических элементов в почве (Таблица 3) [2].

Таблица 2 – Ориентировочно допустимые концентрации металлов в различных типах почв

№ п/п	Наименование вещества	ОДК, мг/кг почвы		
		Песчаные и супесчаные почвы	Суглинистые и глинистые, кислые почвы (рН КСl < 5,5)	Суглинистые и глинистые, нейтральные и близкие к ним почвы (рН КСl > 5,5)
1	Кадмий	0,5	1,0	2,0
2	Медь	33,0	66,0	132,0
3	Никель	20,0	40,0	80,0
4	Цинк	55,0	110,0	220,0

Таблица 3 – Предельно допустимые концентрации подвижных форм химических элементов в почве

№ п/п	Наименование вещества	ПДК, мг/кг почвы	Класс опасности
1	Кобальт	5,0	2
2	Медь	3,0	2
3	Никель	4,0	1
4	Свинец	6,0	1
5	Цинк	23,0	1
7	Хром	6,0	2

Сравнительный анализ исследуемых образцов почв позволил установить, что данные образцы различны по элементному химическому составу. Так же в результате оценки количественного элементного состава почвы было установлено, что в данных образцах наблюдается избыточное содержание тяжелых металлов (Cd, Cu, Ni, Zn, Pb).

Важнейшим фактором стабилизации и повышения почвенного плодородия является оптимизация гумусного состояния почв. Наиболее часто при оценке гумусного состояния почвы определяют общее содержание в почве веществ гумусовой природы. Результаты исследования почв на содержание гумуса представлены в таблице 4.

Исследования показали, что изучаемые почвенные образцы характеризуются разным уровнем содержания гумуса. Образец почвы №1 характеризуется низким содержанием гумуса (1,44 %), образцы №2 и №3 – средним и высоким содержанием гумуса (2,30 % и 3,73 % соответственно). Следует отметить, что оптимальное содержание гумуса характерно лишь для почвенных образцов №2 и №3.

Таблица 4 – Содержание гумуса в почвенных образцах

Образец почвы	Повторности	Гумус, %	Среднее значение
Образец № 1	1	1,45	1,44
	2	1,37	
	3	1,49	
Образец № 2	1	2,30	2,30
	2	2,23	
	3	2,37	
Образец № 3	1	3,50	3,73
	2	4,10	
	3	3,60	

Проведенные далее стендовые исследования, были направлены на выявление особенностей и закономерностей произрастания сортов картофеля на данных типах почв. В результате было установлено, что урожайность различных сортов картофеля зависит от элементного состава почвы и содержания гумуса в почвенных образцах.

Литература

1. Кузнецов Г. И. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практическое пособие / Г. И. Кузнецов [и др.]; Ред. Г. И. Кузнецов, Н. И. Смян ; Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь. - Минск, 2001. - 432 с.

2. Смян Н. И. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Н. И. Смян [и др.]. - Минск, 2003. - 43 с.

Н. В. Лахмицкий

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **М. П. Самцов**, д-р физ.-мат. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ ДЕТОНАЦИОННОГО СИНТЕЗА ПРИ ОТЖИГЕ НА ВОЗДУХЕ

Введение. Благодаря своим уникальным свойствам, такими как малые размеры (единицы нм), развитая поверхность (200 – 400 м² /г) и возможность её направленной функционализации УДА нашли широкое применение в нанотехнологиях, биологии и медицине [1]. В рабо-

те [2] собраны последние достижения в применении УДА для диагностики заболеваний и адресной доставки лекарств в организм человека. Данное направление считается наиболее перспективным. В мире уже налажено промышленное производство ультрадисперсных алмазов методом детонационного синтеза. Тем не менее, на пути дальнейшего расширения областей практического приложения наноалмазов имеется ряд нерешенных проблем. Поскольку характеристики материала у разных производителей заметно различаются, основная проблема в использовании УДА – унификация технологии очистки исходных порошков и монофункционализации их поверхности. На сегодняшний день уже разработаны различные методы очистки поверхности наноалмазов. К примерам таких методов относятся: отжиг с окислением на воздухе, очистка кислотами, и т.д. Наиболее распространенным методом является отжиг с окислением на воздухе. В научной литературе вне зависимости от характеристик исходного материала указывается, что оптимальный температурный интервал отжига УДА на воздухе составляет 425–450°C при длительности в 5 часов, при этом данные о кинетике окисления наноалмазов, как правило, отсутствуют. Однако, поскольку у разных производителей структура и функциональный состав поверхности УДА отличаются, должны различаться и кинетики окисления наноалмазов. Отсюда следует, что для каждой марки наноалмазов должны быть свои оптимальные параметры отжига.

Методика эксперимента. В качестве исходного материала использовался порошок марки УДА-ГО-ВК [3]. Материал хранился в виде водной суспензии и был выпарен и высушен перед отжигом при температуре. Отжиг производился в муфельной печи СНОЛ1,6 (Литва) в температурном интервале 400–475°C. Длительность обработки варьировалась от 10 минут до 15 часов. Температура сушки составляла 170 °C. Потеря массы УДА определялись методом термogrавиметрического анализа. Изменения функционального состава поверхности наноалмазов определялся методом ИК-спектроскопии. Спектры ИК поглощения регистрировались с помощью Фурье-спектрометра Vertex 70 (Bruker, Германия). Аппроксимация уравнений и нахождение коэффициентов производилась нелинейным методом наименьших квадратов.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлены экспериментальные кинетики окисления наноалмазов при различных температурах. Видно, что приведенные кинетики можно аппроксимировать линейной зависимостью.

Для описания процесса окисления наноалмазов наиболее общим является уравнение Ерофеева-Колмогорова (1) [4]. В нем предполагается, что в процессе реакции нет каких-либо специфических механизмов, влияющих на вид кинетики окисления.

$$\alpha = 1 - e^{-kt^n} \quad (1)$$

где α – доля прореагировавшего вещества, k – константа скорости реакции, n – порядок реакции. Константа скорости реакции зависит от температуры. Эта зависимость описывается уравнением Аррениуса (2).

$$k = Ae^{-\frac{E}{RT}} \quad (2)$$

где A – пред экспоненциальный фактор, не зависящий от температуры, E – энергия активации вещества, T – температура реакции, R – универсальная газовая постоянная. В случае, когда константа скорости реакции мала, а порядок реакции равен 1, уравнение (1) сводится к линейному виду. По-видимому, в эксперименте, результаты которого приведены на рисунке 1, реализуется именно этот случай.

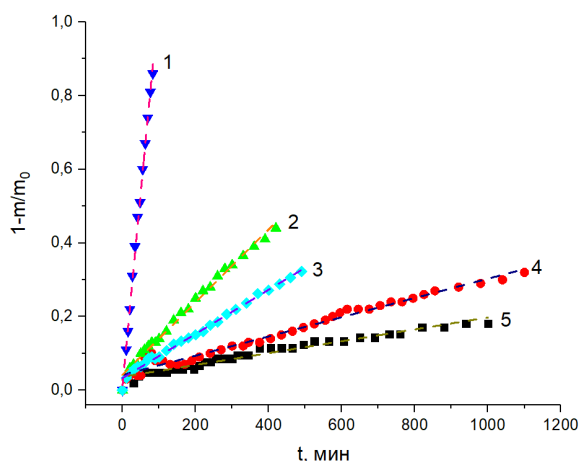


Рисунок 1 – Характерные кинетики окисления УДА при различных температурах отжига с температурой сушки 170°C. 1 – T=475°C, 2 – T= 450°C, 3 – T=437°C, 4 – T=425°C, 5 – T=400°C

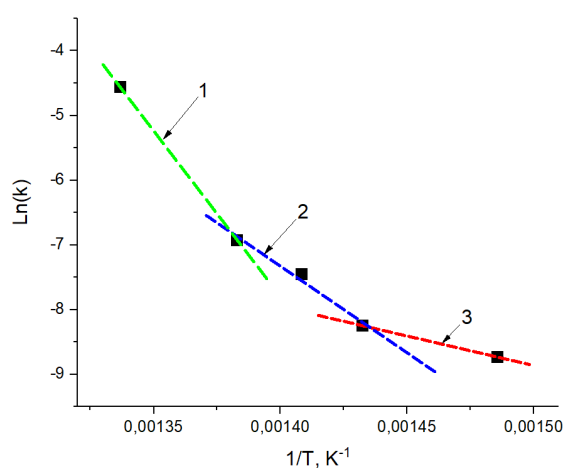


Рисунок 2 – Зависимость логарифма скорости реакции от обратной температуры. 1, 2, 3 – аппроксимирующие прямые с различной энергией активации

Из уравнений (1) и (2) можно получить данные о таком важном параметре как энергия активации реакции. Энергию активации полу-

чают из зависимости $\ln(k)$ от $1/T$, в которой угловой коэффициент – E/R . Полученная на основании экспериментальных данных, представленных на рисунке 1, зависимость $\ln(k)$ от $1/T$ приведена на рисунке 2. Видно, что полученная зависимость может быть разделена на 3 участка с различными углами наклона. Данный факт свидетельствует о том, что скорость окисления наноалмазов определяется тремя различными процессами, каждый из которых преобладает в своем температурном интервале. Согласно данным, приведенным на рисунке 2, в температурном интервале 400–425 °С энергия активации окисления УДА составляет 75,7 кДж/моль, в температурном интервале 425–450 °С она равна 222,6 кДж/моль, а в температурном интервале 450–475 °С – 425,2 кДж/моль.

В других исследованиях процесс окисления также разделяют на несколько стадий с различными энергиями активации [5, 6]. Авторы [5] выделяют 2 стадии с энергиями активации 142 и 189 кДж/моль, которые связывают с окислением поверхностного неалмазного углерода и алмазного ядра, соответственно. В [6] показано, что процесс окисления УДА сильно зависит от технологии предварительной очистки наноалмазов. В целом, авторы выделяют 3 процесса с энергиями активации 88,5, 190,5 и 223,0 кДж/моль. По мнению авторов, первый и последний процессы соответствуют окислению поверхностного неалмазного углерода и алмазного ядра. Процесс с энергией активации 190,5 кДж/моль может соответствовать каталитическому окислению алмазного ядра за счет присутствия в УДА технологической примеси железа. Полученные в настоящей работе значения энергии активации 75,7 и 222,6 кДж/моль хорошо согласуются с результатами [6], что позволяет говорить о схожей структуре и химическом составе поверхности исследованных наноалмазов. Вместе с тем, зафиксированная в температурном интервале 450–475 °С энергия активации 425,2 кДж/моль значительно превосходит все имеющиеся в литературе значения. Это значение близко к величине энергии межатомных связей, которая для алмаза составляет 356,7 кДж/моль. Таким образом, можно предположить, что при высоких температурах отжига потеря массы УДА определяется процессом деструкции наноалмазов. Кроме того, необходимо учитывать, что поверхность УДА покрыта слоем преимущественно кислородсодержащих функциональных групп [1, 2], которые образовались как на стадии производства, так и на начальном этапе окисления наноалмазов. По данным [7], активное термическое разложение этих групп начинается при

$T \geq 450$ °С. Этот процесс может ингибировать окисление поверхности наноалмазов.

Заключение. Из приведенных выше экспериментальных данных следует, что кинетика потери массы УДА при отжиге на воздухе сложна и определяется совокупностью нескольких одновременно протекающих процессов. В температурном интервале 400–425 °С определяющим, скорее всего, является процесс окисления поверхностного слоя графитоподобного углерода. В температурном интервале 425–450 °С доминирует процесс окисления алмазного ядра. При $T \geq 450$ °С потеря массы наноалмазов, по-видимому, определяется разрывом поверхностных С-С связей. Нельзя полностью исключать и влияния на кинетику окисления наноалмазов поверхностных кислородсодержащих функциональных групп, поскольку в исследованном температурном интервале может существенно изменяться их термическая стабильность. Для окончательного ответа на эти вопросы необходимы детальные исследования влияния параметров отжига (температура и длительность) на воздухе на структуру и функциональный состав поверхности наноалмазов.

Литература

1. В. Ю. Долматов Детонационные наноалмазы: синтез, строение, свойства и применение // Успехи химии. – №76 (4). – 2007. – с 386-395.
2. K. Turcheniuk, Vadym N Mochalin Biomedical applications of nanodiamonds (Review) // IOP Publishing. – 2017.
3. НП ЗАО «СИНТА» производство наноалмазов наноуглеродных и наноалмазных добавок [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://sinta.biz/nanoalmazy/>. – Дата доступа 13.03.2021.
4. Б. В. Ерофеев Обобщенное уравнение химической кинетики и его применение к реакциям с участием твердых веществ // Доклады Академии Наук СССР. – 1946. – ТомLII, №6.
5. V. Pichot. An efficient purification method for detonation nanodiamonds // Diamond and Related Materials. – 2008. – Vol. 17. – P. 13–22.
6. Sebastian Osswald, Yury Gogotsi In Situ Raman Spectroscopy of Oxidation of Carbon Nanomaterials // DOI 10.1007/978-3-642-20620-7_12, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
7. А. П. Кощев. Термодесорбционная масс-спектрометрия в свете решения проблемы паспортизации и унификации поверхностных

свойств детонационных наноалмазов // Рос. хим. ж. – Т. LII, № 5. – 2008. – С. 88-96.

Н. В. Левончук

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

СОЗДАНИЕ СИСТЕМ ТЕСТИРОВАНИЯ

В наше время тестирование занимают очень важную роль в нашей жизни. Сейчас речь идёт не только о студентах, которые проходят централизованное тестирование (ЦТ), сдают экзамены по системе тестов, не только о школьниках, которые сдают экзамены и проходят диагностическое тестирование (ДТ). Зачастую тестирование проходят люди, которые уже давно работают (сдача теста на разряд). Однако в данный момент большинство из этих тестов проходит на бумаге. В нашу эру развитых технологий это неправильно.

Большинство из таких тестов проверяются человеком, а результатов приходится ждать от 2х дней до нескольких недель. Не будем забывать и о так называемом человеческом факторе. Здесь нам на помощь приходят компьютеры. Существует ряд специальных программ, которые позволяют проводить тестирование сразу огромного количества тестируемых, а результаты выводятся точно и в считанные секунды на экран. Такими программами являются: easyQuizzzy, INDIGO, SunRay TestOfficePro, ADTester, UniTest System, Конструктор тестов, Айрен, TestMaker и др. Все эти программы обладают достаточным функционалом, для создания различных тестов, под различные нужды. Однако это всё, на что они способны.

Рассмотрим такую программу как ПДД. Здесь есть различные тесты, на знание правил дорожного движения, но отличительной особенностью данной программы является наличие конспектов и справочной информации, для непосредственной подготовки к тесту. Но для того, чтобы всегда быть в курсе самых последних изменений в этих правилах – нужно покупать новую версию программы. Это довольно неудобно, ведь такие программы как AdobePS, MSWord и т. д. мы приобретаем 1 раз, а затем, с выходом новой версии – обновляем. Так же можно было добавить в данную программу расписание занятий в автошколе, пользовательский чат, электронный дневник с отметками и пропусками занятий, видео-галерею с видеокурсами во-

ждения. В этом случае это будет полноценная программа по управлению автошколой. Для таких программ уже будет мало вышеперечисленных систем. На данный момент существует множество IDE для разработки подобных программ и множество языков программирования, для работы в этих IDE (Integrated development environment). Среди программ существуют такие, как: Microsoft Visual Studio, NetBeans, PyCharm, IntelliJ IDEA, Eclipse, Code::Blocks, Aptana Studio 3, Komodo, RubyMine, Xcode и др. Однако, чтобы создавать программы, описанные выше требуются серьёзные знания языков программирования. Поэтому для тех, кто не очень силен в программировании, подойдёт Unity3D. Это среда разработки игр и программ, обладающая широким функционалом и рядом плюсов:

- интеграция локальных и онлайн ресурсов;
- поддержка всех видов платформ (Windows, IOS, Android, WebOS, TV и т.д.);
- интуитивно понятный интерфейс;
- возможность графического программирования без знания языка;
- удобное расположение объектов на экране;
- динамическое разрешение экрана.

В заключение: мы обладаем всеми возможностями для упрощения жизни. Хоть Unity3D является больше игровой средой разработки, но ничто не мешает использовать её для создания программ тестирования.

Р. А. Линько, Н. В. Медведева
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЩЕЛОЧНОГО ЧИСЛА СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ MOTUL SAE 5W30, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Щелочное число является важным эксплуатационным показателем моторного масла и указывает на то, как долго масло может нейтрализовать вредные для него кислоты, которые вызывают коррозионный износ деталей двигателя и усиливают процессы образования различных углеродистых отложений. Для нейтрализации вредных кислот используется гидроксид калия – КОН. Щелочное число измеряется в

(мг·КОН/г). Физически единица измерения щелочного числа означает, что количество гидроксида эквивалентно по своему действию пакету присадок. Чем больше щелочное число моторного масла, тем более длительный срок моторное масло сможет нейтрализовать действие кислот, образующихся при окислении масла и сгорании топлива [1–3].

В ходе выполнения настоящей работы выполнены исследования изменения щелочного числа синтетического моторного масла Motul марки SAE 5W30 X-Clean в зависимости от величины пробега транспортного средства. Методика проведения исследований по отбору образцов изложена в работе [4]. Щелочное число определяли с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 30050–93 «Нефтепродукты. Общее щелочное число. Метод потенциометрического титрования хлорной кислотой» [5]. Для определения щелочного числа моторного масла использовали прибор – иономер модели И-160МИ. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерений анализируемого раствора. Работа преобразователя основана на преобразовании сопротивления термодатчика и электродвижущей силы электродной системы соответственно в значение температуры раствора и значения показателя концентрации ионов в данном растворе. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные по изменению щелочного числа моторного масла марки Motul 5W30 X-Clean, показывают, что исследуемый показатель с увеличением пробега автомобиля до 15 тыс. км снижается.

Показано (рисунок 1), что значение щелочного числа моторного масла марки Motul 5W30 X-Clean при пробеге 15 тыс. км уменьшилось на величину равную 3,4 мг·КОН/г.

Установлено, что при пробеге транспортным средством 10 тыс. км щелочное число от первоначального значения уменьшилось на 18 %.

Также можно видеть (рисунок 1), что наиболее интенсивное снижение значения щелочного числа моторного масла Motul 5W30 X-Clean происходит после пробега автомобилем, оборудованным бензиновым двигателем внутреннего сгорания, равного 10 тыс. км. Щелочное число при пробеге транспортным средством в интервале от 10 до 15 тыс. км снижается со значения 8,3 мг·КОН/г до 6,8 мг·КОН/г, что составляет почти 15 % от первоначального значения, для данного моторного масла.

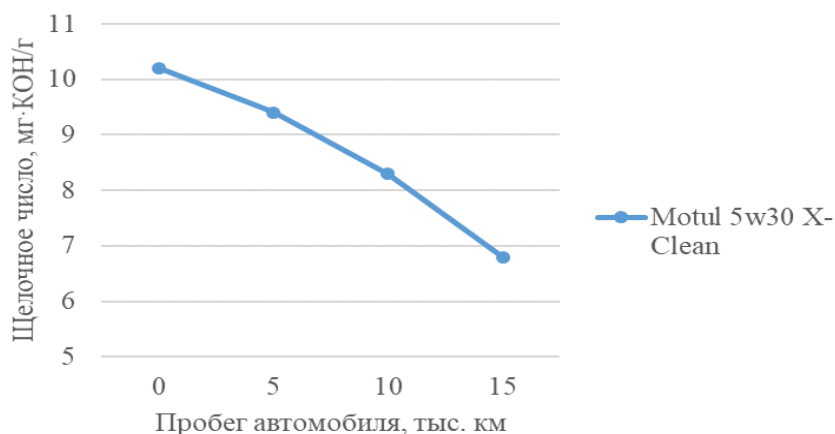


Рисунок 1 – Результаты исследования щелочного числа синтетического моторного масла марки Motul 5W30 X-Clean при увеличении величины пробега транспортного средства

В результате выполненных исследований установлено, что при пробеге транспортным средством до рекомендуемого срока замены моторного масла (15 тыс. км) значение щелочного числа в сравнении с исходным значением уменьшилось на 33 %, что свидетельствует о необходимости замены данного моторного масла, ввиду потери им эксплуатационного показателя (щелочное число).

При несвоевременной замене моторного масла ввиду низкого значения щелочного числа моторного масла, некоторое число непрореагировавших соединений будет оседать в виде шлама и сажи на частях системы смазки, засоряя масляные каналы и ухудшая циркуляцию. Данные процессы в последствие, могут привести к «масляному голоданию» распределительного вала, и как следствие, износу его опорных шеек, а также к засорению масляных каналов в коленчатом валу, что приведет к преждевременному срабатыванию вкладышей.

Литература

1. Шпак, Е. Д. Физико-химические показатели качества моторного масла / Е. Д. Шпак, В. И. Митрофанова // Вестник АмГУ. – 2019. – № 85. – С.103–106.
2. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебн. пособие / В. В. Остриков [и др.]. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 304 с.
3. Liehpao, O. F. Ashless Antiwear and Extreme-Pressure Additives / O. F. Liehpao // Lubricant additives: chemistry and applications / ed. L. R. Rudnick. – New York, 2009. – P. 3, Ch. 8. – P. 214–257.

4. Линько, Р. А. Исследование плотности синтетического моторного масла Motul, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / Р. А. Линько, О. К. Ермак // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 123–125.

5. Нефтепродукты. Общее щелочное число. Метод потенциометрического титрования хлорной кислотой: ГОСТ 30050–93; введ. Респ. Беларусь 01.01.96. – Минск : Белстандарт, 1995. – 14 с.

Р. А. Линько

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ MOTUL SAE 5W30

Кинематическую вязкость считают одним из основных эксплуатационных показателей качества моторных масел. Кинематическая вязкость представляет собой отношение динамической вязкости к плотности моторного масла при той же температуре. Единицей измерения вязкости служит стокс (Ст). Вязкость моторного масла определяет: толщину масляной пленки, образующуюся на поверхностях трения в процессе работы двигателя; степень износа деталей двигателя; надежность смазывания при высоких температурах; потери на трение и расход топлива [1].

В ходе выполнения настоящей работы выполнены исследования изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла Motul марки SAE 5W30 при температуре 40 и 100 °С в зависимости от величины пробега транспортного средства. Методика проведения исследований изложена в работе [2]. Кинематическую вязкость определяли с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 33–2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» [3]. Результаты исследований представлены на рисунках 1 и 2.

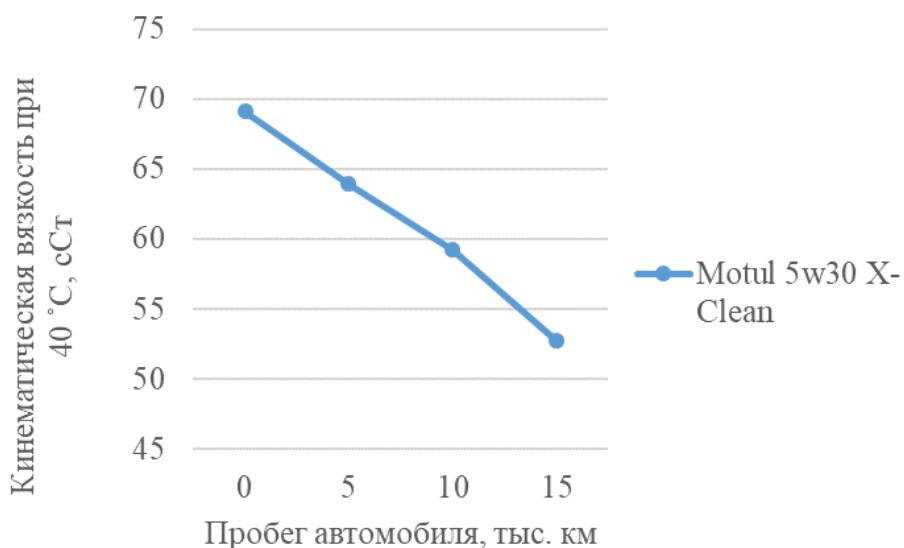


Рисунок 1 – Результаты исследования кинематической вязкости моторного масла марки Motul 5w30 X-Clean при 40 °C при увеличении величины пробега транспортного средства

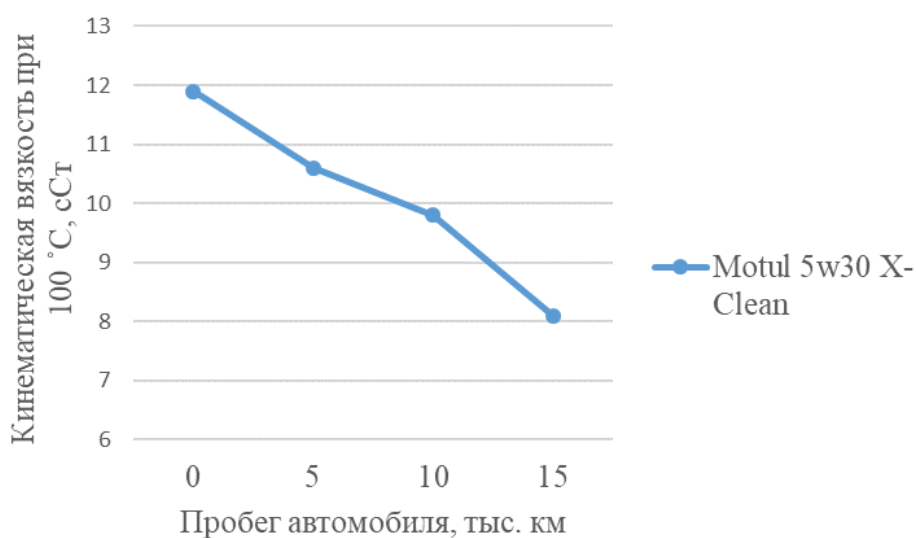


Рисунок 2 – Результаты исследования кинематической вязкости моторного масла марки Motul 5w30 X-Clean при 100 °C при увеличении величины пробега транспортного средства

Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные показывают, что исследуемый показатель с увеличением величины пробега транспортного средства до 15 тыс. км снижается. Установлено, что снижение кинематической вязкости, измеренной при 40 °C, при пробеге транспортным средством 15 тыс. км при использовании моторного масла марки Motul 5w30 X-Clean составило значение 16,4 cSt.

Установлено, что при пробеге транспортным средством 10 тыс. км кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С уменьшилась на 14,25 %. Показано (рисунок 1), что наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости при 40 °С происходит при пробеге транспортным средством более 10 тыс. км.

Кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С при пробеге транспортным средством значения от 10 до 15 тыс. км при работе двигателя на моторном масле марки Motul 5w30 X-Clean снижается от 59,25 сСт до 52,7 сСт. Можно видеть (рисунок 1), что в результате пробега транспортным средством до рекомендуемого срока замены масла (15 тыс. км) кинематическая вязкость при 40 °С для моторного масла марки Motul 5w30 X-Clean, в сравнении с первоначальным значением уменьшилась на 24 %.

Видно (рисунок 2), что максимальное изменение величины кинематической вязкости, измеренной при 100 °С, наблюдается после 10 тыс. км пробега транспортным средством и составляет значение 1,73 сСт. Установлено, что при пробеге транспортным средством 15 тыс. км значение кинематической вязкости, измеренной при 100 °С, в сравнении с первоначальным значением уменьшилось на 32 %.

Причинами снижения кинематической вязкости могут быть: неполное сгорание топливно-воздушной смеси, а также утечка из системы питания в моторное масло топлива (бензин). В результате кинематическая вязкость масла может заметно снижаться. Кроме того, под воздействием легких фракций топлива, моторное масло будет окисляться значительно быстрее, и как следствие, образующиеся при этом органические кислоты и отложения значительно ухудшают его качество, снижая кинематическую вязкость. В результате возможно повреждение подшипников, на деталях двигателя интенсивнее образуются нагар и лаковые отложения, что в свою очередь способствует увеличению количества механических примесей в моторном масле.

Литература

1. Пивоварчик, А. А. Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2019 . – Т.9. – № 1. – С. 78–87.

2. Линько, Р. А. Исследование плотности синтетического моторного масла Motul, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / Р. А. Линько, О. К. Ермак // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 123–125.

3. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости: ГОСТ 33–2000. – Переизд. февраль 2012. – Взамен ГОСТ 33–82; введ. Респ. Беларусь 01.01.02. – Минск: Госстандарт, 2012. – 19 с.

Д. А. Лысенко

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Е. В. Иноземцева**, ассистент

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ НИЗКОПЛАВКИХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

В настоящее время одним из важных направлений является разработка новых композиционных материалов, сочетающих высокую износостойчивость с химической стойкостью при эксплуатации во влажных агрессивных средах. Для этих целей представляется перспективным использовать в качестве основы композиционных материалов низкоплавкие полиэфирные (ПЭФ), крупнотоннажно производимые в Республике Беларусь.

Следует отметить, что низкоплавкие полиэфирные по ряду показателей нуждаются в модифицировании свойств. Наиболее общим недостатком этой группы материалов является повышенная хрупкость получаемых из них пленок, покрытий, оболочек. Формируемые пленки часто содержат газообразные включения, которые ухудшают свойства полимеров, не позволяя получать тонкие слои и покрытия высокого качества. Прочность адгезионных соединений низкоплавких полиэфиров с твердыми поверхностями в ряде случаев оказывается недостаточной для реализации условий совместной работы полимеров с субстратами. Эти и другие недостатки исходных полимеров могут быть устранены за счет модифицирования свойств путем рационального сочетания различных функциональных компонентов в композиционном материале. Подбор компонентов и их сочетание базируется

на предварительных оценках действия каждого из них на свойства полимеров с учетом показателей качества материала и изделий в условиях эксплуатации.

Целью настоящей работы является оптимизация состава композиционного материала по критерию реологических характеристик.

Для опытно-промышленной проверки композиционных материалов в процессах получения износостойчивых покрытий и облицовок металлоизделий предложен ряд рецептур. Основой композиционных материалов являлся низкоплавкий полиэфир с температурой плавления 165°C. В качестве модифицирующих добавок были использованы полиэтилен низкого давления (ПЭНД) и полиэтилен высокого давления (ПЭВД), слюда, фосфогипс, двуокись титана, тальк, графит, сажа, пигменты фталоцианиновые.

Композиционные составы получали механическим смешением компонентов в лопастном смесителе. Оценку реологических свойств композиций на основе низкоплавкого ПЭФ оценивали по показателю текучести расплава (ПТР) на приборе типа ИИРТ-2 (измеритель индекса расплава термопластов) при нагрузке 2,16 в интервале температур 160–210°C по стандартной методике.

Определены ПТР расплава композиций в широком диапазоне температур и оценена эффективность действия различных модифицирующих добавок на изменения реологических свойств низкоплавкого полиэфира.

Анализ показал, что модифицирование порошка ПЭТ тонкодисперсными твердыми добавками позволяет увеличить текучесть расплава, что приводит к увеличению адгезионной прочности на 20-60%.

Наиболее приемлемыми реологическими свойствами для получения износостойчивых покрытий обладают композиции с содержанием ПЭНД, талька, двуокиси титана и пигмента фталоцианинового. Оптимальное содержание полиэтилена, при котором реализуется технологическая совместимость полимеров, находится в пределах 10–15 мас. %.

Экспериментальное исследование тепловых процессов, протекающих в порошках ПЭФ при нагреве, показало, что при создании композиционных материалов и покрытий из смесей полимеров и дисперсных модификаторов возможно взаимодействие компонентов, приводящее к существенному изменению свойств исходных составляющих. Степень взаимодействия компонентов друг с другом и окружающей средой можно регулировать подбором модифицирующих добавок. Рациональное сочетание компонентов различной при-

роды позволяют получать на основе ПЭФ материалы и покрытия с высоким уровнем свойств. По уровню свойств покрытия из ПЭФ не уступают широко распространенным покрытиям на основе порошковых полиэфирных красок терморезистивного типа, а в ряде случаев превосходят их по технологичности, поскольку требуют меньших времен формирования при одинаковых температурах.

Литература

1. Белый В. А., Довгяло В. А., Юркевич О. Р. Полимерные покрытия. Минск: Наука и техника, 1976. – 416 с.
2. Чан Дей Хан Реология в процессах переработки полимеров / Под ред. Г.В. Виноградова и М.Л. Фридмана //М.: Химия. – 1979. – 368 с.
3. Энциклопедия полимеров / М.: Советская энциклопедия, – т.1, 1972. – 1224 с.
4. Калинин Э. Л., Саковцева М. Б. Свойства и переработка термопластов / Ленинград: Химия. – 1983. – 288 с.
5. Теплофизические и реологические характеристики полимеров / Под ред. Ю. С. Липатова. — Киев: Наукова думка. – 1977. – 244 с.
6. Иноземцева Е. В., Пашинская В. А., Юркевич О. Р. Пленкообразующие свойства расплавов низкоплавких термопластичных полиэфиров // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2009. – Т. 14, № 4. – С.43-47.
7. Довгяло В. А., Юркевич О. Р. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы. Минск: Наука и техника, 1992. – 256 с.

Н. О. Магомедов

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Н. В. Иноземцева**, канд. техн. наук, доцент

АНАЛИЗ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ОТ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ

Процесс нанесения на металлическую основу металлического слоя покрытия путем совместной пластической деформации основы и плакирующего материала является достаточно перспективным вслед-

ствие высокой производительности и малой энергоемкости. Проблемы надежности соединения между слоем покрытия и основой достаточно актуальны, так как именно качество этого соединения во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики получаемого материала. Качество соединения между плакирующим и плакируемым материалом в значительной степени зависит от температуры в процессе их соединения пластической деформацией. Поэтому анализ величины тепловыделения от пластической деформации в зоне соединения при плакировании требует специального изучения. Это особенно актуально в случаях осуществления плакирования без дополнительного нагрева обрабатываемых материалов.

Следует отметить, что энергия, расходуемая на процесс плакирования и передаваемая от рабочих инструментов на совместно пластически деформируемые металлы, т.е., расходуемая на пластическую деформацию, перераспределяется на несколько энергий: на фрикционное тепловыделение, деформационное тепловыделение и на увеличение энергии упругой деформации.

Таким образом, часть любой механической энергии деформации превращается в теплоту. И это превращение по теории К. А. Кочергина [1] физически определяется сдвигами относительно друг друга элементарных кристаллов, зерен (кристаллитов), макроскопических объемов металла. Согласно его теории, сдвиг металла в целом подчиняется макромасштабным измерениям и поэтому может оцениваться величиной температуры

$$T_{сдв} = \frac{1}{2 \cdot \gamma \cdot c \cdot t_{сдв} / (\eta \cdot \varepsilon^2) + 1/T_{пл}}; \quad (1)$$

где $t_{сдв}$ – время межзеренного сдвига; γc – энтальпия металла; ε – относительная деформация (0,5–0,7); η – динамическая вязкость; $\eta = \eta_0 \left(1 - \frac{T}{T_{пл}}\right)$; где η_0 – удельная динамическая вязкость.

Эта формула используется, если речь идет о некоторых объемах металла или о контактных плоскостях, где нагретые слои по толщине много больше, чем размеры элементарных кристаллов. Если же рассматривается чисто плоскостной сдвиг, то

$$T_{\Delta} = \frac{1}{6 \cdot k \cdot n \cdot t_{сдв} / \eta_c + (1/T_{пл})}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана; n – число атомов в 1см^3 .

Эта формула позволяет оценить значение той мгновенной вспышки температуры в плоскости контакта, при которой и происходит схватывание металлов. Недостатками формул (1)–(2) является то, что величина температуры в контакте поставлена в зависимости от времени межзеренного сдвига, что затрудняет практическое использование этих формул. В данных формулах учитывается только межзеренный сдвиг, что неправомерно, т. к. присутствует и внутризеренный сдвиг, роль которого более существенна в механизме пластической деформации металлов.

Пластическая деформация металла происходит в результате размножения и движения дислокаций. То есть при соединении материалов в твердой фазе на контактную поверхность выходят дислокации. В этих местах на контактных поверхностях возникают активные центры. Соединяемые металлы при плакировании испытывают пластическую деформацию, которая сопровождается выделением теплоты. Величина подогрева зависит от интенсивности пластической деформации. Тогда согласно теории Ю.Л.Красулина [2] и теории теплопроводности температура нагрева в зоне контакта разнородных материалов определяется:

$$T = \frac{2 \cdot q \sqrt{a_1 \cdot a_2 \cdot t}}{\lambda_1 \sqrt{a_2} + \lambda_2 \sqrt{a_1}} ; \quad q = \rho_g \cdot q_g, \text{ Дж/м}^2\text{с} \quad (3)$$

где ρ_g – плотность дислокаций на поверхности металлической основы в зоне соединения с порошковым слоем, м^{-2} ; q_g – тепловая мощность элементарного источника тепла в месте выхода дислокации к поверхности в зоне соединения, с учетом времени выделения этой мощности, равного порядка 10^{-11}с ., $q_g = 4.56 \cdot 10^{-9} \text{ Дж/с}$,

a_1 – температуропроводность металла плакируемой основы, $\text{м}^2/\text{с}$;

a_2 – температуропроводность металла плакирующего слоя, $\text{м}^2/\text{с}$;

λ_1 – теплопроводность металла плакируемой основы, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$;

λ_2 – теплопроводность металла плакирующего слоя, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$;

t – время процесса совместного пластического деформирования металлической основы и порошка плакирующего покрытия, с.

Недостатками этой зависимости является то, что отсутствует взаимосвязь величины температуры на контакте от скорости деформации, что также затрудняет использование этой зависимости.

Для устранения этого недостатка предложено ввести зависимость плотности дислокации от скорости деформирования [3]:

$$\rho_g = \frac{v_n \cdot \gamma_{\max} \cdot (\gamma_{\max} + 2) \cdot 10^6}{2 \cdot l \cdot (\gamma_{\max} + 1) \cdot b \cdot v_{зв} \cdot \exp\left(-\frac{A}{\tau \cdot T}\right)}, \text{М}^{-2} \quad (4)$$

где b – вектор Бюргера, м;

v_n – скорость процесса деформирования, м/с;

l – длина очага деформации, м;

γ_{\max} – максимальная угловая деформация на поверхности металлической основы в зоне соединения, $\gamma_{\max} = \sqrt{3} \cdot \varepsilon_{\max}$,

где ε_{\max} – максимальная главная деформация;

$v_{зв}$ – скорость звука в материале, где движутся дислокации, для металла $v_{зв} = 5 \cdot 10^3$ м/с;

τ – действующее касательное напряжение, в зоне образования соединения, МПа;

T – абсолютная температура в очаге деформации, К;

A – константа материала, $\text{МПа} \cdot \text{К}$.

Величина τ определяется для конкретной схемы деформации.

Анализ зависимости (4) совместно с (3) показывает, что при постоянных физико-механических характеристиках обрабатываемых материалов величина нагрева в зоне соединения при плакировании тел тем больше, чем выше скорость деформирования, сдвиговая деформация и время процесса деформирования. Это подтвердилось проведением экспериментальных исследований по плакированию обратным выдавливанием [3], а также может качественно соответствовать практическому опыту.

Литература

1. Кочергин, К. А. Контактная сварка/ К. А. Кочергин – Л.: Машиностроение, 1987.
2. Красулин, Ю. Л. Микросварка давлением / Ю. Л. Красулин, Г. В. Назаров. – М.: Металлургия, 1976. – 160 с.
3. Селивончик, Н. В. Разработка критерия получения соединения покрытия с основой при плакировании обратным выдавливанием/ Н. В. Селивончик, Ю. Л. Бобарикин // Материалы, технологии, инструменты. – 2002. т.7. – №3. – С.33–37.

Е. А. Малащенко
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. В. Журов**, инженер-наладчик

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В ТОРГОВОМ ЦЕНТРЕ

Строительство ТРЦ Catapulta ведется в массиве активно развивающегося микрорайон «Молодежный» города Мозыря. Торгово-развлекательный центр Catapulta в Мозыре представит новый формат комфортного семейного шопинга и развлечений.

Архитектурная концепция нового ТРЦ Catapulta разработана при участии украинских специалистов, а особенностью 2 этажа станут широкий атриум и панорамные витражи территории фудкорта.

Объект представляет собой 2-х этажное здание торгового центра с прилегающей территорией и парковками автотранспорта.

Стены выполнены из стекла, кирпича и сэндвич-панелей, перегородки ж/бетонные.



Рисунок 1 – Главный вид 3D модели ТЦ

На первом этаже, по традиции, будет расположен продуктовый супермаркет, а также магазины быстрых покупок (аптека, салоны связи, ювелирные бутики, товары для дома, красоты, здоровья и пр.). Fashion-галерея и фудкорт разместятся на втором этаже.

Здесь будут представлены магазины ведущих fashion-операторов одежды, обуви и аксессуаров. Фудкорт заполнит комбинация современных кафе и ресторанов с разнообразной кухней.



Рисунок 2 – 3D модели ТЦ. Вид слева

Для покупателей второго этажа, помимо лестниц, предусмотрены лифт и эскалаторы.

Кроме прочего, для нового торгово-развлекательного центра разработана удобная навигация, подъездные пути, бесплатный паркинг, остановки общественного транспорта.



Рисунок 3 – 3D модели ТЦ. Вид сверху

Двухуровневый многофункциональный комплекс с современным дизайном и концепцией, уникальными форматами магазинов, фуд-кортами на любой вкус.

Основные технические решения

Система ВН построена на базе 64-ти канального видеорежистратора RVi-IPN64/8-4K V.2 установленного в помещении комнаты охраны расположенной на 1-м этаже здания и 58-ми IP-видеокамер RVI.

1. Проектом предусматривается установка следующего оборудования системы видеонаблюдения:

- 52-х портовый сетевой коммутатор DGS-1210-52MP для возможности подключения и запитки до 48 IP-видеокамер.
- 28-х портовый сетевой коммутатор DGS-1210-28MP для возможности подключения и запитки до 24 IP-видеокамер.
- 8-ми портовые сетевые коммутаторы DIS-200G-12PS для возможности подключения и запитки до 8 IP-видеокамер.
- 10-ти портовый сетевой коммутатор DGS-1210-10/ME – используется для агрегации физических соединений в рамках центрального коммутационного.
- 64-х канальный видеорежистратор DHI-NVR5864. Видеорежистратор имеет два гигабитных выхода для подключения в локальную сеть. Данный сетевой видеорежистратор выбран исходя из возможности установки большого количества жестких дисков.
- миниатюрные купольные IP-видеокамеры RVi-1NCD4030 с объективами F=2,8мм, RVi-1NCD4033 с вариофокальными объективами F=2,8-12мм, ИК-подсветкой до 30м. устанавливаются внутри здания.
- Цилиндрические IP-видеокамеры RVi-1NCT4033 с вариофокальными объективами F=2.8-12мм, устанавливаются на внешних стенах здания торгового центра.

В помещении поста охраны на 1 этаже устанавливается телекоммуникационный шкаф (ТШ1).

Шкаф телекоммуникационный напольный (ТШ1) представляет собой 19"-й шкаф для телекоммуникационного оборудования высотой 33U с внутренними размерами 600x800. Стеклопанная передняя дверь позволяет наблюдать за оборудованием не открывая шкаф.

В коридорах 1-го и 2-го этажа на уровне 2.200 от пола устанавливаются телекоммуникационные шкафы (ТШ2, ТШ3).

Шкафы телекоммуникационные настенные (ТШ2, ТШ3) представляет собой 10"-вые шкафы для телекоммуникационного оборудования высотой 8U.

2. Сигналы от камер №1-59 системы видеонаблюдения обрабатываются видеорежистратором.

3. Удаленные рабочие места могут располагаться на любом существующем ПК при условии полученных прав доступа и установки бесплатного дополнительного ПО.

4. Мониторы располагаются на удобных для обозрения оператором местах. Так же для акустического информирования дежурного о событиях в системе, на посту наблюдения устанавливаются мультимедийные колонки.

Видеосервер, управляемый в оперативном режиме, используя формат сжатия H.265, IP Onvif видеокамера занимает трафик размера – 4,54 Мбит*с передавая изображения хорошего качества с полной скоростью передачи кадров. Для расчета величины архива используем максимальную скорость – 4,54 Мбит*с и запись 24 к/с для наружных камер и 2,27 Мбит*с и запись 12 к/с для внутренних;

Требуемый объем жесткого диска формируется в один логический диск путем организации RAID массива.

Общие примечания

1. Вместо оборудования, изделий и материалов, указанных в спецификациях, по итогам конкурсных торгов, могут быть использованы аналогичные различных производителей при условии соответствия их технических характеристик и параметров проектным данным.

2. В случае применения по итогам тендерных закупок иного оборудования, с отличными от предусмотренных в данном проекте характеристиками, проектная документация должна быть откорректирована по отдельному договору.

Таблица 1 – Расчет глубины архива

№ видеокамеры	Сетевой трафик	объем для хранения, (МБхсек)	Коэффициент на время записи в сутки	глубина архива для одной ВК	количество видеокамер, (шт.)	количество суток	требуемый объем архива, (ТБ)
1-19	4,54	0,5676	1	49042	19	30	26,6
20-59	2,27	0,2838	1	24521	40	30	28,1

54,7

Электропитание и заземление оборудования

Электропитание приборов видеонаблюдения выполняется по I категории надежности энергоснабжения с возможностью автономной работы согласно ТЗ.

Основное электропитание оборудования ВН осуществляется от сети переменного тока напряжением ~220В. Так же в проекте использу-

ется источник бесперебойного питания требуемой мощности, где в качестве резервного источника электропитания используются аккумуляторные батареи.

С целью обеспечения безопасности обслуживания установок выполняется заземление металлических не токопроводящих частей оборудования.

В последующем планируется модернизация. При модернизации может осуществляться изменение планировки без изменения назначения отдельных помещений, устройство встроенных помещений для лестничных клеток, лифтов, мусоропроводов, лоджий, замены отдельных видов несущих конструкций (стен, лестниц, перекрытий, покрытий), улучшение архитектурной выразительности здания, утепление и шумоизоляция зданий, оснащение недостающими видами инженерного оборудования или повышение его уровня, переустройство наружных сетей (примечание к п.3.3.5 ТКП 45-1.01-4-2005).

Литература

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21 ноября 2017г. №866 (О внесении изменений и дополнений в постановления Совета Министров Республики Беларусь от 11 декабря 2012 г. №1135» Об утверждении Положения о применении систем безопасности и телевизионных систем видеонаблюдения»)

2. ТКП 627-2018. Требования по применению технических средств и систем охраны.

3. ТКП 490-2013. Системы охранной сигнализации. Правила производства и приемки работ.

М. А. Малец, А. С. Рябцева
(БГАС, Минск)

Науч. рук. **М. П. Патапович**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МАГНИЯ В ОБРАЗЦАХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Ишемические повреждения головного мозга расцениваются в настоящее время как синдром острого и хронического повреждения мозга. К ним относятся и нарушения функционально-

морфологических свойств сосудов мозга, и дизрегуляция системной гемодинамики и гемостаза организма, что обуславливает поиск патогенетически обоснованных методов лечения внутримозговых катастроф [1, 2].

Этиологию и патологию некоторых заболеваний связывают как с действием токсичных микроэлементов, так и в меньшей степени с дефицитом эссенциальных макро- и микроэлементов.

Внутренняя среда организма реагирует на изменение пространственного порядка своих химических связей, следовательно, любое изменение её физико-химического состояния находит свое отражение в специфическом изменении формообразования ее структур.

Каждый из микро- и макроэлементов, составляющих минеральный состав организма, выполняет свою незаменимую роль, поэтому трудно сказать, какой из них более важен для человека.

Магний играет важную роль во многих жизненно важных процессах, которые протекают в клетках. Он участвует в передаче нервно-мышечных импульсов, а также регулирует метаболизм мышечных, сердечных и нервных тканей.

Для определения концентрации магния в плазме крови исследованных больных дополнительная информация была получена с использованием метода атомно-эмиссионного спектрального анализа. Количественную оценку общего содержания указанного химического элемента проводили на экспериментальной установке ЭМАС 200Д, производителем которой является ЗАО «Спектроскопические системы» (Минск, Беларусь). Спектрометр состоит из трёх основных элементов: источника возбуждения спектра, спектрального прибор и регистрирующей части. Излучение направляется в спектральный прибор, который пространственно разделяет монохроматические составляющие и располагает их в упорядоченную систему по длинам волн [3].

При проведении эксперимента образцы помещают в универсальный штатив генератора; верхним электродом служит обычный угольный электрод с усеченным конусом, а нижним – угольный электрод с углублением для помещения образца.

Управление режимом регистрации и вывод информации об исследуемом спектре производится персональным компьютером, что позволяет проводить математическую обработку результатов анализа.

При анализе образец объёмом 20 мкл с помощью микропипетки наносили на верхнюю поверхность нижнего электрода с цилиндрическим углублением диаметром 4 мм. Использовали для данных иссле-

дований дугу переменного тока со следующими параметрами: ширина щели порядка 40 мкм, время накопления одного спектра – 0,6 с, число накоплений – 25, общее время – 15 с.

В плазме крови общее содержание магния для пациентов с ишемическими повреждениями головного мозга до и после проведения необходимых профилактических и лечебных процедур приведено на рисунке 1. Референтные концентрации (верхняя и нижняя граница) данного элемента в организме человека составляют соответственно 1600 и 2500 мкг/100 г.

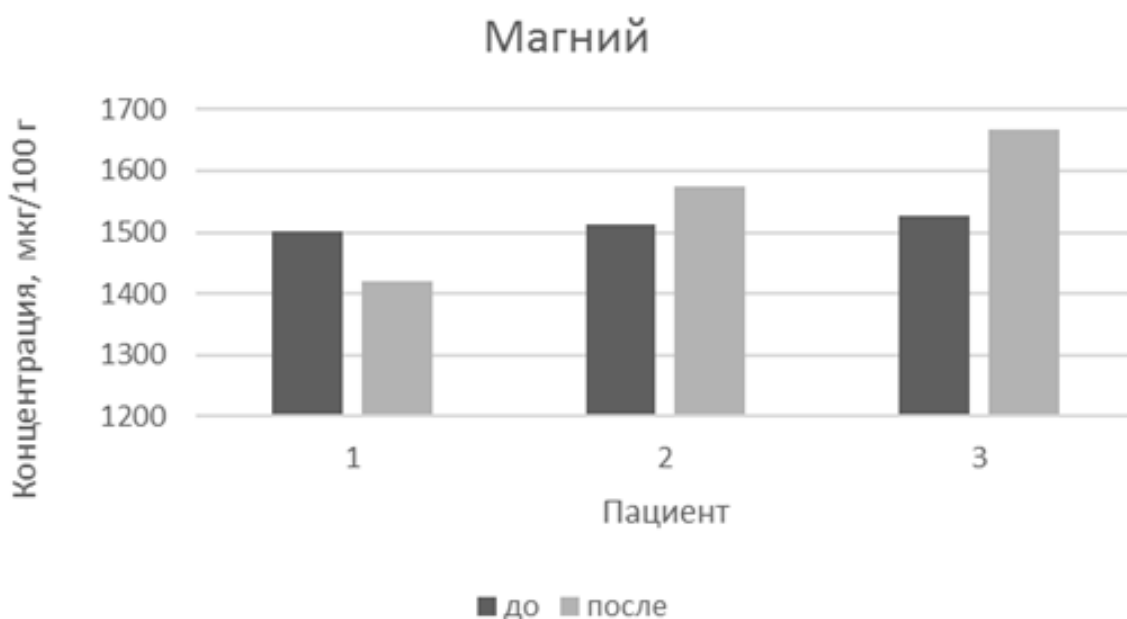


Рисунок 1 – Общее содержание магния в биообразцах плазмы крови пациентов до и после лечения

Для всех пациентов наблюдается небольшой недостаток магния. Данный макроэлемент участвует в процессах синтеза нейромедиаторов в головном мозге. Уровень магния влияет на регуляцию баланса фракций липопротеидов высокой и низкой плотности [4–6].

Таким образом, в ходе проведенных исследований было установлено статистически значимое однонаправленное снижение суммарного уровня магния в плазме крови пациентов с ишемическими повреждениями головного мозга. Это может указать на особенности клинического течения заболевания и обосновать целесообразность дополнения терапии медикаментозными комплексами для коррекции минерального обмена.

Литература

1. Goyer R. A., Klassen C. D., Waalkes M. P. Metal toxicology. – San Diego: Academic Press. – 525 p.
2. Короткевич, Е. А. Клиническая эпидемиология опухолей головного мозга и этапная медицинская помощь нейроонкологическим пациентам / Е. А. Короткевич, А. Ф. Смянович, В. С. Терехов // Неврология и нейрохирургия в Беларуси. – 2010. – № 4. – С. 86-97.
3. Зажогин, А. П. Атомный спектральный анализ: курс лекций / А. П. Зажогин. – Минск: Изд-во БГУ, 2005. – 163 с.
4. Roth, J. A. Iron interactions and other biological reactions mediating the physiological and toxic actions of manganese / J. A. Roth, M. D. Garrick // Biochem. Pharm. – 2003. – Vol. 66. – P. 1-13.
5. Iron, brain ageing and neurodegenerative disorders / L. Zecca [et al.] // Nature Rev. Neurosci. – 2004. – Vol. 5. – P. 863–873.
6. Скальный А. В. Микроэлементозы человека (диагностика и лечение). – М. 1999. – 180 с.

В. Г. Манцевич, Р. А. Линько

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В СИНТЕТИЧЕСКОМ МОТОРНОМ МАСЛЕ МАРКИ MOTUL SAE 5W30 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОБЕГА АВТОМОБИЛЯ

В литературе [1–3] указывается, что содержание воды в моторном масле не должно превышать значений, составляющих величину от 0,03 % до 0,05 %. Содержание воды в моторном масле способствует развитию ряда нежелательных последствий: снижаются защитные свойства масла из-за истощения моющее-диспергирующих присадок водой, в результате чего возрастает износ деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и ускоряется загрязнение двигателя; укрупняются загрязняющие частицы, которые осаждаясь в отверстиях двигателя, приводят к нарушению режима работы смазки подвижных частей и повышенным гидравлическим сопротивлениям в системе; нарушается гидродинамический режим смазки подшипников (при повышенном содержании воды в масле); возрастает вероятность пора-

жения моторного масла микроорганизмами, необходимым условием жизнедеятельности которых является обязательное наличие воды.

В ходе работы проведены исследования по определению содержания воды в синтетическом моторном масле Motul марки SAE 5W30 в зависимости от величины пробега легкового автомобиля. Подробная методика проведения исследований по отбору проб моторного масла, необходимых для исследований изложена в работе [4]. Содержание воды в отобранных пробах моторного масла определяли с использованием специализированного сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 2477–2014 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды» [5].

В таблице 1 представлены результаты исследования моторного масла марки Motul SAE 5W30 по определению содержания в нем воды при эксплуатации легковых автомобилей марки Kia в зависимости от величины пробега в период их гарантийного обслуживания.

Таблица 1 – Результаты исследования по определению содержания воды в образцах моторного масла

Пробег автомобиля, тыс. км	Содержание воды в моторном масле, %
Исходный образец	Следы
3	Следы
6	Следы
9	0,009
12	0,013
15	0,017

Можно видеть (таблица 1), что в моторном масле марки Motul SAE 5W30 при пробеге автомобиля марки Kia от 3 до 9 тыс. км выявлены, согласно методике проведения исследований, лишь следы воды, что свидетельствует о высоком качестве масла и сохранении исследуемого эксплуатационного показателя на первоначальном уровне в процессе его эксплуатации.

Показано (таблица 1), что при увеличении пробега свыше 9 тыс. км в исследуемом моторном масле наблюдается практически линейный рост содержания воды в моторном масле с 0,009 % до 0,017 %. Наиболее значительное увеличение содержания воды в исследуемом образце отмечено при пробеге автомобиля от 12 до 15 тыс. км от значения 0,013 % до 0,017 %.

По результатам исследования можно утверждать, что лучшими эксплуатационными свойствами, оцениваемыми по содержанию воды в моторном масле, исследуемое синтетическое моторное масло марки Motul SAE 5W30 обладает при пробеге до 9 тыс. км.

За последующие 6 тыс. км пробега содержание воды увеличивается почти в 2 раза. Установленные экспериментальные значения содержания воды в образцах моторного масла находятся в допустимом пределе, значения которого для моторного масла могут составлять от 0,03 % до 0,05 %.

Причиной появления воды в исследуемом моторном масле марки Motul SAE 5W30 может быть попадание топлива в масло, а также не герметичность охлаждающей системы двигателя внутреннего сгорания.

Установлено, что содержание воды в исследуемом моторном масле марки Motul SAE 5W30 остается неизменным при пробеге легковым автомобилем марки Kia до 9 тыс. км, после чего наблюдается увеличение количества воды до 0,017 %.

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что значение количества воды в моторном масле находится в допустимом пределе и досрочную замену моторного масла марки Motul SAE 5W30 проводить после пробега 15 тыс. км не следует. Данный вывод основывается на установленном значении количества воды в моторном масле марки Motul SAE 5W30, поэтому в дальнейшем необходимо исследовать также и другие эксплуатационные показатели моторного масла (кинематическая вязкость, температура вспышки в открытом тигле, щелочное число, механические примеси), чтобы принять окончательное решение о замене моторного масла.

Литература

1. Трубилов, А. К. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / А. К. Трубилов, В. А. Хитрюк. – Минск: Республиканский институт профессионального образования, 2012. – С. 79–105.

2. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с.

3. Геленов, А. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / А. А. Геленов, Т. И. Соченко, В. Г. Спиркин. – 4-е изд., стереотипное. – М.: Академия, 2015. – С. 115–116.

4. Линько, Р. А. Исследование плотности синтетического моторного масла Motul, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / Р. А. Линько, О. К. Ермак // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 123–125.

5. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды: ГОСТ 2477–2017. – Взамен ГОСТ 2477–65; введ. Респ. Беларусь 01.06.17. – Минск: Госстандарт, 2016. – 7 с.

Я. Я. Маркевич, Р. А. Линько, О. Д. Заболотный
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Под плотностью моторного масла понимают его густоту и вязкость. Плотность моторного масла определяется при температуре окружающей среды равной 20 °С, после чего пересчитывается на значение при 15 °С. Данный показатель моторного масла показывает отношение общей массы продукта к его номинальному объему и напрямую зависит от вязкости моторного масла и коэффициента сжимаемости. В случае, когда испарение масла будет высоким, плотность моторного масла возрастает и наоборот. Чем выше плотность, тем хуже моторное масло проходит по всем каналам и зазорам в двигателе внутреннего сгорания, вследствие чего затрудняется вращение коленчатого вала. Это приводит к его повышенному износу, появления отложений, образованию нагара и повышенному расходу топлива [1, 2].

В ходе выполнения настоящей работы произведены сравнительные исследования изменения плотности полусинтетических моторных масел Shell Helix HX7, Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special марки SAE 10W40, а также синтетического моторного масла марки Motul SAE 5W30 измеренной при температуре 15 °С в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства с бензиновым двигателем. Методика проведения исследований изложена в работе [3]. Плотность моторных масел определяли с использованием сертифици-

рованного оборудования по ГОСТ 3900–85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности» [4]. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

Экспериментально установлено, что плотность всех исследуемых моторных масел при увеличении величины пробега возрастает. При использовании моторного масла марки Shell Helix HX7 плотность изменяется от значения $860,0 \text{ кг/м}^3$ до $875,2 \text{ кг/м}^3$ при пробеге транспортным средством 15 тыс. км. В случае исследования моторных масел марок Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special плотность изменяется в диапазоне значений от $870,0 \text{ кг/м}^3$ до $877,1 \text{ кг/м}^3$ и от $873,0 \text{ кг/м}^3$ до $886,4 \text{ кг/м}^3$ соответственно, при идентичном значении величины пробега. При использовании синтетического моторного масла марки Motul контролируемый показатель с увеличением пробега автомобиля возрастает с $853,4 \text{ кг/м}^3$ до $867,1 \text{ кг/м}^3$ (рисунок 1).

Таким образом результаты исследований показывают (рисунок 1), что значение плотности, измеренной при $15 \text{ }^\circ\text{C}$, повышается при использовании моторного масла Shell Helix HX7 на $15,2 \text{ м}^3$; Castrol Magnatec на $7,1 \text{ кг/м}^3$ и Eni Agip Gas Special на $13,4 \text{ кг/м}^3$.

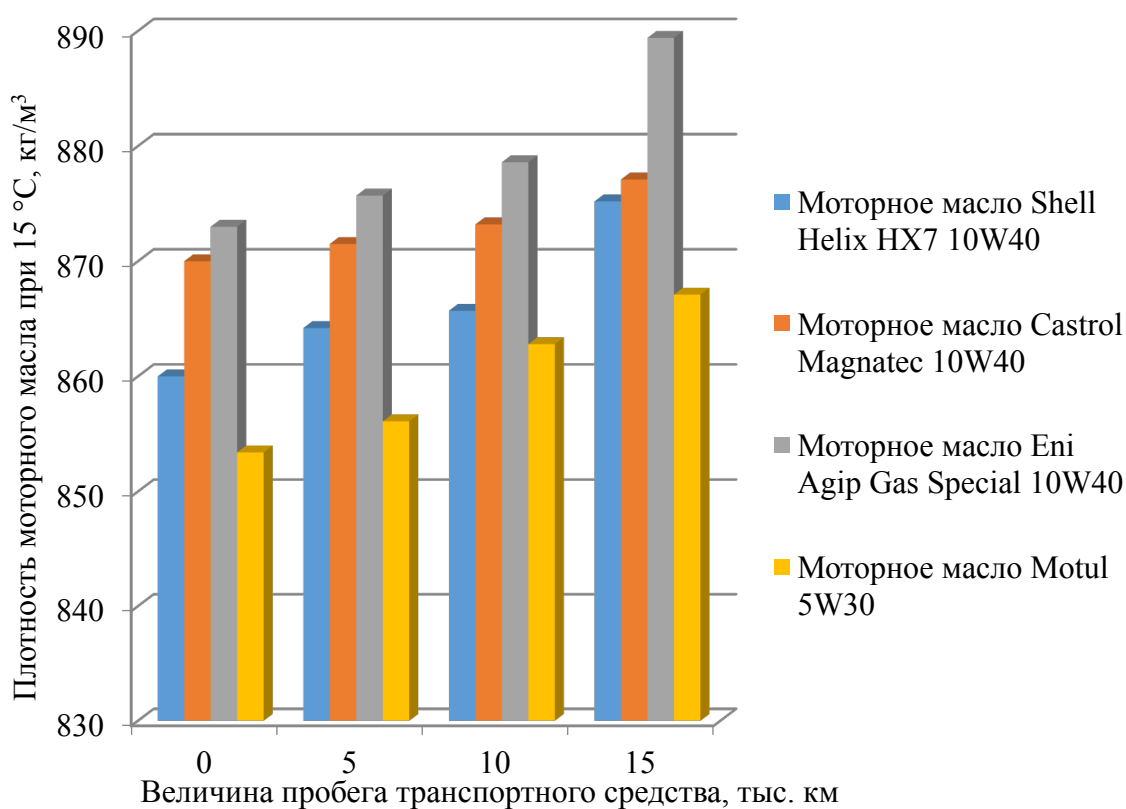


Рисунок 1 – Результаты исследования изменения плотности исследуемых моторных масел при увеличении величины пробега транспортного средства

Можно видеть (рисунок 1), что наиболее интенсивное снижение плотности моторного масла Motul происходит при пробеге транспортного средства более 5 тыс. км. При этом значение плотности при пробеге автомобиля с 5 до 10 тыс. км увеличивается с 856,1 кг/м³ до 862,8 кг/м³. При пробеге автомобиля с 10 до 15 тыс. км моторного масла, измеренная при 15 °С, увеличивается с 862,8 кг/м³ до 867,1 кг/м³. Установлено, что после заливки нового масла Motul и пробеге транспортным средством 15 тыс. км плотность моторного масла, возрастает на 13,7 кг/м³.

По результатам исследования можно утверждать, что лучшими эксплуатационными свойствами, оцениваемыми по значению плотности моторного масла, обладает полусинтетическое моторное масло марки Castrol Magnatec в сравнении с моторными маслами марок Shell Helix NX7, Eni Agip Gas Special и Motul, ввиду менее интенсивного изменения вышеназванного показателя. Полученный результат, по-видимому, связан с тем, что в составе данного полусинтетического масла в качестве добавки используют большее число синтетических добавок (до 40 % от основы) [5]. Полученные худшие результаты при использовании моторных масел марок Shell Helix NX7 и Eni Agip Gas Special, по-видимому, связаны с метеорологическими условиями проведения исследований.

Помимо сказанного к повышению плотности моторного масла также могут привести отложения, нагары и осадки, образующие в ДВС в процессе эксплуатации транспортного средства. Отложения образуются в ДВС в результате превращения углеводородов (основа моторных масел). Нагары представляют собой твердые углеродистые вещества, откладывающиеся на стенках камеры сгорания, клапанах, свечах, днище поршня и на верхнем пояске боковой поверхности поршня [5].

Литература

1. Карташевич, А. Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. – М.: Инфра. – М, 2015. – 420 с.
2. Хитрюк, В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / В. А. Хитрюк, А. К. Трубилов. – Минск: Республиканский институт профессионального образования, 2013. – С. 91–119.
3. Заболотный, О. Д. Исследование плотности полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях внутреннего

сгорания легковых транспортных средств / О. Д. Заболотный // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 14–15 октября 2020 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2020. – С. 97–99.

4. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности: ГОСТ 3900–85. – Переизд. май 2012 с Изм. 1, Попр. (ИУС. 1991. № 4; ИУС РБ. 1999. № 2; ИУ ТНПА. 2010. № 6). – Взамен ГОСТ 3900–47; введ. Респ. Беларусь 17.12.92. – Минск: Госстандарт, 2012. – 36 с.

5. Сырбаков, А. П. Топливо и смазочные материалы: учебн. пособие / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова; Томский политехн. ун-т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 159 с.

Н. В. Медведева, О. Д. Заболотный
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ВЯЗКОСТИ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ SAE 10W40 ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕГКОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Известно [1–4], что к числу важнейших показателей, характеризующих качество моторного масла, относится вязкостно-температурная характеристика, представляющая собой отношение изменения вязкости к температуре. С целью оценки вязкостно-температурной характеристики в интервале значений температур от 50 °С до 100 °С применяют соотношения кинематической вязкости. В случае, когда определенное соотношение кинематической вязкости при указанных температурах меньше, тем лучше вязкостно-температурная характеристика моторного масла [1–4].

На практике, как правило, для оценки вязкостно-температурной характеристики используют метод определения индекса вязкости. Индекс вязкости рассчитывают по методике, указанной в ГОСТ 25371–2018 «Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости» [5]. Данный метод основан на сравнении эксплуатационных свойств исследуемого образца моторного масла с двумя эталонными образцами масла, у одного из которых индекс вяз-

кости равен нулю, у другого индекс вязкости равен 100, при этом индекс вязкости определяют расчетным методом.

В ходе выполнения настоящей работы определены индексы вязкости полусинтетических моторных масел Shell Helix HX7, Castrol Magnatec и Eni Agip Gas Special марки SAE 10W40 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства, оборудованного бензиновым двигателем внутреннего сгорания. Расчет значений индекса вязкости вели на основании экспериментальных данных по изменению величины кинематической вязкости, измеренной при 100 и 40 °С, используя ЭВМ и специальное программное приложение. На рисунке 1 представлены результаты расчета изменения индекса вязкости для исследуемых образцов полусинтетических моторных масел в зависимости от величины пробега транспортного средства.

Видно (рисунок 1), что индекс вязкости исследуемого моторного масла Shell Helix HX7 10W40 при изменении величины пробега до 15 тыс. км транспортного средства изменяется с 154 до 135 единиц. Значительное снижение индекса вязкости наблюдается после 10 тыс. км пробега. При этом индекс вязкости снижается с 150 до 135 единиц. Столь значительное изменение индекса вязкости свидетельствует о низких эксплуатационных показателях данного моторного масла.

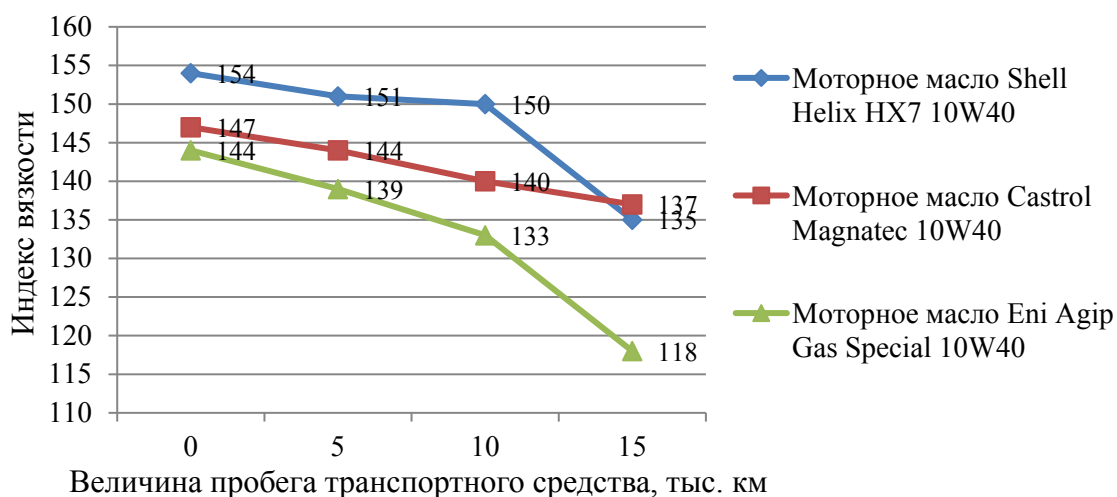


Рисунок 1 – Изменение индекса вязкости исследуемых марок полусинтетических моторных масел в зависимости от величины пробега транспортного средства

Показано (рисунок 1), что индекс вязкости моторного масла марки Castrol Magnatec варьируется в достаточно узком диапазоне значений от 147 до 137 единиц при пробеге транспортным средством 15 тыс. км. В среднем индекс вязкости данного моторного масла изменяется

на 3,4 единицы после каждых последующих 5 тыс. км пробега, что свидетельствует о высоком качестве моторного масла. При этом характер кривой, характеризующей изменение индекса вязкости, носит практически линейный характер.

Экспериментальные данные, представленные на рисунке 1, показывают, что индекс вязкости моторного масла марки Eni Agip Gas Special варьируется в значительном диапазоне значений от 144 до 118 единиц при пробеге транспортным средством 15 тыс. км. Наибольшее изменение, значения индекса вязкости моторного масла марки Eni Agip Gas Special наблюдается после 10 тыс. км пробега и составляет величину равную 15 единицам. При величине пробега транспортного средства до 10 тыс. км индекс вязкости данного масла изменяется практически линейно, при этом величина изменения составляет 11 единиц.

Изменение индекса вязкости исследуемых марок полусинтетических моторных масел в зависимости от пробега автомобиля, по-видимому, можно объяснить изменением кинематической вязкости исследуемых образцов моторных масел, вызванного потерей моторными маслами триботехнических свойств. Необходимо также отметить, что процесс потери триботехнических свойств, для моторных масел неизбежен вследствие основной функции эксплуатационных материалов (моторных масел), заключающейся в обеспечении надежности и работоспособности трущихся элементов частей двигателя внутреннего сгорания под действием высоких температурных и силовых нагрузок.

В результате проведенных исследований установлено, что изменение значения индекса вязкости моторного масла Castrol Magnatec после пробега 15 тыс. км на 5,6 % ниже, чем величины индекса вязкости моторного масла марки Shell Helix NX7 и на 11,3 % ниже, чем у индекса вязкости моторного масла марки Eni Agip Gas Special, что свидетельствует о более высоком качестве данного моторного масла.

Литература

1. Трубилов, А. К. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / А. К. Трубилов, В. А. Хитрюк. – Минск: Республиканский институт профессионального образования, 2012. – С. 79–105.

2. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с.

3. Геленов, А. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / А. А. Геленов, Т. И. Соченко, В. Г. Спиркин. – 4-е изд., стереотипное. – М.: Академия, 2015. – С. 110–126.

4. Сырбаков, А. П. Топливо и смазочные материалы: учебн. пособие / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова; Томский политехн. ун-т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 159 с.

5. Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости: ГОСТ 25371–2018. – Взамен ГОСТ 25371–97 (ИСО 2909–81); введ. Респ. Беларусь 01.12.19. – Минск: Госстандарт, 2019. – 11 с.

Нгуен Куанг Шан

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **И. Д. Феранчук**, д-р физ.-мат. наук, профессор

МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ФОТОНОВ ДЛЯ МОДУЛИРОВАННОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ

Введение. Рассчитан спектр эквивалентных фотонов периодически модулированного сгустка электронов на выходе из ондулятора рентгеновского лазера на свободных зарядах и показано, что он содержит когерентный состав, позволяющий получать дополнительные рентгеновские импульсы.

Выражение для потока энергии электронов Π . Выражения для электромагнитных полей ($\hbar = c = 1$):

$$\begin{aligned} \vec{E}(\vec{r}, t) &= \sum_a^N \vec{E}_a(\vec{r}, t); \quad \vec{H}(\vec{r}, t) = \sum_a^N [\vec{v}_a \vec{E}_a(\vec{r}, t)]; \\ \vec{E}_a(\vec{r}, t) &= -\frac{ie_0}{2\pi^2} \int d\vec{k} \frac{\vec{k} - \vec{v}_a (k\vec{v}_a)}{k^2 - (k\vec{v}_a)^2} e^{i\vec{k}(\vec{r} - \vec{v}_a t - \vec{r}_a)}. \end{aligned} \tag{1}$$

На ось z можно разбить Π на две части:

$$\Pi = \Pi_{sp} + \Pi_{coh}$$

Для некогерентный потока Π_{sp} получается обычное выражение:

$$n_{sp}(\omega) = N \frac{2e_0^2}{\pi\omega} \ln\left(\frac{m\gamma}{\omega}\right); \quad |\vec{k}_\perp - \vec{\theta}_a| \approx \omega\gamma^{-1}. \quad (2)$$

Когерентная составляющая спектральной плотности псевдофотонов принимает вид:

$$n_{coh}(\omega) \approx \left| \frac{(1 - e^{iL\omega})}{(1 - e^{id\omega})} \right|^2 e^{-\omega^2\sigma_c^2/2d^2} \times \quad (3)$$

$$\times N^2 \frac{e_0^2}{2\nu\pi\omega} \frac{d^2}{L^2} [-e^{a^2\gamma^{-2}} Ei(-a^2\gamma^{-2})(1 + \gamma^{-2}a^2) - 1],$$

Чтобы прояснить смысл выражений (2) и (3), воспользуемся значениями следующих параметров:

$$\gamma^{-1} = \frac{0.511}{6.7 \times 10^3} \approx 8 \times 10^{-5}, \quad k \approx 10^{10} \text{ м}^{-1}, \quad N \approx 1nC \approx 6 \times 10^9, \quad \frac{2\pi^2\sigma_c^2}{d^2} \approx 0.3,$$

$$\sigma_a = 10^{-4}, \quad \sigma_b = 2 \times 10^{-7} \text{ м}, \quad z = L = 4.3 \times 10^{-6} \text{ м}, \quad d = 6.28 \times 10^{-10} \text{ м},$$

$$a^2\gamma^{-2} = 6.4 \times 10^{-9} \times 0.5[1.6 \times 10^{-7} \times 10^{-8} + 4 \times 10^{-10} \times 10^{-19}] \approx 0.03.$$

Число псевдофотонов по формуле (2) равно:

$$N_{sp} = N \frac{2e^2}{\pi} \ln \frac{m\gamma}{\omega} \frac{\Delta\omega}{\omega} \approx 10^9 \times 10^{-5} \approx 10^{-4},$$

Между тем, для когерентной компонента, по формуле (3):

$$N_{coh} = N^2 \frac{e^2}{2} \frac{1}{\omega_0 L} \approx 3.6 \times 10^{19} \times \frac{1}{137} \frac{1}{8 \times 10^4} \approx 4.5 \times 10^{12}.$$

На рисунке 1 приведено сравнение спектральных плотностей потока некогерентных и когерентных псевдофотонов.

Метод, описанный в этой работе, также используется в калибровке Кулона для расчета распределения электронов [1, 2].

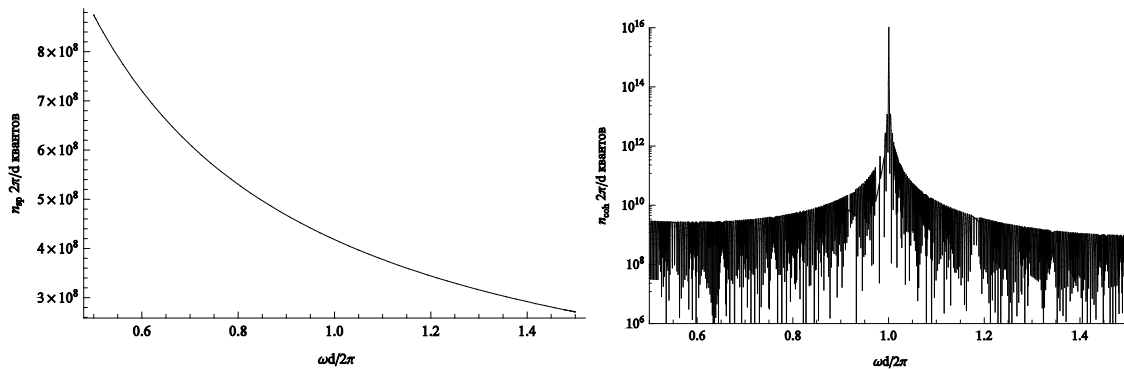


Рисунок 1 – Спектральная плотность распределения псевдофотонов модулированного пучка: а – некогерентных; б – когерентных в логарифмическом масштабе

Заключение. Результаты данной работы связаны с исследованием возможности получения когерентного рентгеновского излучения при прохождении относительно заряженного электронного пучка через кристалл. В последнее время появилось много исследований, связанных с высокоэнергетическим спектром резонансного рентгеновского излучения [3, 4], которые демонстрируют возможность получения дополнительных импульсов излучения с большим углом отклонения по сравнению с направлением движения электрона в лазерной трубке.

Литература

1. Radical increase of the parametric x-ray intensity under condition of extremely asymmetric diffraction / O. Skoromnik, V. Baryshevsky, A. Ulyanenko, I. Feranchuk // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2017. – Vol. 412. – P. 86–92.
2. Фурс, А. Н. Потенциалы электромагнитного поля произвольного распределения зарядов и токов в калибровке Кулона / А. Н. Фурс // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2017. – Т. Physics, № 1. – P. 43–51.
3. Skoromnik, O. Parametric x-ray radiation in the smith-purcell geometry for non-destructive beam diagnostics / O. Skoromnik, I. Feranchuk, D. Lu // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2019. – Vol. 444. – P. 125–134.
4. Benediktovitch, A. Quantum theory of superfluorescence based on two-point correlation functions / A. Benediktovitch, V. P. Majety, N. Rohringer // Phys. Rev. A. – 2019. – Vol. 99, №. 1. – P. 013839 (18 pp.).

М. В. Николаев

(БрГТУ, Брест)

Науч. рук. **В. Н. Шуть**, канд. техн. наук, доцент

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ МАРШРУТНОГО ТАКСИ

В настоящее время активно развивается инфраструктура общественного транспорта в городах по всему миру. Активно внедряются элементы информационных технологий в перевозочный процесс городов, развивается автоматический городской интеллектуальный пассажирский транспорт [1].

Ведётся разработка автоматизированной системы для оптимизации работы маршрутного такси с использованием современных устройств и приложений к ним, которые имеют и используют клиенты транспортных услуг городов (пассажиры). Известна подобная система для такси (сервис «Яндекс.Такси»), когда клиент с любого места города может заказать ближайшее к нему свободное такси.

Подобный сервис в форме двух веб-приложений – пассажира и водителя маршрутного такси – разрабатывается в настоящее время. Одной из центральных функций приложения для водителя маршрутного такси является рекомендация по времени выезда его с конечного пункта на маршрут.

Идея состоит в определении момента времени отправления, чтобы маршрутное такси не было переполнено и при этом не следовало бы по маршруту полупустым. Такое требование в условиях полной неопределенности числа ожидающих на маршруте пассажиров трудно осуществимо. Единственным источником информации о состоянии маршрута являются сообщения от водителя маршрутки, отправившейся на маршрут ранее. Эта информация относительно неполная, т.к. имеет некоторый смысл только в том случае, когда впередиидущая маршрутка на очередной остановке, из-за ограниченной вместимости, не смогла забрать всех пассажиров. Полученное радиосообщение ускорит момент выезда на маршрут очередного транспортного средства.

В связи с вышеописанными проблемами предложена модель городского транспорта, известная как «Транспорт по запросу».

Основные задачи системы:

1. Создание заявки пассажира, ожидающего на остановочном пункте маршрутного такси;
2. Информирование водителя маршрутного такси о загруженности маршрута;
3. Информирование водителя маршрутного такси о количестве пассажиров, которые заполнят и покинут маршрутное такси на каждом следующем остановочном пункте.

Хранение и передача данных происходит в виде запросов между приложениями и сервером. Каждый запрос представляет собой набор, определяющий маршрут пассажира (остановки его посадки и высадки).

Для достижения этой цели предлагается следующая математическая модель. Обозначим остановки натуральными числами $i = \overline{1, k}$; l_{ij} – расстояния между i -ой и j -ой остановками.

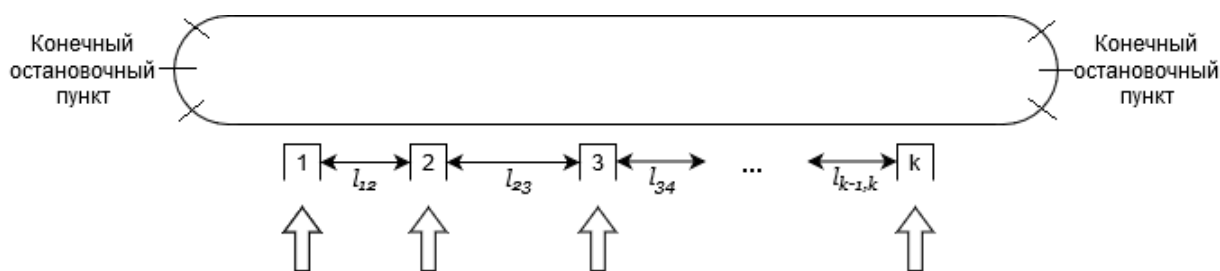


Рисунок 1 – Маршрут транспортного средства

Данные о пассажирах передаются серверу и хранятся в виде матрицы корреспонденций. Элемент матрицы m_{ij} – число пассажиров, которые вошли в маршрутное такси на i -ой остановке и едут до j -ой остановки.

$$M = \begin{bmatrix} 0 & m_{1,2} & \dots & m_{1,j} & \dots & m_{1,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & m_{i,j} & \dots & m_{i,k} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & m_{k-1,k} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Обозначим заполненность маршрутного такси на r -ой остановке S_r :

$$S_r = \sum_{i=1}^r m_i - \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j=i+1}^r m_{i,j} \leq V, \quad r = \overline{2, k}, \quad (2)$$

где m_{ij} – элемент матрицы корреспонденций M ;

k – количество остановок на маршруте;

V – объем транспортного средства.

Необходимо также учитывать интенсивность пассажиропотока λ – количество людей, приходящих на остановку за единицу времени. Примерное время t , за которое транспортное средство доедет до остановки n :

$$t = \frac{\sum_{i=2}^r l_{i-1,i}}{v}, \quad r = \overline{2, k}, \quad (3)$$

где v – средняя скорость транспортного средства.

Таким образом, условие отправления транспортного средства имеет вид:

$$S_r + t_r * \lambda_r \leq V, \quad r = \overline{2, k}. \quad (4)$$

В реальных условиях необходимо учитывать погрешность в изменении количества пассажиров на маршруте при расчёте максимально допустимой заполненности маршрутного такси, поэтому она составляет 80–90% от реальной максимально допустимой заполненности.

Система информирует водителя при помощи клиентского приложения, в какое время маршрутному такси лучше отправляться. При необходимости, пользователь (водитель) сам может посмотреть данные о пассажирах на остановках, и принять соответствующее решение. Такая система позволяет сократить затраты на топливо в ситуациях, когда большое количество маршрутных такси следует по маршрутам с малой интенсивностью пассажиропотока, а также позволит собирать информацию о количестве пассажиров на маршрутах и остановках, которую в дальнейшем можно использовать для оптимизации городской транспортной сети.

Литература

1. Жогал, А. Н. Автоматический городской интеллектуальный пассажирский транспорт / А. Н. Жогал, В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Транспорт и инновации: вызовы будущего: материалы Международной научной конференции. – Минск: Национальная библиотека Беларуси, 2019. – С. 23-33.

И. П. Охрименко

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **Н. Н. Кольчевский**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ГЕОСТАЦИОНАРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН S-LIGO-NxR-Gy

За экспериментальное подтверждение существования гравитационных волн (ГВ), выполненное на парной установке детекторов LIGO (США), присуждена Нобелевская Премия в области физики в 2017 году. За прошедшее время, область науки о ГВ сделала огромный шаг вперед как в теоретическом, так и в практическом аспектах: зарегистрировано и подтверждено уже более 50 ГВ, образовался новый раздел физики, построены новые детекторы ГВ (Virgo, KAGRA), в разработке проекты детекторов ГВ следующего, третьего поколения: Einstein Telescope, Cosmic Explorer, которые значительно расширят область детектируемого спектра ГВ. Помимо детекторов наземного типа, в этапе разработке находятся проекты космических детекторов ГВ: DECIGO, BBO, LISA, Taiji, TianQin, которые откроют часть спектра ГВ недоступного для наземных детекторов на основе лазерных интерферометров.

Республика Беларусь носит за собой право называться Космической Державой. В ее активе находятся 3 собственных спутника, полезная нагрузка которых полностью разработана и сконструирована нашими предприятиями. БГУ полностью разработало, сконструировало и запустило собственный нано-спутник (рисунок 1). В данной работе описывается разработанная модель геостационарного космического детектора ГВ на основе спутников «S-LIGO-NxR-Gy».

Спектр детектирования ГВ в интерферометрическом методе регистрации напрямую связан с величиной оптического хода в детекторе. Так как пространство на земле физически ограничено, космическое пространство, наоборот, обладает условной неограниченностью, что дает возможность разворачивать узлы детектора ГВ на расстояниях, превышающих земные во много раз. В качестве космического детектора ГВ может выступать космическая измерительная система спутников, расположенная на орбитах планет Солнечной системы (СС), естественных спутниках планет СС или планетоидах в СС. Для постоянного взаимодействия с космической измерительной системой возможно использовать геостационарные орбиты. Геостационарный тип орбит обеспечивает постоянную связь с наземным комплексом для

передачи данных и доступа к управлению детектором ГВ. Подразумевается наличие наземной составляющей спутникового детектора ГВ: центр управления, обработки и передачи данных.

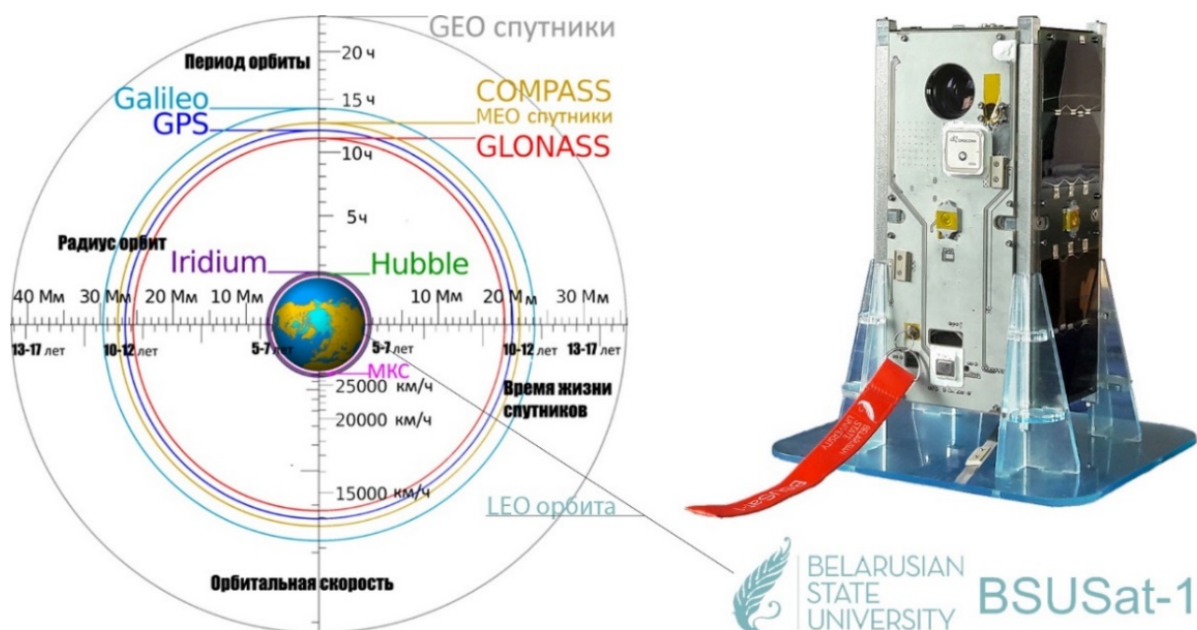


Рисунок 1 – Типы орбит спутников. Спутник БГУ

Рассматриваемая измерительная система состоит из N спутников с условным обозначением «S-LIGO- $N \times R$ - z y», где X – количество спутников, расположенных на Y – количество орбит – Z типа (низкоорбитальные – L, среднеорбитальные – M, геостационарные – G или высокоэллиптические – H орбиты (рисунок 1)) планеты наименования N (планета Земля – E, планета Юпитер – J). Как говорилось выше, предпочтение отдается геостационарным типам орбит, следовательно, в данной работе описываются системы S-LIGO- $N \times R$ -G y . Так как данную систему можно развернуть на геостационарных орбитах (геоорбит) любой из планет СС, в таблице 1 представлены результаты расчета параметров космического детектора ГВ для частного случая из 8 спутников на геостационарных орбитах для 8 планет.

Очевидно, что интерес представляет наибольший радиус геоорбит, так как это обеспечит большие длины плеч интерферометров. Радиус гео-орбит рассчитывается по формуле:

$$R = \sqrt[3]{\frac{G \cdot M_p}{\omega^2}}, \quad (1)$$

где G – гравитационная постоянная,
 M_p – масса планеты вокруг которой обращается спутник,
 ω – орбитальная скорость вращения спутника.

Таблица 1 – Значения радиусов геостационарных орбит и ключевых параметров космического детектора S-LIGO-N8R-G2, размещенного на этих орбитах, для 8 планет Солнечной системы

Планета, N:	Масса планеты, M_3 :	Время вращения, с:	Радиус гео-орбит, м:	Длина плеча интерферометра, тыс. км	Длина плеча в длинах LIGO (300 км)	Максимальная чувствительность детектора, Гц	Период эволюции форм системы спутников, с
Меркурий	$5,50 \cdot 10^{-2}$	$5,08 \cdot 10^6$	$2,43 \cdot 10^8$	$3,44 \cdot 10^2$	1150	$900 \cdot 10^{-3}$	$6,35 \cdot 10^5$
Венера	$8,15 \cdot 10^{-1}$	$2,10 \cdot 10^7$	$1,54 \cdot 10^9$	$2,17 \cdot 10^3$	7240	$150 \cdot 10^{-3}$	$2,62 \cdot 10^6$
Земля	1,00	$8,61 \cdot 10^4$	$4,22 \cdot 10^7$	$5,96 \cdot 10^1$	199	$500 \cdot 10^{-2}$	$1,08 \cdot 10^4$
Марс	$1,07 \cdot 10^{-1}$	$8,86 \cdot 10^4$	$2,04 \cdot 10^7$	$2,88 \cdot 10^1$	96	$100 \cdot 10^{-1}$	$1,11 \cdot 10^4$
Юпитер	$3,18 \cdot 10^2$	$3,58 \cdot 10^4$	$1,60 \cdot 10^8$	$2,26 \cdot 10^2$	755	$130 \cdot 10^{-2}$	$4,47 \cdot 10^3$
Сатурн	$9,50 \cdot 10^1$	$3,84 \cdot 10^4$	$1,12 \cdot 10^8$	$1,59 \cdot 10^2$	529	$189 \cdot 10^{-2}$	$4,80 \cdot 10^3$
Уран	$1,40 \cdot 10^1$	$6,22 \cdot 10^4$	$8,18 \cdot 10^7$	$1,16 \cdot 10^2$	386	$260 \cdot 10^{-2}$	$7,78 \cdot 10^3$
Нептун	$1,70 \cdot 10^1$	$5,80 \cdot 10^4$	$8,32 \cdot 10^7$	$1,18 \cdot 10^2$	392	$255 \cdot 10^{-2}$	$7,25 \cdot 10^3$

Из таблицы 1 следует, что самый большой радиус гео-орбиты у планеты Венера – 1 млн. 536 тыс. 477 км, а плечо интерферометра в 1,41 раз больше – 2 млн. 172 тыс. 906 км. В сравнение, для Юпитера длина плеча интерферометра 226 тыс. км, а у детектора LIGO плечо 300 км с учетом переотражений полученных в полости Фабри-Перо. Следует, длина плеча космического детектора Венеры S-LIGO-V8R-G2 равносильна 7240 длинам плеча LIGO. Максимальная частота ГВ, которую способен зарегистрировать такой детектор ~ 0.15 Гц и меняется в зависимости от эволюции системы, так как меняется длина плеча интерферометра.

Для изучения гравитационного излучения Солнца, космический ГВ детектор S-LIGO-N8R-G2 необходимо размещать как можно ближе к исследуемому объекту - на орбите Меркурия (S-LIGO-M8R-G2). Для регистрации ГВ из дальнего космоса необходимо гравитационный детектор размещать как можно дальше от любых доступных в Солнечной системе источников возмущений, т.е. на орбите планеты Нептун (S-LIGO-Ne8R-G2) или планетоида Плутон (S-LIGO-P8R-G2). Период вращения планеты Нептун вокруг Солнца составляет 165 лет, а период вращения вокруг своей оси 15 ч 57 мин 59 с. Радиус гео-орбиты составляет 83 тыс. км, длина плеча интерферометра –

118 тыс. км, а максимальная частота чувствительности данного детектора около 2,55 Гц. Для планеты Меркурий, период вращения вокруг Солнца 88 дней, а период вращения вокруг своей оси 58 дней. Радиус гео-орбиты 243 тыс. км, длина плеч интерферометра – 344 тыс. км., максимальная частота чувствительности детектора 0,9 Гц.

Литература

1. Abbot, B. P. Exploring the sensitivity of next generation gravitational wave detectors / B. P. Abbott [et al.] // Class. Quantum Grav. – 2017. – Vol. 34, No. 4.

Е. П. Пантелеева

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **Е. А. Мельникова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ВОЛНОВОДНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ ПЛАНАРНЫЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Анизотропные жидкокристаллические (ЖК) элементы широко используются в технологиях отображения оптической информации, а также для управления параметрами световых пучков, включая их фазовое и поляризационное преобразование.

В ходе выполнения работы изготовлен и исследован управляемый ЖК-элемент с электрически индуцированными волноводными каналами.

ЖК-элемент (рисунок 1) представляет собой планарную ЖК-ячейку сэндвич-типа, содержащую на одной из стеклянных подложек непрозрачный электропроводящий слой встречных гребенчатых электродов.

Электрическое питание каждой из проводящих «гребенок» осуществлялось через отдельные шины, что обеспечивает возможность их независимого включения. Вторая подложка ЖК-элемента содержала сплошной прозрачный электрод. Толщина ЖК-слоя определялась величиной зазора между подложками и составляла $d = 20$ мкм. Показатели преломления ЖК-материала, использованного в работе, для лазерного излучения на длине волны $\lambda = 632,8$ нм составляли: $n_e = 1,687$ для необыкновенной световой волны и $n_o = 1,531$ для обыкновенной световой волны.

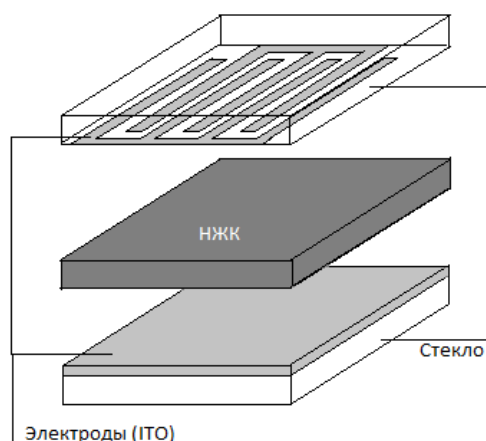


Рисунок 1 – Принципиальная схема одномерного волноводного массива в НЖК-слое с начальной планарной ориентацией директора

Начальная планарная ориентация директора НЖК задавалась вдоль направления электродов ЖК-элемента. При воздействии внешнего электрического поля (переход Фредерикса) имеется возможность реализовать периодическое изменение показателя преломления в ЖК-слое для определенной поляризационной моды световой волны. Периодическая модуляция оптической анизотропии обеспечивает возможность включения волноводного режима, основанного на выполнении эффекта ПВО [1]. Вариабельность включения электродов ЖК-элемента позволяет изменять топологию наведенных ЖК волноводных каналов.

Для управления величиной оптической анизотропии ЖК на элемент подавалось внешнее электрическое напряжение. В работе использовалось как переменное (частота $\nu = 1$ кГц), так и постоянное электрическое напряжение. Величина амплитуды управляющего сигнала изменялась от 0 до 5 В. На рисунке 2 представлены поляризационные микрофотографии, иллюстрирующие возможность возбуждения в ЖК-слое периодического чередования направления ориентации директора. Исследования проводились при различных величинах амплитуды и направления вектора напряженности E внешнего электрического поля. В экспериментах использовалось постоянное и переменное электрическое поле, которое подавалось в различных вариантах на проводящие покрытия ЖК-элемента.

Согласно экспериментальным данным, приведённым на рисунке 2, при подаче напряжения на электроды ячейки происходит переориентация ансамбля ЖК-молекул (переход Фредерикса). В результате наблюдается многодоменная ЖК-структура, представляющая собой совокупность чередующихся областей

(доменов) с разными ориентациями директора: планарной (директор параллелен стеклянным подложкам) и гомеотропная (директор ортогонален стеклянным подложкам).





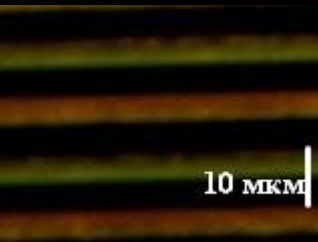
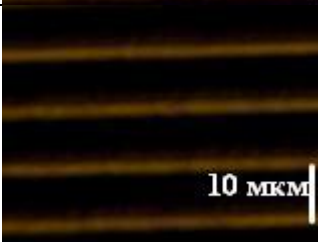
U, В	Переменное напряжение подаётся на одну «гребёнку» и сплошной электрод		Переменное напряжение подаётся на гребенчатые электроды	
0				
2,5				
5,0				

Рисунок 2 – Поляризационные микрофотографии ЖК элемента при различных значениях управляющего электрического напряжения, которое подавалось в различных вариантах на проводящие покрытия

В работе разработан и экспериментально исследован электрически управляемый волноводный НЖК-элемент, созданный с использованием встречно-штыревых проводящих покрытий. Анализ оптической анизотропии ЖК-элементов, проведенный методом поляризационной микроскопии, показал возможность возбуждения в планарном ЖК-слое системы анизотропных волноводных каналов с различными конструктивными параметрами.

Литература

1. Пантелеева, Е. П. Электрически управляемые планарные жидкокристаллические элементы / Е. П. Пантелеева // Физика конденсированного состояния: материалы XXVIII международной научно-

практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, Беларусь, 17 апреля 2020 г. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. Е. Герман (гл. ред.) [и др.]. – Гродно, 2020. – С. 77–78.

2. Мельникова, Е. А. Поляризационно-чувствительные волноводные каналы в нематическом жидком кристалле / Е. А. Мельникова, О. С. Кабанова // Вестн. БГУ. Сер.1.- 2016. - №2. – С. 48-51.

3. Снайдер, А. Теория оптических волноводов / А. Снайдер, Д. Лав; Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.

4. Оленская, И. И. Жидкокристаллические волноводные элементы с различной топологией модуляции границы раздела рефрактивных областей / И. И. Оленская, О. С. Кабанова, Е. А. Мельникова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Е.17, №2. – С.87–91.

5. Коншина, Е. А. Оптика жидкокристаллических сред / Е. А. Коншина. СПб: «СПб НИУ ИТМО», 2012. – 128 с.

6. Томилин, М. Г. Свойства жидкокристаллических материалов / М. Г. Томилин, С.М. Пестов. – СПб.: «Политехника», 2005. – 296 с.

В. А. Песецкий, Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА SHELL МАРКИ SAE 5W40

Первостепенной задачей моторного масла является предотвращение сухого трения движущихся внутренних деталей двигателя, а также обеспечение минимальной силы трения при максимальной герметичности рабочих цилиндров. Необходимо отметить, что температура, которую большинство водителей наблюдают на приборной доске, на самом деле является температурой охлаждающей жидкости, которая действительно стабильна в прогретом двигателе и, как правило, составляет 90–95 °С. Температура моторного масла при работе двигателя существенно варьируется и может достигать 140–150 °С в зависимости от скорости и интенсивности движения транспортного средства.

Кинематическая вязкость, измеренная при 100 °С, моторного масла, является важным эксплуатационным показателем и определяет

толщину масляной пленки, образующуюся на поверхностях трения в процессе работы двигателя; степень износа деталей двигателя; надежность смазывания при высоких температурах; потери на трение и расход топлива [1–4].

В ходе проведения исследований изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 при температуре 100 °С в зависимости от величины пробега транспортного средства. В качестве подвижного состава принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см³. Отбор проб производили из трех автомобилей. Нагрев моторного масла и поддержание заданной температуры (100 °С) осуществляли с использованием термостатирующего прибора модели «Термостат А2». Время истечения моторного масла при указанной температуре определяли методом вискозиметрии в соответствии с требованиями ГОСТ 33–2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» [5] с использованием капиллярного вискозиметра марки ВПЖ-4 с диаметром капилляра 1,47 мм. Кинематическую вязкость каждого образца моторного масла рассчитывали, используя формулу [5]:

$$\nu = \Pi \cdot t, \text{ сСт}; \quad (1)$$

где Π – калибровочная постоянная вискозиметра, сСт. Калибровочная постоянная вискозиметра марки ВПЖ-4 составляла значение 0,3;
 t – время истечения образца моторного масла из вискозиметра, с.

Результаты исследований кинематической вязкости при 100 °С представлены на рисунке 1.

Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные показывают, что исследуемый показатель с увеличением величины пробега транспортного средства до 15 тыс. км снижается. Установлено, что снижение кинематической вязкости, измеренной при 100 °С, при пробеге транспортным средством 15 тыс. км при использовании моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 составило значение 5,7 сСт. Установлено, что при пробеге транспортным средством 10 тыс. км кинематическая вязкость, измеренная при 100 °С уменьшилась на 16,8 %. Показано (рисунок 1), что наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости при 100 °С происходит в интервале пробега транспортным средством с 6 до 15 тыс. км.

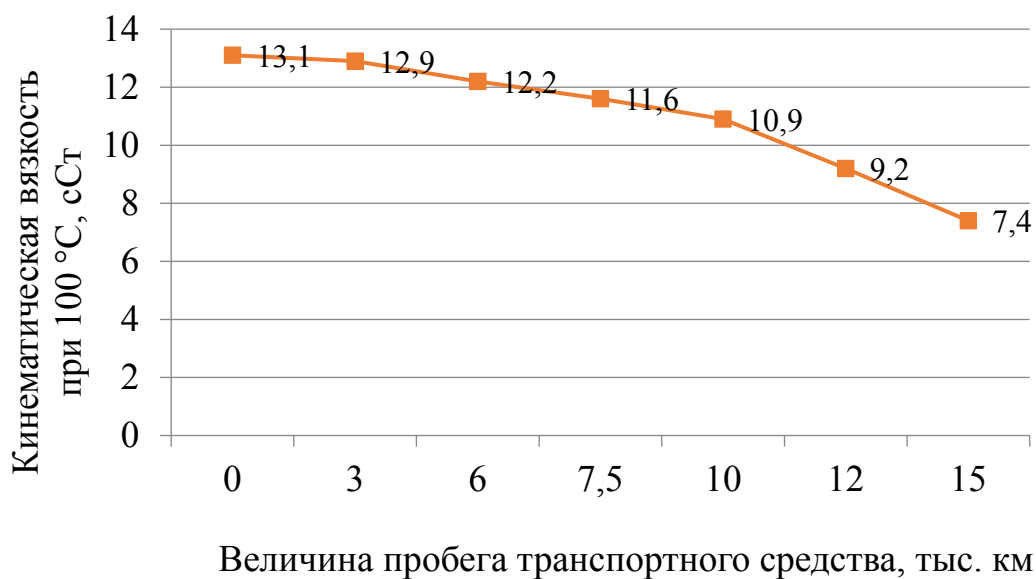


Рисунок 1 – Результаты исследования кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 при 100 °C при увеличении величины пробега транспортного средства

Кинематическая вязкость, измеренная при 100 °C при пробеге транспортным средством значения от 6 до 15 тыс. км при работе двигателя на моторном масле Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 снижается с 12,2 сСт до 7,4 сСт. Можно видеть (рисунок 1), что в результате пробега транспортным средством до рекомендуемого срока замены масла (15 тыс. км) кинематическая вязкость при 100 °C для моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40, в сравнении с исходным значением уменьшилась на 43,6 %. Причиной столь существенного снижения кинематической вязкости после 6 тыс. км пробега могут быть неполное сгорание топливно-воздушной смеси, а также утечка из системы питания в моторное масло топлива (бензин).

Таким образом, в результате исследований установлено, что моторное масло Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 целесообразнее заменить после 10–12 тыс. км пробега, а не после 15 тыс. км пробега (рекомендуемый пробег транспортного средства [3, 4]), ввиду снижения кинематической вязкости моторного масла, измеренной при 100 °C более чем на 30 %.

Литература

1. Пивоварчик, А. А. Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в ди-

зельных двигателях механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2019. – Т.9. – № 1. – С. 78–87.

2. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие/ И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с.

3. Зарочинцев, Ю. М. Моторные масла. Причины загрязнения моторных масел: учебн. пособие / Ю. М. Зарочинцев. – Челябинск: Челяб. гос. техн. ун-т., 1992. – 38 с.

4. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения: ТКП 248–2010 (02190). – Введ. 01.07.10. – Минск: Транстехника, 2012. – 42 с.

5. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости: ГОСТ 33–2000. – Переизд. февраль 2012. – Взамен ГОСТ 33–82; введ. Респ. Беларусь 01.01.02. – Минск: Госстандарт, 2012. – 19 с.

А. С. Пилипович

(БГУ, Минск)

Науч. рук. С. А. Тихомиров, д-р физ.-мат. наук, профессор

ДУАЛЬНАЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ 10-ГИДРОКСИ-АКРИДИН (1,8) ДИОНОВ В ПОЛЯРНЫХ РАСТВОРАХ

Введение. Акридин(1,8)дионовые красители (АДК) широко используются в различных областях науки и техники в качестве лазерных сред [1], медицинских препаратов [2], катализаторов фотополимеризации [3], сенсоров для обнаружения различных металлов и органических анионов [4]. Большой интерес вызывают также исследования, в которых АДК используются в виде структурного аналога кофермента никотинамидаденин-динуклеотидфосфата (НАДФ), катализирующего окислительно-восстановительные реакции в живых клетках [5]. Благодаря структурным особенностям АДК, позволяющим синтезировать производные с различными заместителями в положениях 9 и 10, был получен ряд красителей с определенными фотофизическими и фотохимическими свойствами, которые представляли интерес в качестве практических приложений.

В зависимости от природы заместителей сильно меняется фотостабильность АДК [6]. На основе АДК с фенил-замещением в положении 9 (Н), CH_3 – в положении 10 был предложен калориметрический и химический сенсор с участием внутри- и межмолекулярных процессов электрона [7].

Цель данной работы состоит в исследовании спектральных и фотофизических свойств синтезированных 10-гидрокси производных акридин(1,8)дионов, проявляющих дуальную флуоресценцию (ДФ) в полярных растворителях с определенными физико-химическими характеристиками. В результате проведенных исследований четырех производных 10-гидрокси-акридин(1,8)дионов, был выбран 10-гидрокси-3,3,6,6,9-пентаметил-1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-декагидроакридин-1,8-диона представленный на рисунке 1 (для краткости обозначим его I).

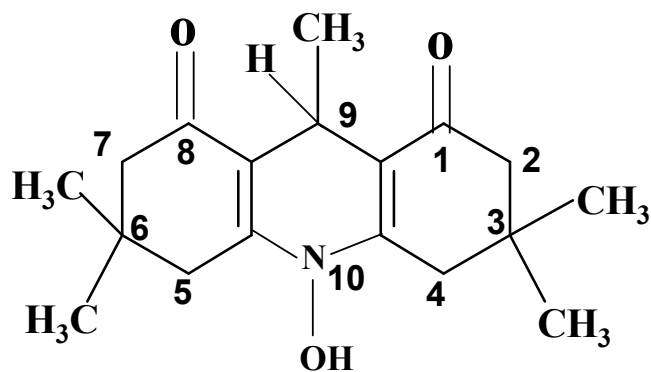


Рисунок 1 – Структурная формула 10-гидрокси-3,3,6,6,9-пентаметил-1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-декагидроакридин-1,8-диона (I)

Результаты и их обсуждение. Из представленных на рисунке 2 спектров поглощения и флуоресценции I видно, что при комнатной температуре в этаноле и ДМСО спектры флуоресценции состоят из двух полос, а в ацетонитриле и этаноле при 77К спектр флуоресценции однополосный.

Длинноволновая полоса флуоресценции в этаноле и ДМСО по положению совпадает с максимумом спектра флуоресценции аниона I. Необходимо отметить, что анионная форма I была получена в щелочной среде, спектр поглощения которой располагался при $\lambda_{\text{max}} = 500$ нм.

Однако спектры поглощения I в этаноле и ДМСО располагаются при $\lambda_{\text{max}} \sim 390$ нм, и спектры возбуждения флуоресценции в этих двух растворителях совпадают с их спектрами поглощения. На основании

этого можно сделать вывод, что вторая полоса флуоресценции возникает (аналогично анионной форме) в результате переноса электрона от растворителя к хромофору, который находится в возбужденном состоянии.

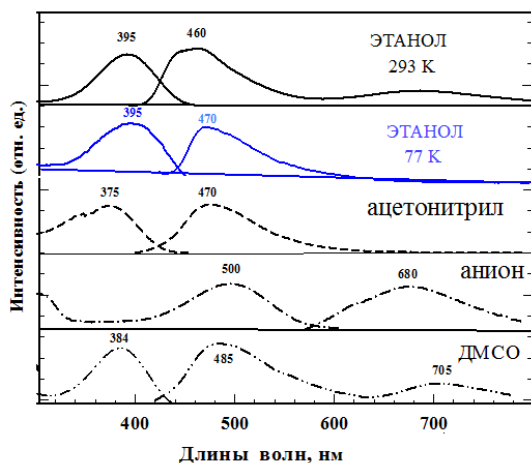


Рисунок 2 – Спектры поглощения и флуоресценции I в различных растворителях при 293 и 77 К

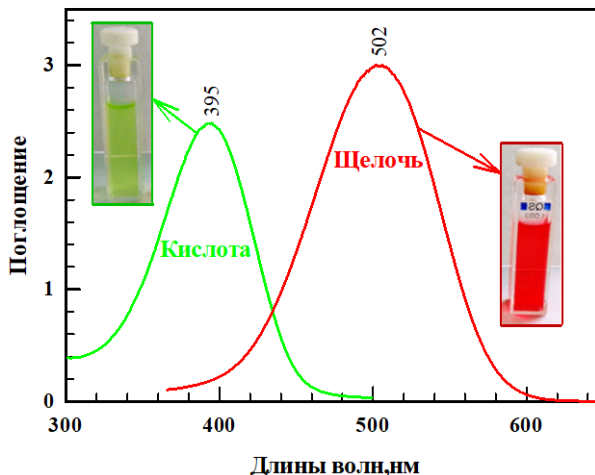


Рисунок 3 – Спектры поглощения I в кислой и щелочной средах

Вторая особенность I состоит в сильной зависимости спектра поглощения от pH среды. Так в кислой среде цвет раствора зеленый ($\lambda_{\max} \sim 400$ нм), а в щелочной – красный ($\lambda_{\max} \sim 500$ нм).

Выводы. Таким образом сильная зависимость спектрально-люминесцентных характеристик I от физико-химических свойств среды (основность/кислотность, вязкость и температура) позволяет рассматривать его в качестве перспективного флуоресцентного зонда и индикатора кислотно-щелочного равновесия.

Литература

1. Shanmugasundaram, P. A new class of laser dyes from acridinedione derivatives/ Palanisamy Shanmugasundaram, K. Joseph Prabahar, Vayalakkavoor T. Ramakrishnan.// J. Heterocycl. Chem – 1993 – V. 30. – P.1003–1007.
2. Croft, S. Review of pyronaridine anti-malarial properties and product characteristics/ Simon L Croft, Stephan Duparc, Sarah J Arbe-Barnes, J Carl Craft, Chang-Sik Shin, Lawrence Fleckenstein, Isabelle Borghini-Fuhrer and Han-Jong Rim// Malaria Journal – 2012– V.11– P. 1–28.

3. Foussier, J. P. Dyes as photoinitiators or photosensitizers of polymerization reactions / J. P. Foussier, F. Morlet-Savary, J. Lalevee, C. Ley // *Materials*. – 2010 – V.3 – P. 5130.

4. Thiagarajan, V. A novel colorimetric and fluorescent chemosensor for anions involving PET and ICT pathways/ Viruthachalam Thiagarajan, Perumal Ramamurthy, Dhakshanamurthy Thirumalai, Vayalakkavoor T. Ramakrishnan// *Organic letters*. – 2005 – V.7 – №4 – P. 657–660.

5. Maidwell, N.L. On the development of NAD(P)H-sensitive fluorescent probes/ N. L. Maidwell, M. Reza Rezai, C. A. Roeschlaub and P. G. Sammes, *J. Chem. Soc.// Perkin Trans.* – 2000. –V.1 – P. 1541–1546.

6. Gutsulyak, Kh. V. Relationship between the structure and photostability of decahydroacridine derivatives/ Kh. V. Gutsulyak, V. S. Manzhar, M. V. Mel'nik, T. I. Kalin // *Journal of applied spectroscopy* – 2005. – V.72. – №4 – P.488–494.

7. Thiagarajan, V. A novel fluorophore with dual fluorescence: local excited state and photoinduced electron-transfer-promoted charge-transfer state/ Viruthachalam Thiagarajan, Chellappan Selvaraju, E. J. Padma Malar, Perumal Ramamurthy// *ChemPhysChem* – 2004. – V.5. – P.1200. – 1209.

О. С. Рудько

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. И. Жогаль**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ИНТЕГРАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

С развитием глобальной сети Интернет появилось множество быстрорастущих и полезных систем с различной функциональностью и своим набором протоколов, программных интерфейсов и других средств коммуникации с пользователем, но без достаточного взаимодействия с другими системами. По причине отсутствия правильной связи и необходимых программно-аппаратных средств, пользователи данных систем вынуждены выполнять долгую рутинную работу сначала в одной системе, затем, после получения результата, вносить их в другую систему. Таким образом происходит обмен данными сторонних систем с помощью вложенных усилий человека, что приводит к большому количеству ошибок и слабой оценке времени выполне-

ния. Построение технологического комплекса интеграционного взаимодействия распределенных систем позволяет убрать из системы человеческий фактор, таким образом уменьшить количество ошибок, приблизить время выполнения поставленных задач к константе, другими словами, автоматизировать процесс взаимодействия систем.

Отличие разрабатываемого программно-технологического комплекса от других подобных систем в том, что система ориентируется на простое и интуитивно-понятное взаимодействие с пользователем, серьезным подходом к безопасности хранения личных данных пользователей, масштабируемостью, отказоустойчивостью, открытостью описания интерфейсов работы с ней и служб.

Особенностью разрабатываемого программно-технологического комплекса является то, что участниками данной распределенной системы может быть любой сервис глобальной сети, вне зависимости от его способности интегрироваться с другими сервисами, для дальнейшей автоматизации рутинных работ, развития связей и бизнеса.

Данный программно-технологический комплекс имеет большой круг применения – системы ведений отчетности, бухгалтерские системы, образовательные системы, различные торговые площадки, административные сервисы, различные контакт-центры, системы риэлтерских услуг, почтовые сервисы и другие системы с большим оборотом данных.

Преимущество данной системы в том, что она производит полную журнализации действий пользователя, устойчива к сетевым ошибкам, масштабируема, прозрачна, имеет интуитивно-понятный интерфейс, оповещение пользователей о успешном выполнении действия.

А. П. Сазанков

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. В. Шилько**, канд. техн. наук, доцент

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ШИННЫХ РЕЗИН

Введение. Механико-математическое описание вязкоупругих свойств шинных резин на основе реологических моделей позволяет уже на стадии проектирования прогнозировать диссипативные параметры резинокордных композитов и эксплуатационные показатели автомобильных шин, в частности, сопротивление качению [1]. В рас-

четной практике используются линейные вязкоупругие модели наследственного типа [2–5], имеющиеся в программном обеспечении конечноэлементного анализа MSC.Marc и др.

Цель исследования – характеристика вязкоупругих свойств шинных резин в рамках линейной вязкоупругой модели Прони.

С этой целью были проведены механические испытания 20-ти составов шинных резин на малоцикловое растяжение с амплитудой деформации 50% с последующей релаксацией (машина Инстрон 5567) и на циклическое продольное растяжение в условиях одноосного напряженного состояния образца с амплитудой смещения 0,2 мм (прибор DMA Q800) в квазистатическом и динамическом режимах нагружения соответственно.

Вычисление реологических констант для испытанных материалов с использованием вышеуказанной модели предусматривает процедуру верификации по схеме, предложенной специалистами NAFEMS и ASME (рисунок 1).

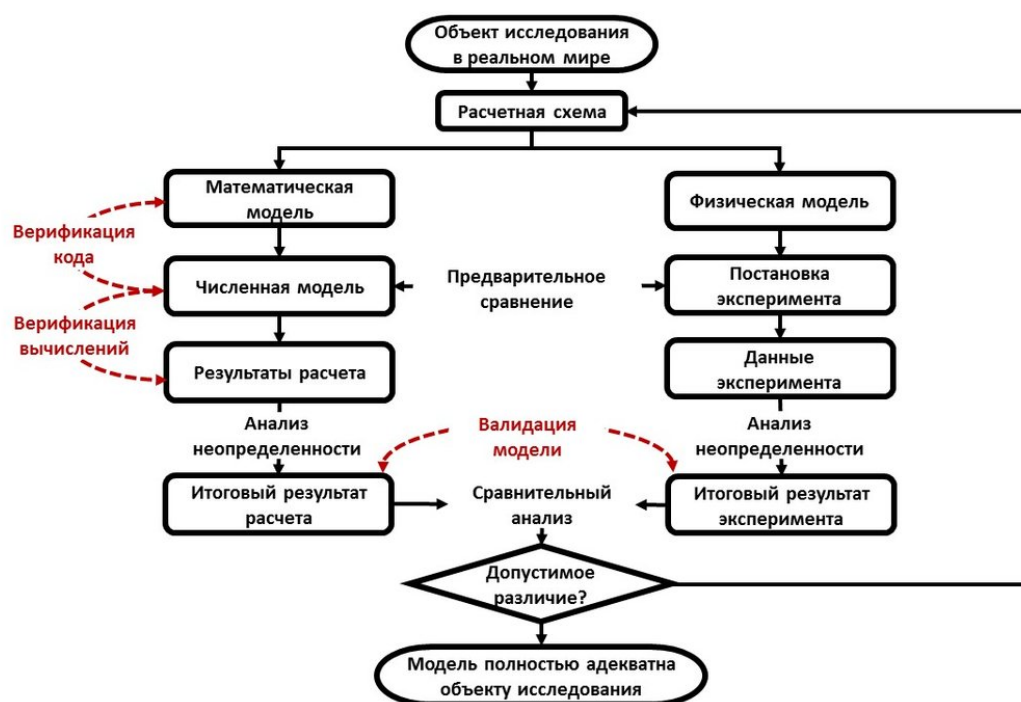


Рисунок 1 – Схема исследования адекватности моделирования

Подразумевается, что разработчик изделия (в данном исследовании, автомобильной шины) создает его расчетную схему и два вида моделей – математическую (аналитическое описание в виде формул) и численную, т.е. программный код, реализующий последователь-

ность вычислений по математическим формулам. Верификация призвана установить соответствие между математической и численной моделями. В нашем случае верификация необходима при оценке пригодности рассматриваемых моделей вязкоупругого деформирования шинных резин для последующей численной реализации. Верификация такого рода представляет собой исследование чувствительности модели, т.е. проверку на устойчивость расчетных значений при изменении входных данных в определенном диапазоне.

Для расчета реологических констант математическое выражение модели Прони записывалось в следующем виде:

$$\sigma_{ij}(t) = \int_0^t 2G(t-\tau) \frac{de_{ij}(\tau)}{d\tau} d\tau + \delta_{ij} \int_0^t K(t-\tau) \frac{d\theta}{d\tau} d\tau$$

Здесь $G(\xi) = G_\infty + \sum_{i=1}^{n_G} G_i e^{-\frac{\xi}{\lambda_i^G}}$, $K(\xi) = K_\infty + \sum_{i=1}^{n_K} K_i e^{-\frac{\xi}{\lambda_i^K}}$, $G(0) = G_\infty + \sum_{i=1}^{n_G} G_i = \mu$,

$K(0) = K_\infty + \sum_{i=1}^{n_K} K_i = K$, $\lambda_i^G = \lambda_i^K = \lambda_i^E$, $\lambda_i^E(T) = a_T(T-T_0)\lambda_{i0}^E$, λ_{i0}^E – время релаксации, соответствующее температуре приведения $T_0 = 293K$; $\delta_i = \frac{E_i}{E}$ – отношение модулей упругости.

Анализировались приращения используемых в модели напряженно-деформированного состояния образцов шинных резин тех материальных функций и характеристик, которые связаны явным или неявным образом с параметрами, варьируемыми в ходе механических испытаний указанных материалов.

После верификации параметры модели Прони вычислялись с помощью программы, написанной в среде Mathcad 14.0. В качестве примера в таблице 1 приведены реологические константы модели Прони для 3-х видов шинных резин различного назначения.

Таблица 1 – Результаты расчета вязкоупругих характеристик

№	Деталь шины	Реологические параметры модели Прони					
		λ_{i0}, c			δ_i		
		1	2	3	1	2	3
1	Брекер	0,027	2,166	410,85	0,308	0,126	0,124
2	Прослойка под протектор	0,238	281,53	9,32	0,131	0,074	0,062
3	Герметизирующий слой	0,006	0,716	183,33	0,535	0,083	0,177

Заключение

С привлечением методов статических и динамических механических испытаний, а также реологической модели Прони исследованы вязкоупругие свойства 20-ти видов резин, используемых для изготовления различных деталей автомобильных шин. Верификация модели и проведенные расчеты показали ее применимость для характеристики шинных резин, как важного этапа проектирования указанных резинотехнических изделий.

Литература

1. Хотько, А. В. Возможности оптимального проектирования автомобильной шины по критерию пространственной равнопрочности / А. В. Хотько, С. В. Шилько, С. Н. Бухаров // Мех. машин, механизмов и матер. – 2020. – № 4. – С. 11–18.
2. Кристенсен, Р. Введение в теорию вязкоупругости / Р. Кристенсен. – М.: Мир, 1974. – 340 с.
3. Кравчук, А. С. Механика полимерных и композиционных материалов: учебное пособие / А. С. Кравчук, В. П. Майборода, Ю. С. Уржумцев. – М.: Наука, 1985. – 303 с.
4. Ghoreishy, H. R. Determination of the Parameters of the Prony Series in Hyper-Viscoelastic Material Models Using the Finite Element Method / H. R. Ghoreishy // Journal of Materials and Design. – 2012. – Vol. 35. – P. 791–797.
5. Определение реологических параметров полимерных материалов на основе идентификации вязкоупругой модели Прони по результатам статических и динамических испытаний / С. В. Шилько [и др.] // Мех. машин, механизмов и матер. – 2017. – № 3. – С. 33–38.

А. Д. Свечко
(БГУ, Минск)

Науч. рук. **Е. И. Коваленко**, канд. биол. наук, доцент

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В СИСТЕМАХ, СОДЕРЖАЩИХ ГРАФЕНОВЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ С ЛЮМИНОЛОМ И ОКИСЛИТЕЛЯМИ

Графеновые квантовые точки (ГКТ) представляют собой новый тип углеродных наночастиц, состоящих из малого числа слоев графе-

на (до 10 слоев) и имеющие латеральный диаметр от 1 до 100 нм [1, 2]. ГКТ обладают стабильной фотолюминесценцией с максимумом испускания, положение которого определяется размером ГКТ. Для них характерна устойчивость к фотообесцвечиванию, механическая и химическая стабильность, а также биосовместимость (в отличие от токсичных полупроводниковых и металлических квантовых точек). В связи с этим рассматриваются перспективы применения ГКТ в различных областях физики, биологии и технологий, в частности, их использования в качестве флуоресцентных зондов, маркеров для визуализации и диагностики биоматериалов [1–4].

Свойства ГКТ, включая степень окисления поверхности, плотность поверхностного заряда, статус допирования, связывание с полимерами могут существенно различаться в различных условиях и средах [2]. Было показано, что флуоресценции ГКТ тушится ионами металлов Ag^+ , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Fe^{3+} , тринитрофенолом, нитровзрывчатыми веществами, в системе H_2O_2 /пероксидаза хрена, на основании чего предложено создание микродатчиков для обнаружения данных соединений с помощью ГКТ [1, 3, 4]. Создаются различные модификации ГКТ со специфическими свойствами. Так, были разработаны наноконпозиты на основе легированных азотом ГКТ и Cu(II) , проявляющие пероксидазоподобную активность в системе люминол- H_2O_2 и вызывают хемилюминесценцию (ХЛ) [5]. Следует отметить, что ХЛ и флуоресценция (ФЛ) являются важными методами анализа различных химических и биологических систем.

Цель работы: изучить ФЛ и ХЛ при взаимодействии ГКТ с люминолом и окислителями H_2O_2 и OCl^- .

В работе использованы реагенты: люминол, 30 % раствор H_2O_2 , NaOCl , водная суспензия ГКТ («Sigma-Aldrich»), остальные реагенты производства РБ. ГКТ имели высоту 1-2 нм и латеральный диаметр < 5 нм. Исследования выполнены в буферном растворе Эрла при pH 7,3. ХЛ изучали с использованием хемилюминометра БХЛ-2 (кафедра бифизики, БГУ), включающего ФЭУ-39А, оснащенного аппаратно-программным комплексом получения и обработки данных «Unichrom» («Новые аналитические системы», РБ). При этом регистрировали кинетические зависимости интенсивности ХЛ. Исследования ФЛ и спектров поглощения проводили с применением спектрофлуориметра CM 2203 («СОЛАР», РБ).

ФЛ люминола характеризуется полосой испускания с двумя перекрывающимися пиками с максимумами при λ_{em} 418 и 438 нм, при этом длинноволновой максимум в спектре возбуждения наблюдается

при λ_{ex} 348 нм (рисунок 1, а). Выявлено, что ФЛ люминола сильно тушится в присутствии 50 мкг/мл ГКТ, при этом проявляется полоса флуоресценции ГКТ с максимумом при λ_{em} 536-540 нм (рисунок 1, а).

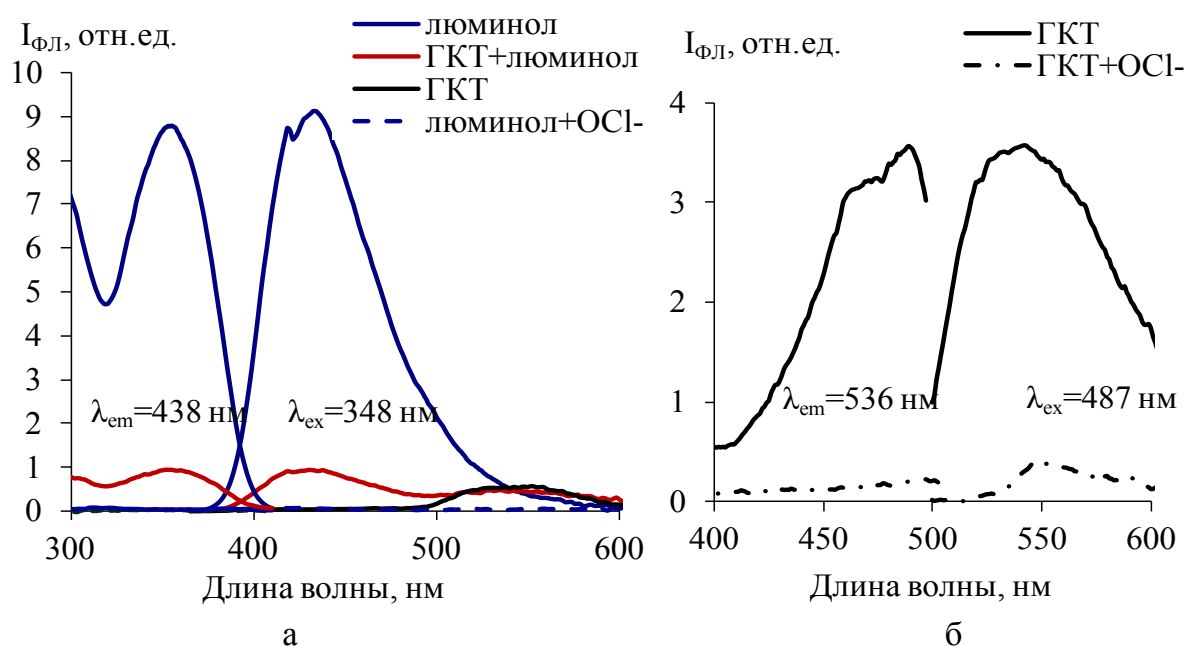


Рисунок 1 – Спектры ФЛ (возбуждения и испускания) для люминола (25 мкг/мл) и ГКТ (50 мкг/мл) в отсутствие и присутствии 0,1 ммоль/л ОСГ

Установлено, что ГКТ, суспензированные в растворе Эрла, имеют максимум ФЛ при длине волны возбуждения λ_{ex} 487 нм и длине волны испускания λ_{em} 536 нм, полуширина полосы испускания составляет 89 нм (рисунок 1, б). Спектрофотометрический анализ показал, что спектры поглощения ГКТ и люминола аддитивны (рисисунок 2).

Гипохлорит дозозависимым образом приводит к снижению оптической плотности и интенсивности ФЛ ГКТ и люминола вплоть до практически полного исчезновения полос при концентрации ОСГ 0,1 ммоль/л (рисунок 1, 2). Реакция взаимодействия ГКТ с ОСГ, по-видимому, происходит через образование короткоживущих возбужденных интермедиатов, поскольку при этом регистрируется кратковременная интенсивная вспышка ХЛ, как в отсутствие, так и в присутствии люминола.

H_2O_2 не влияет на спектры поглощения и ФЛ люминола и незначительно снижает интенсивность ФЛ ГКТ. ХЛ, вызванная окислением люминола H_2O_2 , усиливается после добавления ГКТ.

Таким образом, ГКТ значительно снижают интенсивность ФЛ люминола в отсутствие и присутствии H_2O_2 или ОСГ. Однако ГКТ

оказывают различного типа влияние на ХЛ люминола при химической реакции его взаимодействия с H_2O_2 или ОСІ. Выявленные эффекты могут быть следствием каталитического окисления люминола H_2O_2 под действием использованных ГКТ.

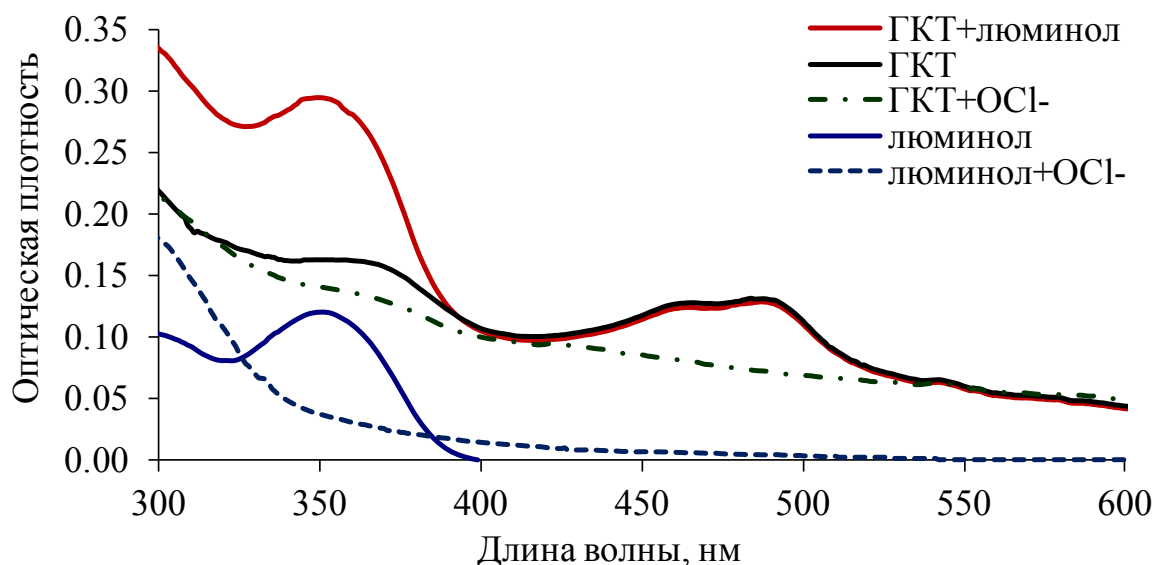


Рисунок 2 – Спектры поглощения для ГКТ (50 мкг/мл) и люминола (25 мкг/мл)

Литература

1. Kumara, Y. R. Graphene quantum dot based materials for sensing, bio-imaging and energy storage applications: a review / Y. R. Kumara, et al. // RSC Adv. – 2020. – V.10. – P. 2386–23898.
2. Chauhan, N. Graphene based biosensors-accelerating medical diagnostics to new-dimensions / N. Chauhan, T. Maekawa, D. N. S. Kumar // J. Mater. Res. – 2017. – V. 32. – P. 2860–2882.
3. Mastar, A. A. An optical sensor based on graphene quantum dots for hydrogen peroxide detection / A. A. Mastar, J. Abdullah, N. A. Yusof, Y. W. Fen // Malays. J. Analyt. Sci. – 2019. – V. 23, N. 4. – P. 572–579.
4. Liang, L. A review on the cytotoxicity of GQDs: from experiment to simulation / L. Liang // Nanoscale Adv. – 2021. – P. 1.
5. Khan, P. Luminol-based chemiluminescent signals: clinical and non-clinical application and future uses / P. Khan, et al. // Appl. Biochem. Biotechnol. 2014. – V. 173, N2. – P. 333–355.

Н. А. Сернов
(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **Н. А. Ахраменко**, канд. техн. наук, доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ В МАГНИТАХ

В современной науке одной из основных проблем является поиск новых материалов. Внушительное количество научных лабораторий по всему миру проводит исследования, направленные на открытие новых материалов, нахождение им применения в различных сферах человеческой жизни, науки и техники. Основной причиной проведения такого рода исследований является современная тенденция оптимизации производственных процессов, обусловленная растущим кругом потребностей сегодняшнего общества.

Одним из примеров использования такого рода новых материалов являются сверхпроводящие материалы в магнитах (далее – сверхпроводящие магниты). Сверхпроводящие магниты – по сути, те же самые обычные электромагниты, однако у них есть одно принципиально важное отличие: обмотка данных магнитов не медь или алюминий, а сверхпроводник второго рода. Сверхпроводники второго рода – особые сплавы металлов (ниобий-олово, ниобий-титан) либо сочетания веществ (оксид-иттрия-бария-меди), способные при определенных очень низких температурах (например, оксид-иттрия-бария-меди проявляет сверхпроводимость при температуре в 93 К) пропускать магнитный поток в виде квантовых вихрей. Также стоит отметить, что у данного рода сверхпроводников зависимость магнитной индукции от напряженности продольного магнитного поля не линейна. В добавок ко всему, в сверхпроводниках при протекании по ним электрического тока практически отсутствуют тепловые потери. Связано это с тем, что переносчиками заряда в сверхпроводниках являются не электроны, как в обычных проводниках, а спаренные электроны, или куперовские пары.

Как было упомянуто выше, сверхпроводящие магниты работают при определенных условиях. По этой причине для использования данных магнитов необходимо создавать и постоянно поддерживать эти условия с помощью определенного рода веществ (жидкий азот, гелий). Обобщенное устройство сверхпроводящего магнита такое: сам электромагнит и нагреватель, подключенные к цепи постоянного тока, внутренний сосуд Дьюара, наполненный жидким гелием, в ко-

торый погружен электромагнит, и внешний сосуд Дьюара, заполненный жидким азотом, в который погружен сосуд Дьюара с жидким гелием. Внешний сосуд Дьюара необходим для минимизации проведения тепла к внутреннему сосуду из окружающей среды.

При соблюдении всех данных условий обмотка магнита начинает проявлять сверхпроводниковые свойства: ее сопротивление становится практически нулевым. Более того, по причине нулевого сопротивления, даже при отсутствии питания от цепи постоянного тока, в обмотке будет сохраняться незатухающий циркулирующий по обмотке ток. Это позволяет без особенно больших затрат электрической энергии, по сравнению с обычными электромагнитами, энергии создать магнитное поле большой мощности. Магнитное поле данных магнитов может быть настолько велико, что диамагнетики, находящиеся в их поле, начинают парить в воздухе. На сегодняшний день самый мощный сверхпроводниковый магнит способен создать магнитное поле величиной более 10 Тл.

В добавок к вышесказанному, необходимо упомянуть, что затраты на питание сверхпроводниковых магнитов в среднем ниже в 500 раз, чем затраты на питание обычных электромагнитов, создающих магнитное поле такой же величины, как и сверхпроводящий магнит. Максимальное потребление энергии у сверхпроводящего магнита – до 150 кВт, а для обычных электромагнитов – до 60 МВт.

Данные магниты применяются при научных исследованиях плазмы, электрических и оптических свойств разного рода веществ; в радиолокации. Также эти магниты нашли применение и в транспорте: поезда на магнитной подушке «левитируют» над сверхпроводящим магнитом, благодаря чему появляется возможность развивать огромные скорости движения. Необходимо также отметить, что на сегодняшний день ведутся научные исследования по совершенствованию сверхпроводящих магнитов: данные магниты можно использовать в качестве накопителей энергии с большим временем разрядки, по сравнению с обычными накопителями энергии.

Таким образом, сверхпроводящие магниты – будущее технологий. Их использование позволит выйти на качественно новый уровень в технике, снизить энергетические затраты, уменьшить габариты устройств, достигнуть больших мощностей. При их создании применяются все новые и новые сверхпроводники, открытые учеными экспериментально. Однако на данный момент широко применения в быту данные магниты не получили из-за своих габаритов и веса, но в

будущем, скорее всего, сфера их применения расширится, так как наука и техника не стоят на месте.

Д. В. Слепенков

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. А. Хахомов**, д-р физ.-мат. наук, доцент

СОЗДАНИЕ ТРЁХПИКОВОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ В ДИАПАЗОНЕ 1–6 ГГц

В ходе анализа научной литературы были изучены различные метаматериалы и метаповерхности, предназначенные для поглощения электромагнитного излучения [1–5]. Наиболее интересной с точки зрения рабочего диапазона оказалась структура трёхпикового поглотителя, предложенная учеными из университета Цзяннань, г. Уси, Китай [1].

Метаматериал представляет собой многослойную структуру, в которой чередуются слои, позволяющие точно настраивать полосу поглощения (рисунок 1).

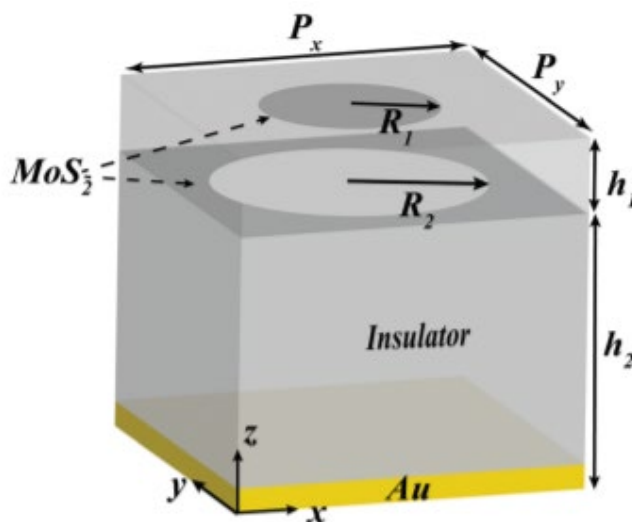


Рисунок 1 – Схематическое изображение трёхслойного поглотителя [1]

Настройка производится путём вариации величины радиуса диска R_1 , отверстия – R_2 и расстояний между ними h_1 , а также толщины изолятора h_2 . Важным элементом структуры является материал диска и отверстия. В данном случае таким материалом стал сульфид молибдена.

Моделирование и создание метаматериала проводилось для микрометрового диапазона длин волн, а картина поглощения несколько различается для каждого из элементов этой структуры. Так, наиболее широкой полосой поглощения является пик, образованный отверстием, чуть более узким является пик для диска (рисунок 2).

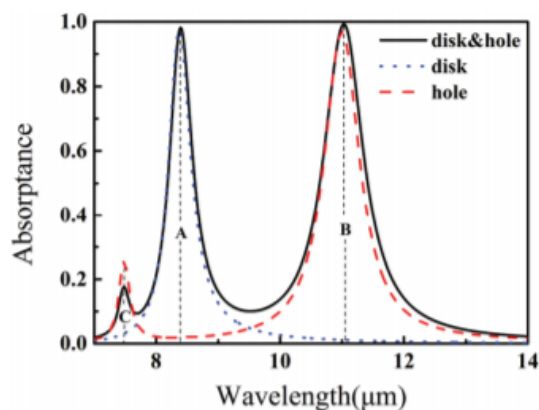


Рисунок 2 – График зависимости поглощения метаматериала от длины волны [1].

В настоящее время решается задача создания подобного метаматериала для иного рабочего диапазона от 1 до 6 ГГц и поиска альтернативных, более дешевых материалов для изготовления образца. Для моделирования используется программный пакет компании ANSYS, экспериментальные исследования физической модели будут проводиться в лаборатории «Физика волновых процессов» ГГУ им. Ф. Скорины (рисунок 3, 4).

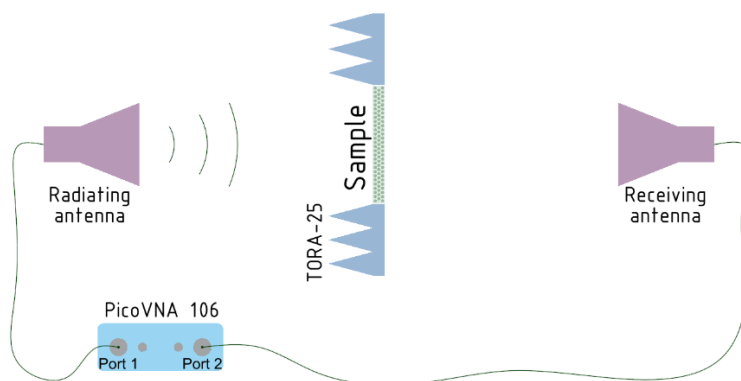


Рисунок 3 – Схема проведения экспериментальных исследований по измерению коэффициента поглощения излучения экспериментальным образцом метаповерхности при падении излучения по нормали к метаповерхности



Рисунок 4 – Беззочная камера с блоком управления аппаратно-программного комплекса ЮСТ FarField с портативным компьютером, а также опорно-поворотное устройство с антенной П6-126

Литература

1. Wang J. et al. Independent tunable multi-band absorbers based on molybdenum disulfide metasurfaces // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2019. – Т. 21. – №. 43. – P. 24132-24138.
2. Ditlbacher H. et al. Two-dimensional optics with surface plasmon polaritons // *Applied Physics Letters*. – 2002. – Т. 81. – №. 10. – P. 1762–1764.
3. Liu Y., Zhong R., Huang J., Lv Y., Han C., Liu S. Independently tunable multi-band and ultra-wide-band absorbers based on multilayer metal-graphene metamaterials // *Opt. Express*. – 2019. – Vol. 27, № 5. – P. 7393–7404.
4. Feng Y., Hu Z.-D., Balmakou A., Khakhomov S., Semchenko I., Wang J., Liu D., Sang T. Perfect Narrowband Absorber Based on Patterned Graphene-Silica Multilayer Hyperbolic Metamaterials // *Plasmonics*. – 2020. – Vol. 15. – P. 1869–1874.

5. Bao Z., Tang Y., Hu Z.-D., Zhang C., Balmakou A., Khakhomov S., Semchenko I., Wang J. Inversion Method Characterization of Graphene-Based Coordination Absorbers Incorporating Periodically Patterned Metal Ring Metasurfaces // *Nanomaterials*. – 2020. – Vol. 10, № 1102. – P. 1–10.

П. В. Сомов

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **И. В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

КИРАЛЬНЫЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВОЛНИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В последнее время исследователи всё больше и больше проявляют свой научный интерес к 3D микроструктурам и наноструктурам, используемым в качестве электрически активных резонансных элементов в метаматериалах, фотонных кристаллах и в трансформационной оптике.

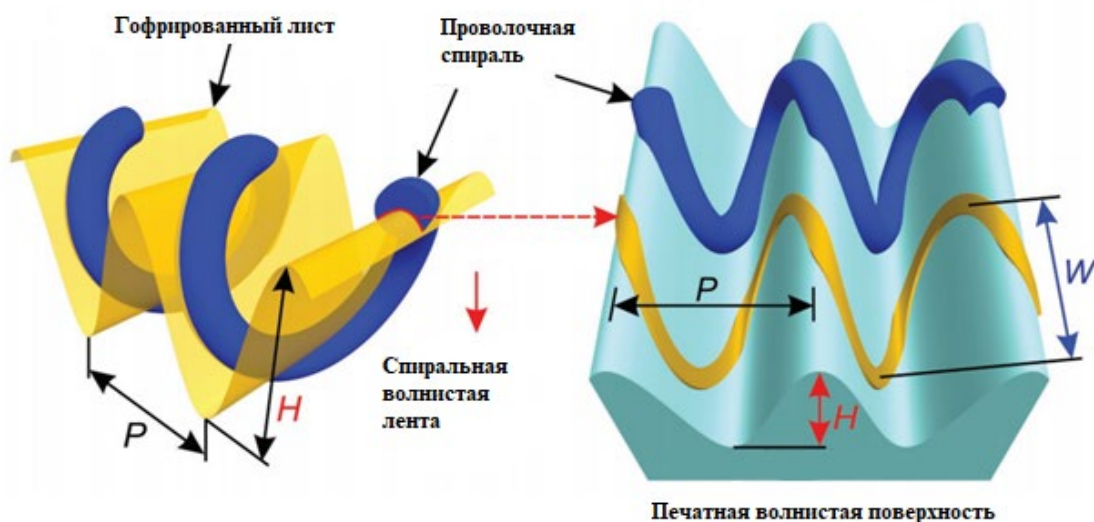
В данной статье будут рассмотрены киральные метаматериалы на основе трёхмерных спиралей с оптической активностью, значительно превышающей оптическую активность природных кристаллов. Значительный интерес к метаматериалам обусловлен их колоссальной перспективностью в качестве ультратонких поляризаторов, модуляторов, фильтров, неотражающих и высоко поглощающих покрытий, материалов с отрицательным показателем преломления, а также для множества других применений.

На данный момент существует множество методов последовательной 3D печати, которые позволяют сформировать метаматериалы практически любой конфигурации для широкого диапазона длин волн (от микроволнового до видимого). Для создания спирального рельефа можно использовать множество методов: теневое напыление металла, использование ионно-лучевых технологий для напыления металла, непосредственная печать спиралей с помощью электрохимического осаждения металла из жидкого капилляра, экструзионная печать, стереолитография, формование и многие другие.

Отсутствие массового использования трёхмерных метаматериалов заключается в сложности и цене производства, поэтому целью данной работы является краткий обзор новых оригинальных подходов.

Дизайн метаповерхностей

Существует три основных вида спиралей: проволочная, ленточная, Архимедов винт. В данной статье будет рассмотрен четвёртый тип 3D спиралей, который можно назвать «спиральной волнистой лентой».



P – шаг гофры; H – высота гофры; W – размах спирали.

Рисунок 1 – Проволочная спираль, расположение спиралей на печатной подложке

Ввиду того, что шаг и высота гофрированного листа совпадают с шагом и диаметром спирали, то они могут быть идеально совмещены. Гофра совпадает с винтовой линией, проходящей через осевую линию проволоки, результатом является их взаимное пересечение.

Проволочную спираль можно заменить ленточной спиралью, которая с большой точностью повторяет её рельеф.

Траектория движения точки M может быть задана с помощью уравнений:

$$x(t) = \frac{W}{2} \sin(t), \quad y(t) = \frac{P}{2\pi} t, \quad z(t) = \frac{H}{2} \cos(t + \varphi),$$

где P – шаг спирали;

H – высота гофры;

W – размах спирали;

t – угол между осью Z и линией OM' , где M' – проекция точки M на плоскость ZX ;

φ – фазовое смещение спирали относительно рельефа.

Нетрудно заметить, что ограничением для параметров спирали являются геометрические размеры подложки, ввиду того что спираль и подложка должны плотно накладываться друг на друга. Контроль над количеством витков можно осуществить с помощью зазоров ленты, либо сдвигов высоты рельефа. В отличие от полупроводниковой технологии, 3D – печать позволяет создавать подложки с любым рельефом: постепенным, гранённым с переменными наклонами и любые другие. К тому же, нет необходимости выравнивать печатный объект в соответствии с кристаллографическими направлениями.

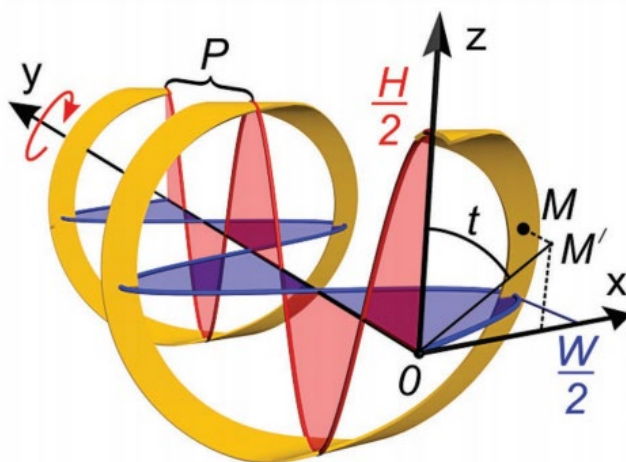


Рисунок 2 – Схема ленточной спирали

Литература

1. Large-Area 3D-Printed Chiral Metasurface Composed of Metal Helices [Electronic resource] / S. V. Golod, V. A. Seyfi, A. F. Buldygin, A. E. Gayduk, V. Ya. Prinz // Wiley Online Library, 2018 – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adom.201800424> – Date of access: 25.03.2021.
2. Transformation of the polarization of electromagnetic waves by helical radiators [Electronic resource] / I. V. Semchenko, S. A. Khakhomov, A. L. Samofalov // SpringerLink, 2007 – URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1064226907080037> – Date of access: 25.03.2021.
3. Manufacturing chiral electromagnetic metamaterials by directional rolling of strained heterofilms [Electronic resource] / E. V. Naumova, V. Ya. Prinz, S. V. Golod, V. A. Seleznev, R. A. Soots, V. V. Kubarev // ResearchGate, 2009. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/230951758>. – Date of access: 25.03.2021.

Е. В. Стрельченко
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ О ПОГОДЕ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯ PYOWM

PyOWM – это клиентская библиотека-оболочка Python для веб-API OpenWeatherMap (OWM), переводится как Открытые Погодные Карты (ОПК). Эта клиентская библиотека-оболочка позволяет быстро и легко использовать данные OWM из приложений Python с помощью простой объектной модели и в удобной для человека форме, поэтому этот модуль популярен у пользователей Python.

API (Программный Интерфейс Приложения (ПИП)) – описание способов (процедур, функций, структур), которыми одна компьютерная программа может взаимодействовать с другой.

Рассмотрим небольшой пример использования возможностей модуля PyOWM, для получения интересующих нас данных, таких как температура, скорость ветра, влажность, облачность и т.д. Начинаем с инициализации PyOWM с конфигурацией по умолчанию, при помощи команды:

```
from pyowm import OWM;
```

Английский является языком по умолчанию в OWM API, но его можно изменить следующим образом – импортируем настройки по умолчанию из утилиты PyOWM:

```
from pyowm.utils.config import get_default_config;
```

Утилита – вспомогательная компьютерная программа в составе общего программного обеспечения для выполнения специализированных типовых задач.

Создаем переменную, в которой будет записана конфигурация по умолчанию:

```
config_dict = get_default_config();
```

Выберем необходимый нам язык, например *'ru'* – русский:

```
config_dict['language'] = 'ru';
```

Текущие метеоданные берутся с источника OpenWeatherMap, для того чтобы получать точную информацию нам необходимо получить API-ключ и вставить его. В следующей строке укажем наш API-ключ и установим язык:

```
owm = OWM('c07ab4c9a51b608b7c5efb35b9f934ee', config_dict);
```

Итак базовые настройки завершены.

Нужно чтобы программа просила пользователя указать интересное его местоположение и запоминала его, для этого создаем переменную *place* и присваиваем ей результат функции *input()*, внутри которой введён текст, который будет отображён пользователю:

```
place = input("Введите ваш город:");
```

Для нахождения текущей погоды в городе создаем переменную и присваиваем ей результат функции *weather_at_place()*:

```
observation = mgr.weather_at_place(place);
```

Вместо *place* будет подставлена, точка на карте, которую пользователь указал ранее.

```
w=observation.get_weather();
```

Записываем данные в переменную *w*. Создаём еще несколько переменных для конкретных значений. В переменную температура записываем данные с помощью функции *w.temperature()*, дословно(погода.температура), после в скобках указываем в каких единицах измерения. Для остальных параметров вызываем соответствующие функции и записываем данные:

```
temp=w.temperature('celsius') # температура;
```

```
wind=w.wind(); # скорость и угол наклона ветра;
```

```
humidity=w.humidity; # влажность;
```

```
clouds=w.clouds; # облачность;
```

Вывод информации о запрашиваемом объекте происходит следующим образом: функция *print()* выводит данные помещенные внутри кавычек:

```
print(" В городе "+place+ " погода на данный момент");
```

Знак «+» – это конкатенация, здесь мы прибавляем к нашему тексту информацию полученную из поля *place*.

```
print(" Температура: находится в пределах "+ str(temp));
```

Команда *str()* необходима, потому что функция *print* выводит данные только одного типа, поэтому необходимо перебросить *temp* из численного типа в строковый:

```
print( " Ветер: " +str(wind));
```

```
print( " Влажность: " +str(humidity));
```

```
print( " Облачность: " +str(clouds));
```

```
print( " Статус: " +w.detailed_status);
```

Далее задаются условия для отображения совета пользователю в зависимости от температуры за окном:

```
if temp < 0:
```

```
print(" Совет: За окном довольно прохладно, лучше одеться потеплее!")
```

elif temp > 0:

print(" Совет: За окном уже теплее, но шапку лучше одеть").

Как видно из краткого примера пользоваться PyOWM достаточно легко и просто. PyOWM имеет удобный функционал, который может освоить, каждый желающий.

А. Судан, С. В. Губар

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Скаскевич**, канд. техн. наук, доцент

ОСОБЕННОСТИ FDM-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕПЛАСТИКА УПА 6-10

В работе проведены исследования влияния технологических условий FDM-печати на параметры деформационно-прочностных характеристик полимерных изделий. Для достижения поставленной цели с помощью 3D принтера Ultimaker 3 получали стандартные образцы в виде лопаток тип 1 согласно ГОСТ 11262-80. В качестве испытуемых материалов использовали филамент диаметром 1,75мм на основе углепластика УПА6-10 полученный в Институте химии новых материалов Академии наук Беларуси. Предварительно полимерный филамент подвергали термостатированию в сушильном шкафу при температуре 95 ± 5 °С в течение 4 часов для снижения содержания влаги не более 0,01 мас.%. Параметры FDM-печати устанавливали в программе-слайсере CraftWare 1.19.

Таблица 1 – Параметры настроек печати исследуемых образцов

Основные параметры настройки печати	УПА 6–10
Скорость перемещения сопла экструдера при печати, мм/сек	20–60
Толщина слоя печати, мм	0,2
Ширина печати, мм	0,4
Количество слоев наружной стенки изделия	1–6
Температура стола, °С	70
Температура экструзии, °С	250
Неуказанные параметры настройки печати были одинаковыми для всех образцов	

Для определения деформационно-прочностных характеристик изделий получали по 5 стандартных образцов при температуре печати 250 °С. Температура приемного столика составляла 70 °С. Оценку

деформационно-прочностных характеристик полученных образцов проводили на разрывной машине РМ-500 в режиме одноосного растяжения со скоростью 10 мм/мин с фиксацией деформации и усилия растяжения. Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики с применением табличного редактора Microsoft Excel 2010.

Для оценки влияния эффекта ориентированного послойного наплавления в процессе печати изменяли параметр «количество слоев вертикальной стенки изделия», управляя объемом параллельно ориентированных слоев материала к оси растяжения (таблица 2).

Таблица 2 – Доля ориентированных слоев материала в испытываемых образцах

Количество вертикальных стенок, шт	1	2	3	4	5	6
Доля параллельно-ориентированной структуры объема материала, %	16	32	48	64	80	100

Результаты исследования влияния скорости печати образцов на основе материала УПА 6-10 на показатели предела прочности при одноосном растяжении (рисунок 3) указывают на некоторое снижение деформационно-прочностных характеристики полученных изделий при увеличении скорости печати в пределах 20-60 мм/сек.

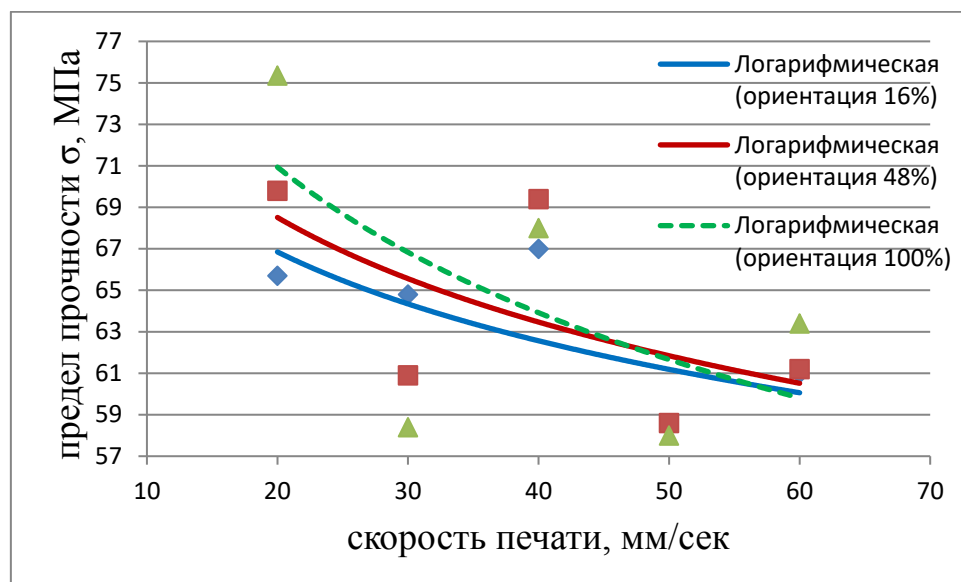


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности напечатанных образцов из материала УПА 6-10 от скорости FDM-печати с различной долей ориентации направления печати

При этом заметно влияние эффекта ориентации при послойном формировании изделий в процессе печати. Так при малых скоростях

печати (20 мм/сек) предел прочности заметно увеличивается с увеличением доли ориентированных структур образцов (16%-ая доля ориентации – 65,7 МПа, 100%-ая доля ориентации – 75,4 МПа). Однозначно можно утверждать, что повышение скорости печати изделий отрицательно сказывается на их прочности [1].

Таким образом, для достижения оптимального сочетания прочностных характеристики изделий и производительности процесса FDM-печати необходимо учитывать влияние скорости послойного наплавления пластика и преимущественной ориентации формируемых слоев в наиболее напряженных сечениях формируемого изделия.

Литература

1. Судан, А. Технологические методы управления деформационно-прочностными характеристиками полимерных изделий, полученных методом FDM-печати / А. Судан, Е. Т. Воропаева // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2020. – Т. 10. – № 2. – С. 74–81.

А. М. Сумаренко

(БГУ, Минск),

В. В. Лычковский

(Институт физики НАН Беларуси, Минск)

Науч. рук. **А. Н. Чумаков**, д-р физ.-мат. наук, доцент

ОПТИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ПЛАЗМЫ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КРЕМНИЙ И МЕДЬ В ВОЗДУХЕ

Воздействие импульсов лазерного излучения (ЛИ) на материалы в воздухе приводит к нагреву поверхности мишени, её плавлению, испарению и образованию плазмы, что сопровождается генерацией ударных волн, испусканием оптического и акустического излучения [1, 2]. При этом преобладающая частота в спектре акустического излучения зависит от энергии одиночных лазерных импульсов, воздействующих на мишень в воздухе [2]. Облучение металлов в воздухе парными импульсами лазерного излучения с длинами волн 532 и 1064 нм, регулируемым временным интервалом и порядком следования позволяет более эффективно формировать эрозионную плазму благодаря зависимости коэффициентов отражения металлов и погло-

щения плазмы от длины волны ЛИ [3]. Цель работы состоит в выяснении закономерностей формирования оптических и акустических спектров плазмы, инициируемой воздействием на материалы в воздухе импульсов излучения второй и третьей гармоник (532 и 355 нм) Nd:YAG – лазера.

Экспериментальная техника. Лазерная установка создана на основе двух Nd:YAG–лазеров с системой синхронизации, обеспечивающей управление временным интервалом и порядком следования импульсов ЛИ 355 и 532 нм. В качестве мишеней использовались пластины из меди и кремния. Оптические спектры лазерной плазмы регистрировались спектрометром SL40-2. Акустические спектры плазмы регистрировались пьезодатчиком [4] с помощью цифрового осциллографа WaveSurfer 510R.

Результаты и их обсуждение. Импульсы давления в воздухе регистрировались на расстоянии ≈ 5 см от облучаемой мишени (кремний). Акустические спектры импульсов давления приповерхностного плазмообразования были получены с использованием программы быстрого преобразования Фурье. Показано, что при одноимпульсном лазерном облучении кремния с длиной волны ЛИ 532 нм преобладающая частота в спектрах Фурье импульсов давления уменьшается с ростом энергии импульсов в соответствии с работой [2]. Однако при двухимпульсном бихроматическом лазерном облучении кремния преобладающая частота в Фурье-спектрах импульсов давления зависит также от порядка следования импульсов (рисунок 1) и временного интервала между импульсами, что требует дальнейших исследований.

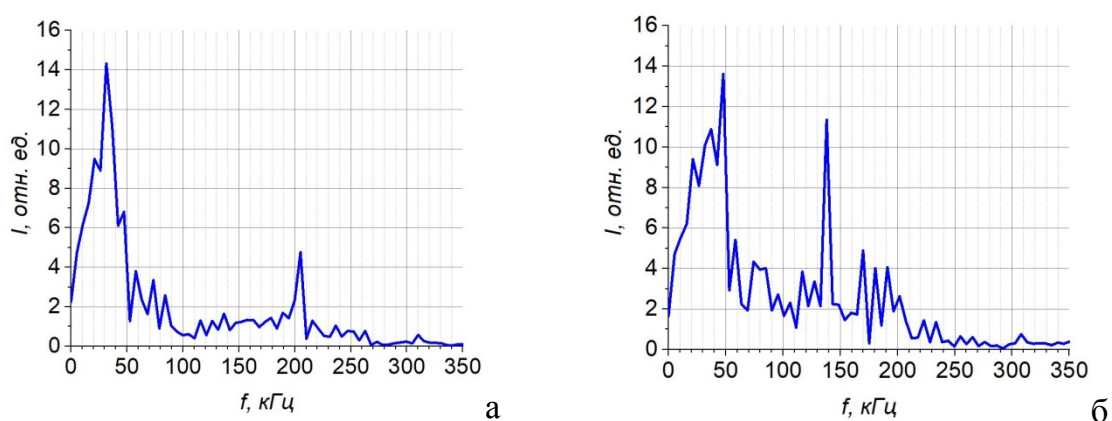


Рисунок 1 – Типичные спектры Фурье импульсов давления при бихроматическом воздействии ЛИ на кремний с задержкой между импульсами $\tau = -5,7$ мкс (а – $f_{\max} = 32$ кГц; $\lambda_1 = 355$ нм; $q = 1,5$ ГВт/см² + $\lambda_2 = 532$ нм; $q = 1,77$ ГВт/см²) и $\tau = +5,7$ мкс (б – $f_{\max} = 48$ кГц; $\lambda_1 = 532$ нм, $\lambda_2 = 355$ нм)

При опережающем воздействии импульса ЛИ 355 нм относительно импульса 532 нм с временной задержкой $\tau = -5,7$ мкс обеспечивается более эффективная генерация плазмы и ударных волн, что обусловлено увеличением коэффициента поглощения плазмы с ростом длины волны ЛИ. В условиях опережающего воздействия импульса ЛИ 532 нм при задержках $\tau = 5,7$ и $\tau = 20$ мкс в спектрах Фурье импульсов давления обнаружен локальный пик с частотой ~ 138 кГц, который может быть связан с взрывным характером разрушения кремния в этих условиях [5, 6]. Таким образом, ЛИ 532 нм эффективнее поглощается плазмой и сильнее ее разогревает, что способствует усилению ударной волны.

Анализ оптических спектров приповерхностной плазмы при одноимпульсном воздействии на медную пластину в воздухе лазерного излучения на длинах волн 355 и 532 нм показал, что образующееся эрозионное плазменное образование значительно более эффективно разогревается излучением с длиной волны 532 нм вплоть до частичного перемещения плазмы в воздух (рисунок 2).

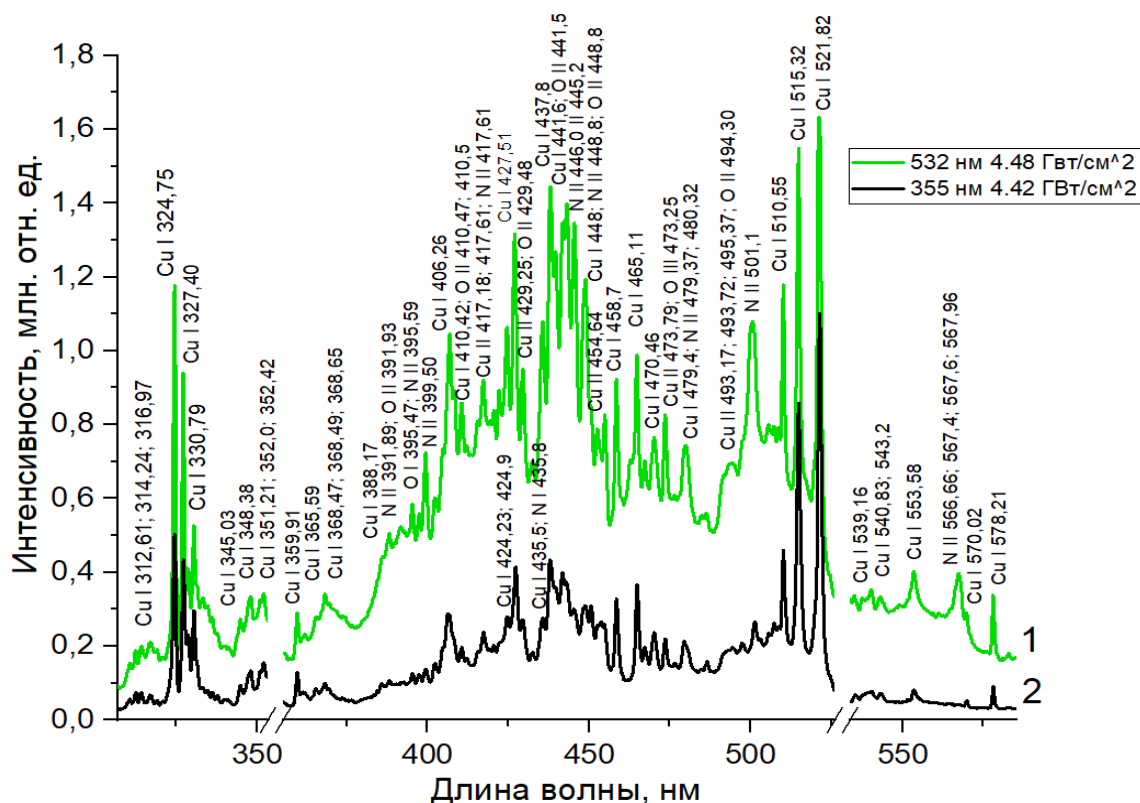
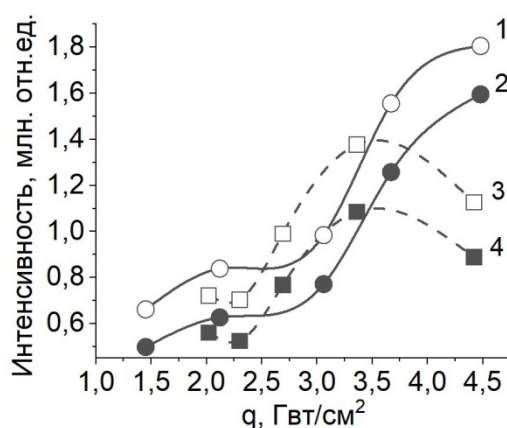


Рисунок 2 – Эмиссионные спектры лазерной плазмы при одноимпульсном воздействии на медную пластину лазерного излучения ($q \sim 4,4$ ГВт/см²) на длинах волн 532 нм (1) и 355 нм (2)

Интенсивность спектральных линий атомов меди Cu I 515,32 нм и Cu I 521,82 нм нелинейно зависит от плотности мощности ЛИ на обеих длинах волн (рисунок 3). При этом максимум их интенсивности достигается при плотности мощности $q \sim 3,5$ ГВт/см² для ЛИ с длиной волны 355 нм и $q \sim 4,5$ ГВт/см² для ЛИ с длиной волны 532 нм.

Переход от одиночных к сдвоенным бихроматическим лазерным импульсам ($\lambda_1=355$ нм, $\lambda_2=532$ нм) с управляемым временным интервалом и порядком следования лазерных импульсов с одинаковой суммарной энергией 40 мДж при опережающем воздействии излучения $\lambda_1=355$ нм продемонстрировал рост интенсивности спектральных линий атомов меди в 2 и более раз при оптимальном выборе параметров сдвоенных импульсов.



1, 3 – Cu I 521,82 нм; 2, 4 – Cu I 515,32 нм;

Рисунок 3 – Зависимость интенсивности спектральных линий меди от плотности мощности ЛИ с длинами волн 532 нм (1,2) и 355 нм (3,4)

Таким образом, переход от одноимпульсного режима лазерного воздействия к двухимпульсному с длинами волн 355 и 532 нм при неизменной суммарной энергии излучения обеспечивает значительное увеличение аналитического сигнала, что позволяет повысить порог чувствительности метода ЛИЭС и снизить погрешность количественного элементного анализа.

Литература

1. Чумаков, А. Н. Оптический разряд как источник ударных волн и акустического излучения / А. Н. Чумаков, А. М. Петренко, Н. А. Босак // Publ. Astron. Obs. Belgrade. – 2002. – No. 74. – P. 29–32.

2. А. Н. Чумаков и др. Об акустических спектрах приповерхностного оптического разряда в воздухе // Матер. Всерос. науч. конф. по физике низкотемп. плазмы ФНТП–2004. – Т.1. – С. 246–251.

3. А. Н. Чумаков и др. Приповерхностное плазмообразование в воздухе при двухимпульсном лазерном воздействии на двух длинах волн // Журн. прикл. спектр. – 2017. – Т. 84, № 4. – С. 595–602.

4. Датчик импульсного давления плазмы: патент ВУ 8405 / А. Н. Чумаков, Н. А. Босак. – Оpubл. 30.08.2006.

5. В. В. Лычковский, А. Н. Чумаков. Абляция кремния в воздухе при моно- и бихроматическом лазерном воздействии на длинах волн 355 и 532 нм // Межд. школа-конф. мол. учён. и спец. «Совр. пробл. физики», 04–06 ноября 2020 г.: [сб.] / под ред. И. С. Никончук и др. – Минск: Институт физики НАН Беларуси, 2020. – С. 37–38.

6. В. В. Лычковский, А. Н. Чумаков. Интенсификация образования плазмы и абляции кремния в воздухе при парном лазерном облучении на длинах волн 355 и 532 нм // Совр. средства диагностики плазмы и их применение: сб. докл. XII конф. МИФИ. Москва, 16–18 декабря 2020 г., М.: НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 96–99.

А. А. Тимофеенко

(ИММС НАН Беларуси, Гомель)

Науч. рук. **В. М. Шаповалов**, д-р техн. наук, профессор

ПРОБЛЕМЫ РЕЦИКЛИНГА ВТОРИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

Высокие темпы производства и потребления полиуретанов (ПУ), в частности в обувной промышленности [1], приводят к накоплению производственных отходов и остатков вышедших из эксплуатации изделий, что влечет за собой комплекс экологических и экономических проблем. Курс на ресурсосбережение диктует необходимость многократного использования вторичного полимерного сырья, особенно столь дорогостоящего, как ПУ, не выпускаемый в Беларуси. Известно, что полиуретаны в процессе первичной переработки в изделия и их эксплуатации претерпевают значительные физико-химические изменения, ухудшающие основные показатели свойств. Поэтому компенсация этих изменений является важной научно-технологической задачей, которая включает разработку новых рецептурных решений, в том числе с использованием комплекса модифицирующих функциональных добавок [2–4]. Цель работы – исследова-

ние возможностей целевого модифицирования вторичных ПУ для облегчения условий и повышения результативности их рециклинга.

В экспериментах использовали вторичное полимерное сырье в виде отходов ПУ обувных предприятий г. Витебска – смесь (микст) вспененного ПУ и термопластичного ПУ. Применяли модифицирующие функциональные добавки – дополнительные ингредиенты, улучшающие технологичность переработки композиции, повышающие прочность, твердость и другие характеристики. Схема технологического процесса включала измельчение микста отходов ПУ, экструзию, грануляцию и литье заготовок под давлением. Проводили исследование физико-механических характеристик (ГОСТ 11262–80), определяли плотность полученных образцов (ГОСТ 267–73), твердость по Шору А (ГОСТ 263–75), абразивный износ на машине ARG-300 (ГОСТ 11012–2017).

Результаты исследований позволили определить оптимальное по критериям технологичности и комплекса свойств содержание в базовой композиции добавок, а также реализуемые ими функции (пластификация полимерной матрицы и регулирование течения расплава, снижение адгезионной активности по отношению к элементам оборудования, повышение прочностных характеристик, повышение твердости, снижение абразивного износа в сравнении с отливками из исходного микста, снижение величины относительного удлинения, рост либо снижение однородности композиции и др.). В частности, установлена перспективность применения такой добавки, как древесная мука: ее введение в композицию в определенных концентрациях и условиях совмещения с матрицей позволяет повысить твердость, износостойкость отливок и приблизить их по показателям качества к материалам, используемым в обувной промышленности для некоторых деталей низа обуви (набоек, износостойких вставок и др.).

Сделан вывод о том, что модифицирование вторичного ПУ наиболее целесообразно проводить с применением комбинации добавок различной дисперсности, отличающихся друг от друга как физико-химической активностью, так и взаимной совместимостью. Имеются основания полагать, что это кажущееся несоответствие на практике можно трансформировать в положительный фактор. При совмещении с полимером функциональных добавок разной природы и структурной организации возникает уникальная ситуация, заключающаяся:

– в создании возможности комбинированной реализации физико-химической активности целевых добавок;

- в структурировании различных полимерных и неорганических фаз на разных масштабных уровнях;
- в формировании вследствие этого многоуровневой многокомпонентной системы со специфической, отличной от исходного полимера внутренней архитектурой;
- в одновременной реализации нескольких механизмов улучшения и/или компенсации ухудшения свойств вторичных полимеров.

Такой композит приобретет свойства «гибридного материала». Гибридными называют материалы, полученные за счёт взаимодействия химически различных компонентов (например, органических и неорганических), формирующих пространственную структуру, в некоторых аспектах отличающуюся от структур компонентов и обеспечивающую сочетание новых свойств. Перспектива рециклинга вторичного ПУ усматривается именно в создании таких гибридных материалов, в которых реализована возможность целевого управления показателями свойств. Вопросы выбора наиболее рациональных и эффективных функциональных добавок и оптимизации технологической совместимости с ПУ прорабатываются, рецептурно-технические решения подготавливаются к патентованию.

В настоящее время также проводятся исследования в рамках апробации высказанного ранее предположения [5] о том, что наиболее удобными по технологическим критериям функциональными добавками к вторичным ПУ могут явиться некоторые промежуточные продукты (аддукты) регулируемой химической и/или термоокислительной деструкции самого вторичного ПУ. Эти аддукты представляют собой олигомерные фракции или комплексы, имитирующие макромолекулу исходного полимера, но имеющие значительно меньшую молекулярную массу и значительно более высокую активность. Тем самым, аддукты оказываются в высокой степени совместимыми как с макромолекулами полимера, так и с функциональными добавками различной природы. Фактически они способны выступить в роли компатибилизаторов – активных центров для интенсивных меж- и внутримолекулярных взаимодействий в системе, что должно обеспечить требуемое структурирование и повышение уровня свойств. Основанные на выдвинутой идее новые методы управляемого рециклинга вторичных полимеров могли бы обеспечить получение новых химических продуктов с высокой конкурентоспособностью, включая композиционные материалы, предназначенные для изготовления широкого спектра изделий технического и бытового назначения.

Работа выполняется в рамках ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» (задание 6.52) и ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» (тема 4.2.2, НИР 2).

Литература

1. Мировой рынок полиуретана составит \$74 млрд к 2022 году [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://mplast.by/novosti/2016-02-22-mirovoy-ryinok-poliuretana-sostavit-74-mlrd-k-2022-godu/>. – Дата доступа: 21.08.2019.

2. Перспективные материалы для деталей низа обуви / В.М. Шаповалов [и др.] // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2017): тезисы докладов международной научной конференции. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2017. – С. 106.

3. Перспективы модифицирования вторичных полиуретанов и их смесей / А.А. Тимофеев [и др.] // Проблемы и инновационные решения в химической технологии (ПИРХТ–2019): материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – С. 233–234.

4. Отходы полиуретанов: проблемы и перспективы рециклинга / А.А. Тимофеев [и др.] // НЕФТЕХИМИЯ–2019: материалы II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 172–175.

5. Целевая деструкция вторичных полимеров как перспективный вариант рециклинга / Е.Л. Антонова [и др.] // Молодежь в науке и предпринимательстве: сборник научных статей VIII международного форума молодых ученых, посвященного 55-летию университета. – Гомель: УО «БГЭУ», 2019. – С. 357–359.

О. И. Тихон

(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **С. И. Мадвейко**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ СВЧ МАГНЕТРОНА ОТ ИНВЕРТОРНОГО БЛОКА ПИТАНИЯ

Развитие технологии плазменной обработки материалов, используемых при изготовлении изделий полупроводниковой промышлен-

ности, способствует разработке нового и модификации активно используемого плазмохимического технологического оборудования. Широко применяемым методом плазменного воздействия на полупроводниковые материалы является обработка в послесвечении или объёме плазмы СВЧ разряда.

Источником электромагнитной энергии в промышленных установках чаще всего являются СВЧ магнетроны средней мощности, питание которых осуществляется во многих случаях по типовой схеме на базе высоковольтного трансформатора, работающего в режиме насыщения, и схемы удвоения напряжения. Подобные блоки питания характеризуются высокой надёжностью, простой эксплуатации, но не позволяют без существенных модификаций задавать величину выходной мощности, подаваемой на магнетрон.

Управление микроволновой мощностью способен обеспечить инверторный блок питания СВЧ магнетрона. Регулировка величины мощности осуществляется за счёт установки длительности управляющего сигнала, выражающейся в изменении скважности сигнала управления инвертором [1].

Целью исследования являлось изучение режима генерации плазмы СВЧ разряда при работе магнетрона от инверторного блока питания. Возбуждение и поддержание СВЧ разряда осуществлялось в СВЧ плазмотроне резонаторного типа. Источником энергии выступал СВЧ магнетрон 2М261-М22. Величина давления при проведении экспериментов составляла 133 Па, рабочий газ – воздух.

Для изучения режима работы СВЧ магнетрона осуществлялась регистрация сигналов анодного тока магнетрона и оптического свечения СВЧ разряда. Оптические импульсы, фиксируемые с помощью фотоэлектронного умножителя, выступают индикатором величины вкладываемой в разряд СВЧ энергии [2].

На рисунке 1 показаны полученные экспериментальные данные для нескольких значений установленной скважности управляющего сигнала инверторного блока питания.

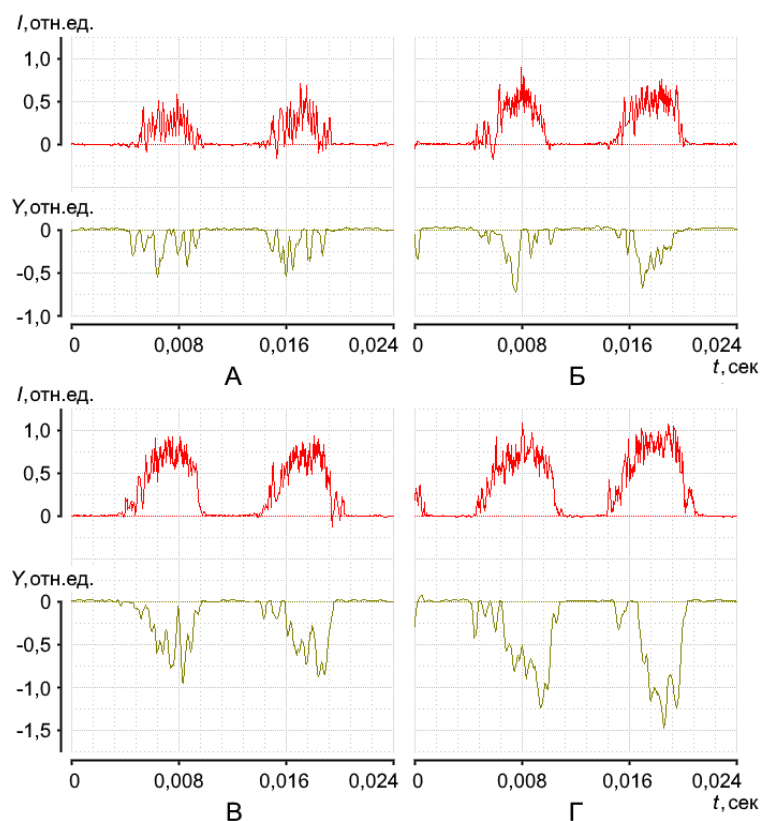


Рисунок 1 – Осциллограммы оптических сигналов свечения плазмы СВЧ разряда при скважности управляющего сигнала: а – 20%; б – 40%; в – 60 %; г – 80 %

Представленные осциллограммы демонстрируют повышение уровня сигнала анодного тока магнетрона с изменением длительности управляющего сигнала. Увеличение его скважности способствует росту среднего амплитудного значения и площади сигнала оптического свечения СВЧ плазмы.

Использование инверторного блока питания для работы СВЧ магнетрона на плазменную нагрузку может позволить реализовать режим более точного управления интенсивностью процесса плазменной обработки полупроводниковых материалов за счёт регулировки уровня выходной СВЧ мощности.

Литература

1. Заяц, Н. Д. Анализ работы инверторного блока питания СВЧ магнетрона средней мощности технологического назначения / Н. Д. Заяц // Электронные системы и технологии : сб. тезисов докладов 56-ой научной конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18–20 мая 2020 г. / БГУИР. – Минск, 2020. – С. 321–322.

2. Намитоков, К. К. Излучение газоразрядной плазмы / К. К. Намитоков, П. Л. Пахомов, С. Н. Харин. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 302 с.

В. А. Точный
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **Е. В. Телеш**, ст. преподаватель

ФОРМИРОВАНИЕ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ МИШЕНИ ИЗ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Углерод-фторсодержащая связь представляет собой полярную ковалентную связь между углеродом и фтором которая является компонентом всех фторорганических соединений. Это третья самая сильная связь в органической химии (в среднем энергия связи около 480 кДж/моль). В настоящее время приобрели достаточно большую популярность не только в техническом применении, но и в повседневной жизни такой вид покрытий из фторорганических соединений, как пленки политетрафторэтилена [1]. Фторированный аморфный углерод (а-C:F). диэлектрическая проницаемость ϵ которого составляет около 2,4 является одним из перспективных материалов для межслойных диэлектриков [2].

Нанесение плёнок осуществляли путём ионно-лучевого распыления ионами аргона мишени из политетрафторэтилена, которая представляла собой диск диаметром 70 мм и толщиной 8 мм. Нанесение покрытий осуществляли на подложки из кремния и стекла К8. Толщину плёнок измеряли с помощью микроскопа МИИ-4. Для измерения электрофизических параметров использовали МДП структуры. Температура подложки не превышала 333 К. В процессе нанесения варьировались ускоряющее напряжение на аноде U_a и ток термоэлектронного катода-компенсатора I_k . Установлено, что через 1–1,5 мин после начала распыления происходит увеличение рабочего давления за счет разложения политетрафторэтилена. Это можно объяснить его низкой теплопроводностью. Признаки разложения обнаруживаются уже при температуре 473 К. Процесс протекает относительно медленно до 693 К. При температурах от 573 до 633 К продуктами разложения являются такие газы, как гексафторэтан и октафторциклобутан.

Свыше этой температуры появляется перфторизобутилен и другие продукты пиролиза.

Повышение давления привело к росту тока разряда и снижению напряжения анода до 1,8–2,0 кВ. На рисунке 1 приведена зависимость скорости нанесения V_n от I_k при $U_a=3,0$ кВ. Данная зависимость свидетельствует о значительном росте V_n при $I_k > 5$ А, т.е. нейтрализация положительного заряда приводит к более эффективной работе ионного источника.

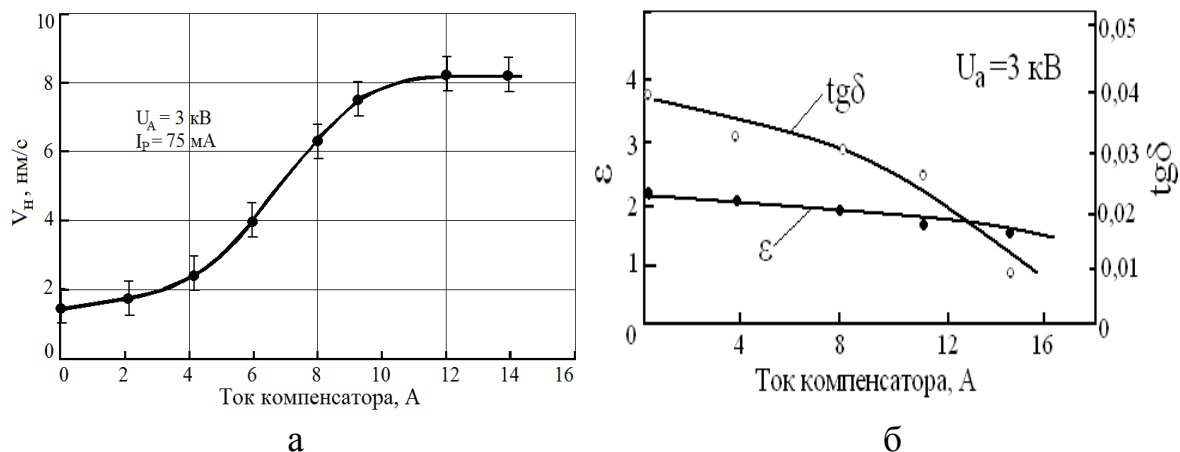


Рисунок 1 – Зависимость скорости нанесения плёнки (а) и электрофизических характеристик (б) от тока компенсатора

На рисунке 2 представлены зависимости диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ от ускоряющего напряжения на аноде и от температуры подложки.

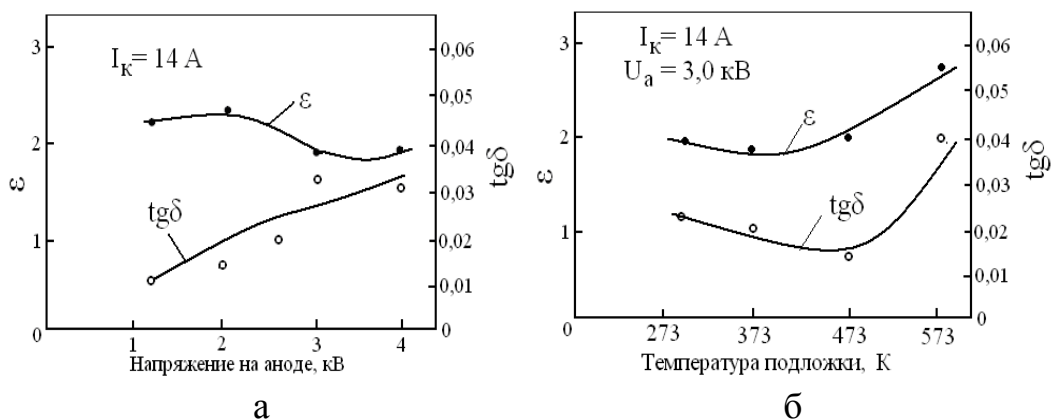


Рисунок 2 – Зависимости диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ от ускоряющего напряжения на аноде (а) и от температуры подложки

Установлено, что значение диэлектрической проницаемости практически не зависит от энергии распыляющих ионов аргона. Увеличение ускоряющего напряжения способствовало росту тангенса угла диэлектрических потерь, что можно объяснить уменьшением плотности покрытия при увеличении скорости нанесения. Увеличение степени компенсации заряда на мишени и подложке привело к уменьшению $\text{tg}\delta$ в 4 раза. Это связано с уменьшением пористости пленок тетрафторэтилена из-за снижения воздействия искровых разрядов, которые возникают на подложке при недостаточной компенсации положительного заряда. Величина диэлектрической проницаемости практически не зависела от тока компенсатора.

Анализ зависимости ϵ и $\text{tg}\delta$ от температуры подложки показывает, что при $T_{\text{п}} > 473$ К происходит рост значений этих параметров. Начальное снижение $\text{tg}\delta$ можно объяснить уплотнением структуры покрытия, десорбцией газов из пленки. При повышенных температурах подложки, вероятно, происходит деструкция пленки тетрафторэтилена.

Для исследования адгезии плёнки толщиной 0,5–1 мкм наносились на подложки из кремния, на плёнки алюминия и меди. Адгезия определялась методом отрыва липкой ленты. Во всех случаях образцы прошли тестовые испытания, т.е. не наблюдалось отслоения плёнки от поверхности подложек и металлических плёнок.

Для исследования оптических характеристик плёнок толщиной ~0,5 мкм наносили на подложки из стекла К8. Покрытия, нанесённые на стекло, были прозрачны. Спектры пропускания, поглощения и отражения пленок тетрафторэтилена, нанесенных при температуре подложки ~ 373 К, приведены на рисунке 3.

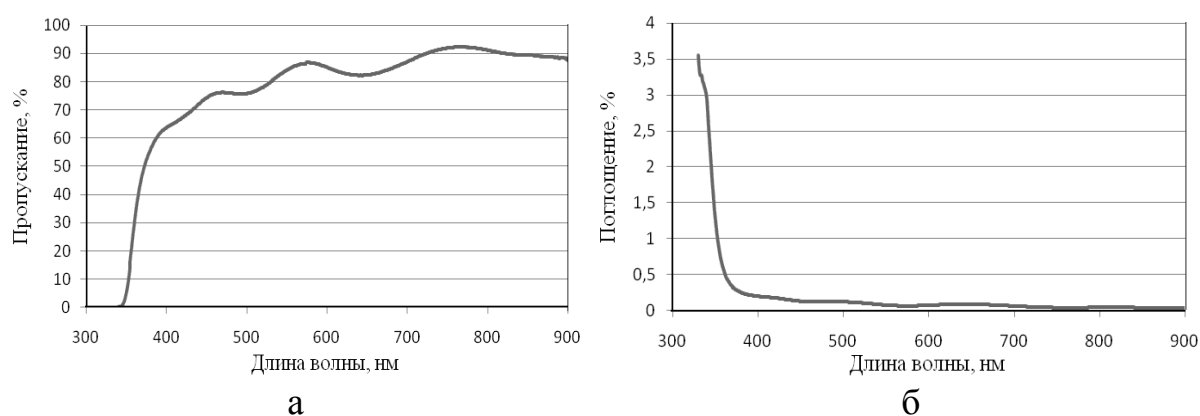


Рисунок 3 – Спектральные зависимости пропускания (а) и поглощения (б) пленок тетрафторэтилена

Показатель преломления составил $n=1,38$, т.е. оказался равен коэффициенту преломления MgF_2 . Это делает перспективным использование плёнок политетрафторэтилена в качестве слоёв с низким показателем преломления для оптических многослойных интерференционных покрытий.

Литература

1. Drabik, M. Super-hydrophobic coatings prepared by RF magnetron sputtering of PTFE/M. Drabik et al.//Plasma Processes Polym. – 2010. – V.7. – P. 544–551.
2. Murarka, S.P. Low dielectric constant materials for interlayer dielectric application/ S.P. Murarka //Solid State Technology. – 1996. – №3. – P. 83–89.

М. С. Черевач

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Скаскевич**, канд. техн. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЭФФЕКТОВ НА КАЧЕСТВО ПРЕССОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ

Повышение прочностных характеристик политетрафторэтилена достигается введением в полимерную матрицу наполнителей – модификаторов различного типа: дисперсных, волокнистых, ультрадисперсных. Применение энергии ультразвуковых колебаний при прессовании порошкообразных или гранулированных полимеров и полимерных композиций, находящихся в твердом состоянии или претерпевающих переход в высокоэластическое или вязкотекучее состояние, наблюдается уплотнение материала, сопровождающееся удалением газовой фазы.

Известно, что вибрационное воздействие при прессовании порошков с частотами колебаний в диапазоне 15000–20000 Гц благоприятно сказывается на гомогенности распределения компонентов композиционных систем, полученных методами плунжерного прессования. Кроме того, применение УЗ колебаний позволяет формировать изделия сложной конфигурации при относительно небольших усилиях прессования.

Представляло интерес провести оценку влияния ультразвукового воздействия на плотность высоконаполненных композиционных систем на основе ПТФЭ, наполненных частицами его регенерата в различном соотношении. Прессование заготовок производили на ультразвуковом прессе, включающем в свой состав: генератор колебаний УЗГ 24 М, преобразователь ультразвуковой магнитострикционный ПМС-15А-18, пневматический цилиндр. Операцию прессования проводили при ультразвуковых колебаниях пуансона с частотой 18,5 кГц, при усилии 0,4-0,6 МПа. Выбор указанного значения усилия прессования обусловлен необходимостью «мягкого» воздействия на прессуемый порошок, вследствие чего достигается равномерное распределение частиц матрицы в объеме изделия, а также исключение проявления избыточных внутренних напряжений, вызывающих при охлаждении изделия коробление и растрескивание [1]. В ходе прессования получили заготовки в виде дисков диаметром 60 мм для определения плотности. Прессование проводили в режиме циклического нагружения (15 воздействий продолжительностью 7,5 с.).

Для оценки качества прессования весовым методом оценивали плотность образцов, подвергнутых воздействию ультразвука при плунжерном прессовании (таблица 1).

Таблица 1 – Плотность образцов, подвергнутых воздействию ультразвука при плунжерном прессовании

Состав материалов	Плотность, кг/м ³	
ПТФЭ Ф-4А исходный	1454,2	1461,5
	1467,5	
	1463,0	
ПТФЭ Ф-4А+30 % регенерат	1489,6	1493,7
	1492,0	
	1499,5	
ПТФЭ Ф-4А+50 % регенерат	1483,7	1478,8
	1475,7	
	1477,2	

Такой подход позволяет, на наш взгляд избегать появления текстурированной структуры композита при использовании в качестве наполнителя волокнистых компонентов, а также дисперсных частиц, характеризующихся высокими значениями поверхностной энергии. Плотность ПТФЭ Ф-4А, полученного прессованием при усилии

0,6 МПа без приложения УЗ колебаний, составила 1255 кг/м³, что существенно ниже в сравнении с плотностью прессованных образцов в условиях УЗ колебаний (таблица). Введение в состав ПТФЭ более 30 мас. % его регенерата отрицательно сказывается на плотности полученных образцов, что проявляется в пористости образцов. Причиной этого эффекта может быть увеличение доли дисперсных частиц неправильной формы характерных для регенерированного сырья.

Литература

1. Лесун, А. Н. Технологические особенности рециклинга промышленных отходов переработки политетрафторэтилена / А. Н. Лесун, А. А. Скаскевич, В. А. Кочерова // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2016. – Т. 6. – № 2. – С. 66–72.
2. Mechanisms for the Formation of Anti-Based Coating Fluorinated Polymer-oligomeric Composition / Y. Auchynnika, S. Avdeychik, A. Antonov, A. Skaskevich, V. Kravchenko // Mechanika 2015: 20th International Scientific Conference. – Kaunas : 2015. – С. 23–28.

А. А. Шанчук

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **Е. В. Овчинников**, д-р техн. наук, доцент

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ КАРБОНИТРИДА ХРОМА

Введение

Тенденцией последнего десятилетия является тренд увеличение работоспособности изделий и технологической оснастки, используемой при металлообработке путем применения покрытий на базе карбонитрида хрома, нитрида хрома, карбида хрома, получаемые различными технологическими приемами в вакууме. Метод осаждения материала путем плазменной ионной бомбардировки поверхностных слоев подложки (КИБ) является одним из основных технологических подходов, применяемых для создания защитных слоев в промышленности. Требование к повышенной прочности конструктивных компонентов, используемых в сложных условиях эксплуатации, привело к развитию исследований в области создания материалов для покрытий, обладающих высокой твердостью и обеспечивающих большую

износостойкость. Благодаря своим уникальным характеристикам в трибологии, покрытия на основе соединений хрома получили широкое распространение в различных областях промышленности. В частности, в машиностроении данные покрытия наносят на различные компоненты: шестерни, кулачки токарных патронов, различные компоненты трансмиссии. Для повышения физико-механических характеристик вакуумных покрытий применяется обработка изделия с покрытием в криогенной среде. Применение данного технологического приема позволяет увеличить прочностные характеристики исходных вакуумных покрытий на 20-30 %. Одним из факторов, исходя из которых, можно оценить стойкость вакуумных покрытий является морфология поверхностей разрушения и частиц, получаемых при внедрении индентора в поверхностные слои модифицированного образца.

Целью данной работы является исследование поверхностей разрушения вакуумных покрытий, подвергнутых воздействию криогенных температур.

Методика исследований

В качестве объектов исследований использовали покрытия карбонитрида хрома. Данные покрытия осаждали на поверхности стальных подложек. В качестве металлических субстратов применяли сталь 40Х. Для получения качественных покрытий применяли специальную подготовку подложки, заключающуюся в предварительной термообработке до получения твердости порядка 52-54 по методу Роквелла шкала С. Далее стальная подложка подвергалась полировке до 10 класса чистоты. Покрытия карбонитрида хрома получали на установке вакуумного напыления УВНИПА-1-001, оборудованной катодно-дуговым испарителем с системой электромагнитной фильтрации плазмы, а также ионным источником ИИ-4-0,15. Образцы с покрытием выдерживали в криогенной среде в течение от 30 минут до 72 часов. По технологии скретч-анализа определяли адгезионные характеристики вакуумных покрытий и формировали профиль царапины. Методом оптической микроскопии изучали морфологию получаемых следов разрушения покрытий. Для исследований использовали оптический специализированный металлографический комплекс.

Результаты исследований

При проведении исследований проводили изучение морфологии разрушения исходных вакуумных покрытий (рисунок 1 а). Далее образцы выдерживали в криогенной среде в течение 30 минут, затем их термостатировали до нормальной температуры, проводили скретч-анализ и изучали морфологию поверхности разрушения, модифици-

рованного в криогенной среде покрытия карбонитрида хрома (рисунок 1 б). По сравнению с первой царапиной видели небольшие изменения (неровности) внутри самой царапины и появление отслоек.



Рисунок 1 – Фрагменты морфологии поверхности после проведения скрэтч анализа. а) исходное покрытие; б) царапина криогенно обработанная в течение 30 минут

Затем модифицированный образец подвергался обработке в криогенной среде в течение 60 минут, после чего проводили третье испытание определения адгезионной прочности царапину. Видны изменения вначале царапины, появились характерные полосы, стал немного толще край царапины.

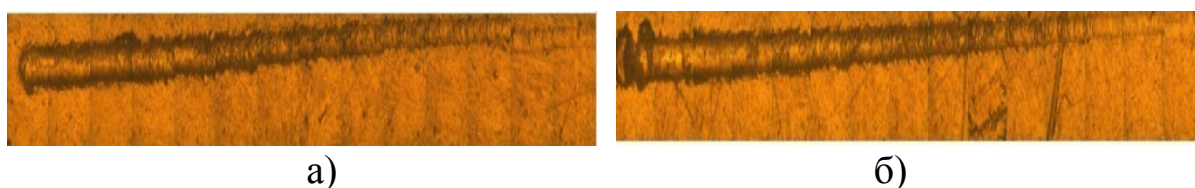


Рисунок 2 – Фрагменты морфологии поверхности после проведения скрэтч-анализа. а) покрытие, криогенно обработанное в течение 30 минут; б) покрытие, криогенно обработанное в течение 60 минут

Обработка покрытий в течение 180 минут приводит к заметным изменениям по всей царапине (появились выразительные отслойки); ширина царапины немного стала больше, но незначительно

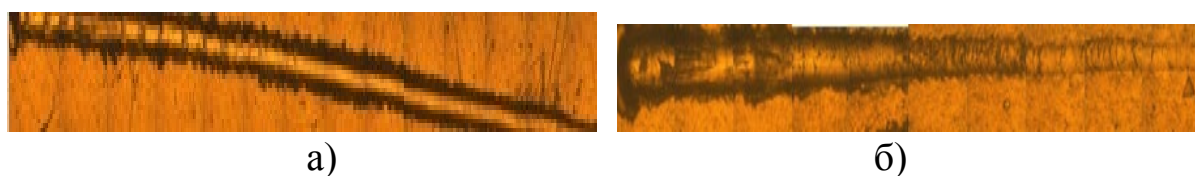


Рисунок 3 – Фрагменты морфологии поверхности после проведения скрэтч-анализа: а) покрытие, криогенно обработанное в течение 180 минут; б) покрытие, криогенно обработанное в течение 24 часов

Увеличение времени выдержки в криогенной среде до 24 часов приводит к изменению геометрических размеров области разрушения

покрытия. Ширина царапина стала еще больше, наблюдается толстый выразительный край, на самом материале видны микроцарапины.

Обработка в течение 72 часов в жидком азоте покрытия не приводит к существенным изменениям в морфологии поверхности разрушения. Край царапины мало отличается от предыдущего испытания, внутри наблюдаются ярко выраженные поперечные борозды.



Рисунок 4 – Фрагменты морфологии поверхности после проведения скрэтч-анализа: покрытие криогенно обработанное в течение 72 часов

Заключение

Таким образом, установлено, что покрытия после обработки в криогенной среде имеют различную адгезионную стойкость. Об этом свидетельствуют геометрические и морфологические размеры области разрушения. Характерные морфологические особенности областей разрушения вакуумных покрытий зависят от продолжительности криогенной обработки.

В. Ю. Шумская

(ИММС НАН Беларуси, Гомель)

Науч. рук. **А. Я. Григорьев**, д-р техн. наук, профессор

МНОГОСЛОЙНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СРЕДСТВ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ И ПРОТИВОВИРУСНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Сложившаяся в 2019–2021 гг. неординарная эпидемиологическая ситуация обусловила значительный рост внимания к средствам индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): именно на их применении основано соблюдение правил так называемого «респираторного этикета», предполагающего предохранение от вирусных инфекций, включая SARS-CoV-2 (2019-nCoV). Защита дыхательных путей человека осуществляется с помощью лицевых масок и респираторов (клапанных и бесклапанных), рабочим компонентом которых является фильтрующий слой, составленный из сорбирующего (как правило, волокнисто-пористого) материала. Последний должен быть способен

пропускать воздух, одновременно захватывая и осаждая на волокнах или в межпоровом пространстве частицы загрязнений.

Цель работы: определить перспективы повышения эффективности новых типов комбинированных фильтров для СИЗОД.

Общее состояние данного вопроса характеризуется дилеммой. С одной стороны, среди разработчиков, ориентированных на широкого потребителя, распространено мнение о необходимости поиска оптимального соотношения «цена – качество», т.е. делается акцент на использовании доступного сырья и недорогих фильтроматериалов. С другой стороны, ввиду необходимости улавливания малоразмерных загрязнений (например, опасной бактериальной пыли и вирусов) этот общий принцип нуждается в конкретизации. Например, в развитых странах в целях эффективной защиты здоровья человека обычно снимаются барьеры для применения более дорогостоящих материалов и технологий в расчёте на выигрыш в качестве. В связи с этим простейшие тканевые фильтры, имеющие низкую степень защиты органов дыхания, граничащую с понятием «эффект плацебо», для достижения целей данной работы интереса не представляют.

В настоящее время анализируется динамика развития технической мысли в данной области, проводится систематизация данных и конкурентный анализ конструкций фильтров для СИЗОД, имеющихся на рынке Беларуси. Анализ отечественных и зарубежных разработок свидетельствует об особом внимании к классу нетканых melt-blown материалов, получаемых пневмоэкструзионным или аэродинамическим методом. Такие материалы имеют развитую систему межволоконных пустот и составлены из волокон диаметром от долей микрометра до единиц или десятков микрометров, причем именно сочетание диаметра волокон и плотности упаковки определяет аэродинамическое сопротивление и коэффициент эффективности фильтрования. Одни из первых технических решений по воздушным melt-blown фильтрам запатентованы в США [1, 2]. Тогда же было высказано предположение, что разработки должны основываться на создании в волокнисто-пористом фильтроматериале электретного состояния – так называемой «электретной фильтрующей среды» – путем электризации волокон. Это может оказаться перспективным разрешением обозначенной дилеммы, поскольку создаётся возможность:

- преодолеть имеющееся противоречие;
- несколько снизить требования к диаметру и параметрам упаковки волокон;

– целенаправленно дополнить механизмы касания, гравитационного осаждения и диффузионного захвата механизмом электростатического осаждения частиц загрязнений на электретенных волокнах.

Фильтры в виде нетканых полотен из полимерных волокон в составе СИЗОД используются достаточно широко [3–5]. Среди крупнейших разработчиков и производителей этой продукции – «Minnesota Mining and Manufacturing Company» (США, имеет филиалы во многих странах), «Du Pont Engineering Technology» (США), «Kimberly-Clark Corp.» (США), а также ряд предприятий Германии и Китая. Экспериментальные разработки белорусских исследователей в данной области могут быть проиллюстрированы источниками [6, 7]. Также апробированы способы получения «электретенной фильтрующей среды» путем формирования в полимере «ловушек», способных аккумулировать электретенный заряд и повышать его стабильность. Таким образом, современный уровень разработок фильтров для СИЗОД определяется тем, в какой мере и с какой эффективностью удастся создать многоуровневую фильтрационную среду путем комбинирования melt-blown волокнистых структур как друг с другом, так и с волокнистыми структурами другого типа. Достаточно популярными являются сочетания «спан-бонд – melt-blown – спан-бонд» (S–M–S). При этом причем слои спан-бонд-материала, имея невысокую собственную фильтрационную значимость, преимущественно служат протекторным и формующим элементом. В ОАО «СветлогорскХимволокно» в настоящее время осваивается производство melt-blown полотен поверхностной плотностью от 20 до 80 г/м² для получения композиций с материалом «СпанБел» (т.е. S–M–S), на основе которых предполагается изготовление медицинских масок и респираторов с декларируемым классом эффективности фильтрования FFP2 (отсев частиц размером 0,3 микрона с эффективностью не менее 94%).

Новым, ранее не использовавшимся при создании СИЗОД, является волокнисто-пористый материал «Грифтекс», получаемый методом лазерной абляции политетрафторэтилена (ПТФЭ). Он отличается в высокой степени развитой поверхностью (до 4 м²/г, что эквивалентно материалу из мононити), которая достигается на порядок более тонкими волокнами, чем melt-blown. Т.к. ПТФЭ является одним из лучших диэлектриков, то материал «Грифтекс» может нести высокий и стабильный электретенный заряд [8]. По-видимому, существуют сочетания волокнистых материалов различных типов, в которых на разных масштабных уровнях обеспечивается эффективная многоуровневая и многостадийная очистка воздуха от загрязнений широкого спек-

тра дисперсности, включая бактерии и вирусы. Одним из компонентов такого многоуровневого «суперфильтра» может стать оптимизированное по критерию технологичности полотно из сверхтонких волокон ПТФЭ, совмещающее несмачиваемость и ультрамикронную структурную организацию [9]. Его сочетание с более грубыми melt-blown полотнами должно обеспечить градиент плотности в объеме фильтра и, за счет этого, приемлемый уровень фильтрации воздуха в составе ряда СИЗОД. Перспективу дальнейших исследований составляет поиск оптимальных сочетаний полимерных волокнистых систем различного происхождения и структуры, в которых достигается взаимное дополнение их достоинств.

Работа выполняется по договору с БРФФИ № Т21КОВИД-023 и по гранту для аспирантов НАН Беларуси на 2021 г.

Литература

1. Pat. US 4007114. Fibrous filter medium and process / E. A. Ostreicher. Appl. 597931, filed 1975.07.22, published 1977.02.08.
2. Pat. US 4536440. Molded fibrous filtration products / H. J. Berg, St. Paul, Minn. Appl. 593937, filed 1984.03.27, published 1985.08.20.
3. Pat. US 4807619. Reslent shape-retaining fibrous filtration face mask / J. F. Dyrud, N. Richmond, Wis, H. J. Berg, St. Paul; A. C. Murray, Maplewood, Minn.. Appl. 848757, filed 1986.04.07, published 1989.02.28.
4. Pat. US 2010/0266824A1. Elastic meltblown laminate constructions and methods for making same / A. D. Westwood, G. C. Richeson. Appl. 12/723336, filed 2010. 03.12., published 2010.10.21.
5. Pat. US 9498932 B2. Multi-layered meltblown composite and methods for making same / A. D. Westwood, G. C. Richeson. Appl. 12/894955, filed 2010.09.30, published 2016.11.22.
6. Патент 2198718 РФ. МКИ7 В01D39/16, А62В23/02. Способ получения электретенного тонковолокнистого фильтрующего материала для респираторов / А. Г. Кравцов, А. В. Воробьев, Л. С. Пинчук, В. А. Гольдаде, Ю. В. Громыко. Заявка 2001126627/12, заявлено 2001.10.01, опубликовано 2003.02.20.
7. Патент 2262376 РФ. МКИ7 В01D39/16. Слоистый полимерный волокнистый фильтрующий материал для очистки потока воздуха / А. Г. Кравцов, С. В. Зотов. Заявка 2004127597/15, заявлено 2004.09.14, опубликовано 2005.10.20.
8. Гракович П. Н. Лазерная абляция политетрафторэтилена [Текст] / П. Н. Гракович, Л. Ф. Иванов, Л. А. Калинин, И. Л. Рябченко,

Е. М. Толстопятов, А. М. Красовский // Российский химический журнал (Журнал российского химического общества им. Д. И. Менделеева), 2008. – т. 52, № 3. – с. 97–105.

9. Патент 13192 РБ. МКИ7 D 01D 5/00, D 01F 6/02. Способ получения волокнистого материала из фторопласта / П. Н. Гракович, Е. М. Толстопятов, Л. А. Калинин, М. М. Покаташкин, Л. Ф. Иванов. Заявка а 20060982, заявлено 2008.12.30, опубликовано 2010.06.30.

Я. А. Эйсмонт

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **Т. А. Ситкевич**, канд. техн. наук, доцент

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Получение электроэнергии из возобновляемых источников энергии очень важно в современном мире. Солнечные электростанции, позволяющие получать электрическую энергию из солнечной энергии, являются, пожалуй, одной из самых перспективных отраслей выработки экологически чистой энергии. Однако, у солнечных электростанций есть весьма существенный недостаток – в пасмурную погоду их коэффициент полезного действия значительно снижается.

Современный мир активно идёт вперёд, создаются и внедряются новые нанотехнологии, изучаются материалы, которые могут использоваться для усовершенствования каких-либо уже существующих систем.

Относительно недавно австралийскими специалистами был разработан новый тип термальной батареи. Такой прототип термальной батареи способен хранить и выделять солнечную энергию в любое время суток, а значит, такая электростанция будет способна работать на полную мощность даже в случае отсутствия солнца.

Термальная батарея способна запасать и хранить энергию. В случае пасмурной погоды, когда энергии, вырабатываемой солнечными модулями, недостаточно для обеспечения потребителей, используется энергия, накопленная термальными батареями. В солнечную погоду солнечные модули вырабатывают энергию и обеспечивают потребителей, а термальные батареи накапливают заряд.

Термальная батарея имеет сходства с уже используемыми литиевыми батареями. Литиевые батареи способны хранить электроэнер-

гию и отдавать её для нужд потребителей. Однако, такие батареи постепенно теряют накопленную электроэнергию после отключения от источника питания, то есть разряжаются. Термальная же батарея хранит тепло накопленного солнечного света и менее поддается разрядке.

Сохранение энергии в термальных батареях происходит следующим образом. Когда солнечная энергия пребывает в избытке, она запасается в топливных элементах батареи, изготовленных из металла. В топливных элементах присутствует теплоноситель – газообразный водород. В момент пасмурной погоды, водород вступает во взаимодействие с ионами металлов. Из-за разницы в температурах между «холодным» водородом и нагретым солнцем металлом, происходит реакция с образованием гидрида (то есть соединение металла с водородом), в результате которой выделяется тепло [1]. Именно оно при необходимости идет на питание потребителей. Полученное тепло преобразуется в электроэнергию с помощью термоэлектрогенератора¹. После остывания полученный в результате реакции гидрид распадается на водород и металл. Это позволяет термальной батарее вновь накапливать солнечную энергию.

Ещё одной новинкой стало использование холода для получения электроэнергии. Такая технология была разработана американскими учёными и позволит использовать солнечные батареи более эффективно. С помощью такой системы можно будет легко запастись энергией ночью и даже в холодную погоду.

Новое устройство работает благодаря термоэлектрическому эффекту – явлению, которое возникает в результате взаимодействия двух материалов с разной температурой. Если правильно расположить эти элементы друг относительно друга, то изменение температуры на границе взаимодействия можно будет преобразовать в энергию [2].

В основе экспериментального генератора энергии лежит алюминиевый диск, помещенный в корпус из полистирола (рисунок 1). Сверху диск прикрыт окном, которое пропускает инфракрасный и ультрафиолетовый свет, но не выделяет тепло обратно.

Когда температура воздуха опускается ниже нуля, теплый алюминиевый диск начинает взаимодействовать с холодом, исходящим со стороны окошка. Разность температур позволяет генерировать элек-

¹ Термоэлектрогенератор — это техническое устройство, предназначенное для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую посредством использования в его конструкции особых термоэлементов - термоэлектрических материалов. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Термоэлектрогенератор>

троэнергию, способную обеспечить освещение помещений в тёмное время суток.

Количество солнечной энергии, падающей на солнечные панели можно существенно увеличить, используя нанокластеры² – крупные наночастицы золота. Учеными было обнаружено, что молекула, созданная всего из 144 атомов золота, может повысить производительность солнечных батарей более чем на 10 процентов [3].

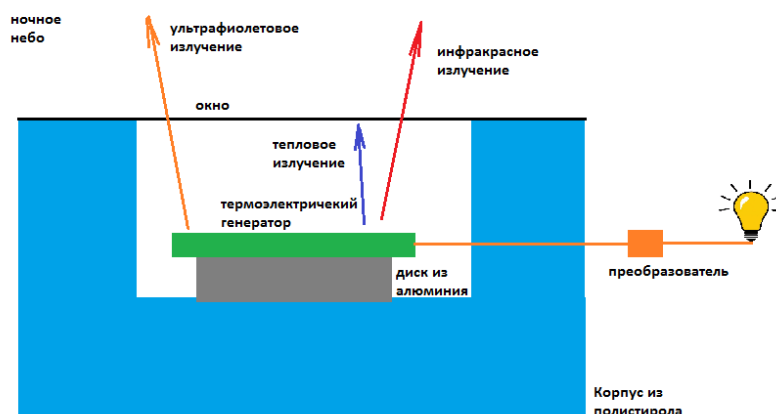


Рисунок 1 – Схема работы экспериментальной установки

Нанокластеры из наночастиц золота устанавливаются в качестве строительных блоков для создания гибкой сети антенн на солнечных панелях для увеличения попадания света на них. Установленные антенны настолько маленьких размеров, что их невозможно разглядеть в оптическом микроскопе. Сеть антенн ловит солнечный свет, и переводит его в активную область солнечного элемента.

Использование нанокластеров имеет ряд преимуществ. Во-первых, спектр света, отраженного золотом, соответствует желтому цвету, который совпадает со световым спектром Солнца. Во-вторых, сеть антенн существенно увеличивает количество солнечного света, которое попадает напрямую на солнечную панель. В-третьих, золото надежно, устойчиво к окислению и его сложно повредить. Это делает его идеальным материалом для долгосрочного использования.

Вместо золота в нанокластерах могут использоваться наночастицы других благородных металлов – серебро, платина. Однако, все эти металлы являются дорогостоящими. 1 грамм золота стоит 55 долларов

² Нанокластеры - соединения двух или более атомов одного вещества, или разных веществ, имеющие наноразмерную структуру, аморфную или поликристаллическую структуру и обладающие определенными свойствами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sites.google.com/site/nanotehnologiinanomaterialy/nanoklastery>

США [4]. Масса атома золота приблизительно равна $3,27 \cdot 10^{-22}$ грамм [5]. И если 144 атома золота способны увеличить производительность солнечных батарей на 10 %, то одного грамма золота будет достаточно, чтобы обеспечить нанокластерами систему солнечных батарей. Проблемой лишь остаётся установка сети антенн из нанокластеров. Однако, данная технология уже разрабатывается, следовательно, проблема будет решена.

Таким образом, термальные батареи позволяют поглощать солнечную энергию, хранить тепловую энергию и с помощью термоэлектрогенератора получать электроэнергию с минимальными потерями даже в тёмное время суток. Используя термоэлектрический эффект можно получить электроэнергию, достаточную для освещения помещений в тёмное время суток. Использование нанокластеров позволит увеличить производительность солнечных батарей.

Внедрение и использование современных технологий позволит сделать большой шаг к использованию альтернативных источников энергии без каких-либо ограничений.

Литература

1. Кузнецов, В. Солнечная электростанция сможет вырабатывать электричество по ночам / В. Кузнецов // Будущие технологии . – 2019. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eenergy.media/2019/07/15/solnechnaya-termalnaya-batareya-smzhet-vyrabatyvat-energiyu-po-nocham/>. – Дата доступа: 10.03.2021.

2. Кузнецов, В. Учёные придумали, как добывать энергию из холода / В. Кузнецов // Будущие технологии. – 2019. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hi--news-ru.turbopages.org/turbo/hi-news.ru/s/technology/uchenye-pridumali-kak-dobyvat-energiyu-iz-xoloda.html?utm_source=turbo_turbo. – Дата доступа: 10.03.2021.

3. Хель, И. «Золотые нанокластеры»: революция в сфере солнечной энергии? / И. Хель // Будущие технологии. – 2014. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hi--news-ru.turbopages.org/turbo/hi-news.ru/s/technology/zolotyie-nanoklastery-revolyuciya-v-sfere-solnechnoj-energii.html?utm_source=turbo_turbo. – Дата доступа: 10.03.2021.

4. Цена на золото в долларах США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.bullion-rates.com/gold/USD/spot-price.htm>. – Дата доступа: 10.03.2021.

5. Как найти массу атома золота [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://matfaq.ru/question/kak-nayti-massu-atoma-zolota/>. – Дата доступа: 10.03.2021.

П. С. Яночкин

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Е. Гайшун**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ SiO₂ ПОКРЫТИЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ НАНОКРИСТАЛЛАМИ YAGG:RE (RE=Yb, Nd, Eu)

Основой устройств для выработки электроэнергии из солнечного излучения являются солнечные элементы (СЭ), которые могут быть использованы как для сооружения солнечных панелей, так и в составе солнечных концентраторов, в том числе и люминесцентных.

В качестве одного из компонентов в СЭ перспективным является использование покрытий с добавлением иттрий-алюминиевого граната (YAG) и иттрий-алюминий-галлиевого граната (YAGG), так как данные материалы широко используются в различных системах СЭ [1]. В данной работе была исследована адсорбционная активность синтезированных YAGG покрытий, в том числе гидрофобные свойства данных покрытий, так как высокая гидрофобность покрытий, используемых в солнечной энергетике, позволяет достичь более высоких эксплуатационных характеристик: увеличить антиотражающие свойства пленок, их стойкость к воздействиям окружающей среды

В ходе работы методами центрифугирования и распыления из YAGG порошков был сформирован ряд золь-гель покрытий, легированных редкоземельными элементами. Для оценки адсорбционной активности полученных поверхностей был произведен расчет поверхностной энергии и ее составляющих. Данный расчет основывался на результатах измерений краевых углов смачивания поверхности двумя различными жидкостями: глицерином и дистиллированной водой. Измерение краевых углов смачивания поверхности было выполнено при помощи специально разработанной программно-аппаратной системы «Капля-2» на базе микроскопа МБС-6 с частотой 1 Гц, посредством которой и происходил захват и распознавание изображения лежащей капли жидкости. Результат измерений краевых углов смачивания отображен в таблице 1.

Таблица 1 – Измеренные значения краевого угла смачивания и расчетные значения поверхностной энергии покрытий

Образец №	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Угол смачивания глицерином, град	72	72	66	80	72	74	70	69	67
Угол смачивания водой, град	84	82	82	83	71	79	75	86	76
Дисперсионный компонент поверхностной энергии, мДж/м ²	21,322	18,350	29,410	8,248	6,185	11,537	12,357	30,561	18,029
Полярный компонент поверхностной энергии, мДж/м ²	6,812	9,030	5,106	14,747	26,320	14,810	16,954	3,375	12,626
Поверхностная энергия, мДж/м ²	28,134	27,380	34,517	22,995	32,504	26,347	29,310	33,936	30,655

Расчет поверхностной энергии сформированных образцов был выполнен методом ОВРК (Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле), согласно которому поверхностная энергия твердого тела имеет две составляющие: дисперсионную, включающую силы Ван-дер-Ваальса и другие неспецифические взаимодействия, и полярную, включающую сильные взаимодействия и водородные связи [2].

Образцы №1, №4, №8 имеют самые высокие углы смачивания водой, а образцы №5, №7, №9 – самые низкие. Образцы №4, №6 имеют самые высокие углы смачивания глицерином, а образцы №3, №8, №9 – самые низкие. Основываясь на измеренных значениях краевых углов смачивания (таблица 1), можно сделать вывод о том, что почти все полученные покрытия являются более лиофобными по отношению к воде чем к глицерину.

На лиофобные свойства ряда покрытий также влияет их возраст. Так, единственная разница между образцами №8 и №9 – это дата их формирования. Углы смачивания глицерином и водой образца №9 в обоих случаях меньше углов смачивания данными тестовыми жидкостями образца №8, который был получен на неделю позже.

Образцы №1, №2, №3, №4, полученные методом распыления, обладают более высокими значениями углов смачивания водой по сравнению с большинством образцов, сформированных методом центрифугирования, что свидетельствует о возможных преимуществах применения метода распыления для целей увеличения гидрофобности формируемых покрытий.

Максимальными значениями поверхностной энергии обладают образцы №3 и №8, а минимальными – образцы №4 и №6. Полученные путем расчета данные (таблица 1) свидетельствуют о том, что наибольший вклад в величину поверхностной энергии образцов №1, №2, №3, №8, №9 вносит ее дисперсионная составляющая. Для образцов №4, №5, №6, №7 ситуация противоположная – возобладает полярная составляющая поверхностной энергии.

Разработаны YAGG золь-гель покрытия, легированные редкоземельными элементами (Yb, Nd, Eu). Путем расчета поверхностной энергии и ее составляющих была произведена оценка адсорбционной активности сформированных покрытий. Сформированные в ходе работы покрытия могут найти свое применение в качестве одной из составляющих СЭ. Использование исследованных покрытий имеет ряд преимуществ в области солнечной энергетики: постепенное увеличение мощности, высокая надёжность, простота в обслуживании, долгий срок службы, а главное – способность удовлетворения нужд как малых потребителей, так и более крупных. Таким образом, перспективы использования солнечной энергии невероятны, и она постепенно должна стать достойной альтернативой традиционных источников энергии.

Литература

1. Evidence of the formation of mixed-metal garnets via sol–gel synthesis / I. Mulioliene [etc.] // *Optical Materials*. – 2003. – Vol. 22 – Iss. 3 – P. 241-250.
2. Особенности оценки смачивания полимерных поверхностей / А. В. Миронюк [и др.] // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* – 2014. – Vol. 1, No. 6 (67). – С. 23 – 26.

Секция 2 «Моделирование физических процессов»

Председатели:

Тюменков Геннадий Юрьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

П. В. Асвинова

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **В. Ю. Гавриш**, канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель

ФУНКЦИЯ ГРИНА УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА

Введение. Задача столкновения двух частиц в классической механике с учетом прицельного расстояния и скорости частиц решается известными методами. В квантовой механике меняется сама постановка вопроса, поскольку понятие траектории, а с нею и прицельного расстояния теряет смысл.

В работе продемонстрирована процедура получения дифференциального сечения с последующим переходом расчета функции Грина. Авторы, используя методы функции комплексного переменного, получают выражения для амплитуды рассеяния плоской волны.

Связь дифференциального сечения с амплитудой рассеяния. Известно [1, 2], что свободная частица массы m описывается плоской волной. Используя нормировку, при которой плотность потока в волне равно скорости частицы \vec{v} получаем, что

$$\psi_{\vec{k}}^0(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}}. \quad (1)$$

Рассеянные частицы будут описываться расходящейся сферической волной

$$\psi_{\vec{k}}(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}} + f(\vec{k}', \vec{k}) \frac{e^{i\vec{k}'\vec{r}}}{r} \quad (2)$$

с функцией $f(\vec{k}', \vec{k})$, которую называют амплитудой рассеяния. После некоторых вычислений для падающей (1) и рассеянной волны (2) следует выражение [1] для дифференциального сечения

$$d\sigma = \left| f(\vec{k}', \vec{k}) \right|^2 d\Omega. \quad (3)$$

Из соотношения (3) следует, что задача о вычислении сечения рассеяния сводится к поиску амплитуды рассеяния $f(\vec{k}', \vec{k})$.

Функция Грина свободной частицы. Свободная частица описывается уравнением Шредингера

$$\hat{H}_0 \psi_{\vec{k}}^0(\vec{r}) = E \psi_{\vec{k}}^0(\vec{r}), \quad (4)$$

где \hat{H}_0 – гамильтониан. Для свободной частицы гамильтониан представлен оператором кинетической энергии

$$\hat{H}_0 = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta. \quad (5)$$

Волновая функция, соответствующая выражению (5), определяется формулой (1).

В случае наличия оператора взаимодействия $\hat{V} = V(\vec{r})$ уравнение Шредингера принимает вид

$$\left(\hat{H}_0 + \hat{V} \right) \psi(\vec{r}) = E \psi(\vec{r}). \quad (6)$$

Для простоты будем полагать, что взаимодействие исчезает на больших расстояниях от силового центра, т.е. $V(\vec{r} \rightarrow \infty) = 0$. Перепишем (6) в виде

$$\left(\hat{H}_0 - E \right) \psi(\vec{r}) = -\hat{V} \psi(\vec{r}), \quad (7)$$

решение которого будем проводить методом функции Грина. Для этого перейдем от дифференциального уравнения Шредингера к эквивалентному интегральному уравнению

$$\psi(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}} + \int G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') V(\vec{r}') \psi(\vec{r}') d\vec{r}', \quad (8)$$

где $G_0(E, \vec{r}, \vec{r}')$ – функция Грина, соответствующая оператору \hat{H}_0 и удовлетворяющая уравнению

$$(E - \hat{H}_0) G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') = \delta(\vec{r} - \vec{r}') \quad (9)$$

с дельта-функцией Дирака $\delta(\vec{r} - \vec{r}')$ [2]. Легко убедиться, что если $G_0(E, \vec{r}, \vec{r}')$ является функция Грина, соответствующая оператору \hat{H}_0 , то справедливо так называемое спектральное разложение, или спектральное представление функции Грина [1]

$$G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\psi_n^0(\vec{r}) \psi_n^{*0}(\vec{r}')}{E_0 - E_n}, \quad (10)$$

которое в случае непрерывного спектра \hat{H}_0 определяется интегралом вида

$$G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') = \int \frac{\psi_{\vec{\chi}}^0(\vec{r}) \psi_{\vec{\chi}}^{*0}(\vec{r}')}{E_0 - E_n} \frac{d\vec{\chi}}{(2\pi)^3}. \quad (11)$$

Выполняя несложные преобразования, связанные с интегрированием по направлениям вектора $\vec{\chi}$, получаем выражение

$$G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') = \frac{m}{2\pi^2 \hbar^2} \frac{1}{i|\vec{r} - \vec{r}'|} \int \frac{e^{i|\vec{\chi}||\vec{r} - \vec{r}'|}}{\frac{2mE_0}{\hbar^2} - |\vec{\chi}|^2} \frac{d\vec{\chi}}{(2\pi)^3}, \quad (12)$$

в котором было учтено, что $|\vec{k}| = \sqrt{2mE_0/\hbar^2}$.

Выражение (12) не определяют функции Грина однозначно. Рассмотрим два способа обхода полюсов: добавим к положительной вещественной величине E_0 малую добавку $\pm i\varepsilon$. Соответствующие выражения для функции Грина обозначим индексами (+) или (–):

$$G_0^{(\pm)}(E, \vec{r}, \vec{r}') = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} G_0(E \pm i\varepsilon, \vec{r}, \vec{r}'), \quad (13)$$

которое с помощью техники вычетов [3] приводит к

$$G_0^{(+)}(E, \vec{r}, \vec{r}') = -\frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{i\vec{k}|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|},$$

$$G_0^{(-)}(E, \vec{r}, \vec{r}') = -\frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{-i\vec{k}|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|}. \quad (14)$$

Случай расходящейся волны соответствует $G_0^{(+)}(E, \vec{r}, \vec{r}')$; с учетом (8) приходим к

$$\psi(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}} - \int \frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{i\vec{k}|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} V(\vec{r}')\psi(\vec{r}')d\vec{r}', \quad (15)$$

откуда путем сравнения с общим выражением (2) получаем, что амплитуда рассеяния определяется функцией Грина (14) и явным видом оператора взаимодействия $\hat{V} = V(\vec{r})$.

Решение интегрального уравнения (15) даже в случае простейшего оператора $\hat{V} = V(\vec{r})$ проводят приближенно методом итераций, поэтому указанные расчеты в силу громоздких выражений в работе проводится не будут.

Заключение. В работе получен явный вид функции Грина уравнения Шредингера. Полученные выражения могут быть использованы для решения задач рассеяния на кулоновском потенциале, а также для других часто используемых потенциалов в физических приложениях.

Литература

1. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Курс теоретической физики в 10 томах. Т.3. Квантовая механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Москва: Физматлит, 2008. – 800 с.
2. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики / В. С. Владимиров. – Москва: Наука, 1967. – 436 с.
3. Лаврентьев, М. А., Шабат, Б. В. Методы теории функций комплексного переменного/ М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. – Москва: Наука, 1973. – 749 с.

И. В. Балыкин

(Институт Физики НАН Беларуси, Минск)

Науч. рук. **А. А. Рыжевич**, канд. физ.-мат. наук

А. А. Найдунов

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **Т. А. Железнякова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА БЕССЕЛЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА, СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО И ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУОСНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Предложенные в [1] параметры качества бесселевых световых пучков нулевого порядка (БСП₀) позволяют производить оценку пригодности этих световых пучков для различных практических приложений, таких как создание оптических пинцетов и преобразователей, лазерная обработка материалов, на основе объективных численных величин. Также следует отметить, что параметры качества реальных БСП₀ обычно существенно зависят от продольной координаты [2]. Таким образом, введение численных параметров качества позволяет подобрать оптимальный режим работы для оптической схемы, например установить расстояние от формирователя пучка до образца таким образом, чтобы воздействие оказывалось той частью пучка, которая обладает наилучшим качеством.

Закономерно возникает вопрос о введении параметров качества для БСП высших порядков (БСП_n, n>0). Их можно ввести, исходя из методологии, изложенной в [1], производя набор аппроксимаций для различных радиальных распределений интенсивности светового пучка. Однако для совместимости процедуры с БСП₁ следует внести следующие изменения:

1. Заменить вид аппроксимирующей функции для интенсивности на

$$\hat{I}(r) = aJ_1^2[b(r - c)]$$

где r – радиальная координата, a , b , c – параметры аппроксимации, J_1 – функция Бесселя первого порядка.

2. r_1 следует определять на основе уравнения

$$\left. \frac{dJ_1^2(br)}{dr} \right|_{r=r_1} = 0$$

Наименьший по модулю нетривиальный корень этого уравнения будет соответствовать центральному кольцу БСП₁. Таким образом, численно

$$r_1(\varphi) = 1,8412 / b(\varphi)$$

где φ – азимутальная координата, вдоль которой проводится радиальное распределение. С учетом указанных замечаний формулы для непосредственного вычисления параметров качества БСП₁ совпадают с формулами для БСП₀ из [1].

Предложенная методология была практически образом проверена на примере анализа качества БСП₁, формируемых из излучения полупроводникового лазерного модуля (ППЛМ) и гелий-неонового лазера (ЛГН) с использованием кристаллов КТР (КТiОРО₄) и КGW (KGd(WO₄)₂) методом, предложенным в [3].

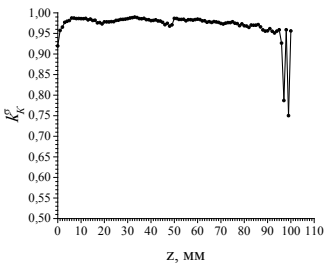
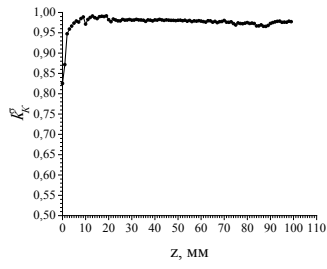
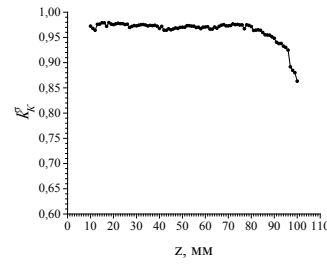
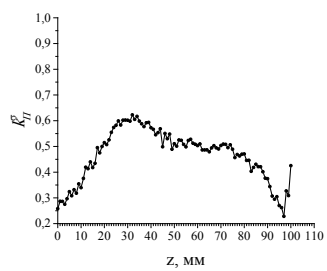
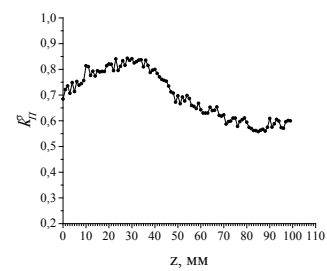
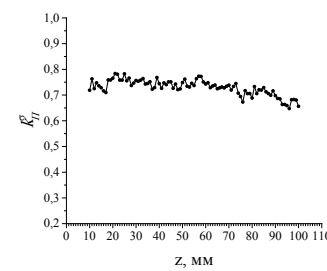
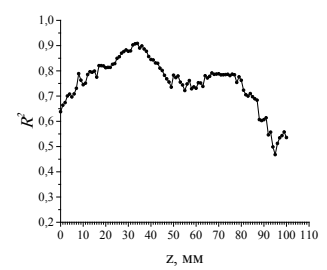
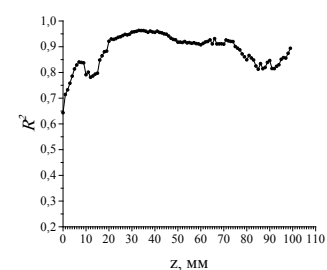
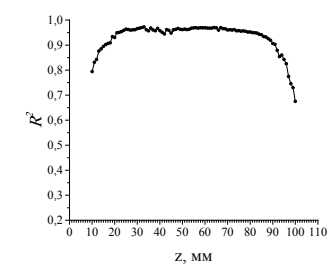
Расстояние между основанием аксикона и ССD-камерой (плоскостью регистрации) обозначается как координата z . Проанализировав поперечные распределения интенсивности для различных z , мы получили пространственные распределения интенсивности, а также зависимости параметров качества БСП₁ от продольной координаты для следующих комбинаций источников излучения и кристаллов: КGW + HeNe, КТР + HeNe, КТР + ППЛМ. Графики полученных зависимостей приводятся в таблице 1.

Из полученных графиков видно, что при использовании ЛГН коэффициент круглости k_K^σ и R^2 при $z > 85$ мм не так резко уменьшаются, как в случае ППЛМ, круглость пучка и его соответствие теоретическому БСП₁, описываемому функцией Бесселя, сохраняется. С другой стороны, коэффициент постоянства k_{Π}^σ для ЛГН при $z > 50$ мм падает быстрее, чем для ППЛМ.

Таким образом, в данной работе нами предложены дополнения к методологии оценки качества БСП₀, позволяющие производить анализ качества БСП₁. Экспериментально показано, что предложенная процедура позволяет характеризовать качество экспериментальных БСП₁. Построены экспериментальные зависимости параметров качества БСП₁ от продольной координаты для пучков, формируемых из излучения ППЛМ и ЛГН с использованием кристаллов КТР и КGW.

Показано, что пучок, формируемый из ЛГН, сохраняет круглость и соответствие формы идеальному БСП₁ на большем расстоянии от аксикона, чем ППЛМ, но при этом быстрее теряет постоянство интенсивности первого кольца.

Таблица 1 – Параметры качества БСП₁, вычисленные по средним квадратичным отклонениям для различных экспериментов

	КГВ + ЛГН	КТР + ЛГН	КТР + ППЛМ
k_K^σ			
k_H^σ			
R^2			

Литература

1. Рыжевич, А. А. Параметры качества бесселевых световых пучков нулевого порядка/ А. А. Рыжевич, И. В. Балыкин, Т. А. Железнякова // ЖПС. – 2018. – Т. 85, № 1. – С. 144–153.

2. Балыкин, И. В. Зависимость параметров качества неидеальных бесселевых световых пучков от продольной координаты / И. В. Балыкин, Т. А. Железнякова, А. А. Найдун, А. А. Рыжевич // «Современные проблемы физики», Междунар. школа-конф. молодых учёных и специалистов, Минск, 4-6 ноября 2020 г. / Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. – Минск, 2020. – С. 41–42.

3. Рыжевич, А. А. Новый метод формирования бесселевых световых пучков первого порядка и возможность их применения в нанотехнологиях / А. А. Рыжевич // Оптический журнал – 2001. – Т. 68, № 3. – С. 54–55.

И. В. Балыкин

(Институт Физики НАН Беларуси, Минск)

Науч. рук. А. А. Рыжевич, канд. физ.-мат. наук

СТРУКТУРА НЕБЕССЕЛЕВЫХ КОНИЧЕСКИХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В КРИСТАЛЛАХ

Небесселев конический световой пучок (НБКСП) формируется конической линзой из коллимированного светового пучка гауссова типа в области пространства, расположенной непосредственно после зоны существования бесселева светового пучка (БСП), имеющей форму ромбоида. Волновые вектора НБКСП образуют коническую поверхность, угол при вершине которой прямо пропорционален углу при основании конуса используемой конической линзы, однако, в отличие от обычного бесселева светового пучка, распределение интенсивности в НБКСП не описывается квадратом функции Бесселя.

Зона существования БСП - пространственная область, представляющая собой ромбоид длиной z_w , ограниченный поверхностями, формируемыми парциальными пучками, выходящими из вершины аксикона и из окружности радиусом w на поверхности аксикона, в которой падающий на аксикон гауссов световой пучок ослабевает по интенсивности в e^2 раз относительно максимума. Для исследования пространственного распределения интенсивности нами использовались две численные модели - основанная на преобразовании Ганкеля (метод 1) [1, с. 24] и аппроксимация интенсивности с помощью аналитической функции, полученной в параксиальном приближении (метод 2) [1, с. 23]. В качестве характерного поперечного размера использовалась полуширина пучка по уровню $1/e^2 - w$, а в качестве характерного продольного размера была использована длина зоны существования - z_w . Типичным значением величины w была зафиксирована $w_R=2500$ мкм ($R - reference$), обычная для гелий-неонового лазера. Предварительный анализ производился с использованием метода 1 при $w=w_R$, $\lambda=0,633$ мкм. По его результатам было получено простран-

ственное распределение интенсивности светового пучка. При рассмотрении осевого распределения интенсивности было выявлено, что при $z=z_w$, то есть на границе зоны существования БСП, максимальная интенсивность пучка составила $\approx 150I_0$, (I_0 – максимальная интенсивность входного гауссова пучка в плоскости аксикона). Таким образом, на границе зоны существования все еще сохраняется яркий осевой максимум, характерный для БСП. Поэтому при проектировании систем, использующих компоненты, не обладающие высокой лучевой прочностью (некоторые кристаллы или стекла, например) следует использовать другую оценку зоны существования, которая будет характеризовать начало «безопасной области».

В качестве такой оценки предлагаются две величины – z_E , z_K , z_E представляет собой значение продольной координаты, при которой интенсивность осевого максимума и максимальная интенсивность в главном (максимальном по интенсивности) кольце пучка становятся равны по величине. z_K – значение продольной координаты, при которой интенсивность осевого максимума становится равна максимальной интенсивности падающего на аксикон гауссова светового пучка в плоскости аксикона.

На рисунке 1 приведены зависимости интенсивности осевого максимума и максимальной интенсивности первого кольца в формируемом аксиконом световом пучке от продольной координаты в логарифмическом масштабе. На этой зависимости отмечены положения z_E , z_K . На графике явно виден излом, причина которого в том, что в этой точке кроме центрального максимума существует два других, равных по величине. Один принадлежит первому кольцу БСП, а второй – кольцу, формируемому разошедшимся по законам геометрической оптики пучками лучей от аксикона. В точке излома эти максимумы становятся равны, а дальше с увеличением z интенсивность центрального кольца падает, а внешнего – растет, поэтому внешнее кольцо становится главным. Таким образом, до точки излома график интенсивности на рисунке 1, соответствует первому кольцу БСП, а после – внешнему кольцу.

Полученное в результате моделирования значение $z_E=6002,5$ мкм= $2,4010 z_w$, $z_K=5480,0$ мкм = $2,1920 z_w$. Как видно, эти значения существенно превышают величину z_w , что также свидетельствует о непригодности использования z_w в качестве оценки начала безопасной зоны для НБКСП.

Также интерес представляют зависимости z_E , z_K от w при фиксированной мощности пучка. Этот случай довольно часто встречается на

практике, например, когда в оптической схеме используется источник лазерного излучения вместе с расширителем пучка в виде перестраиваемого телескопа. В таком случае, использование метода 1 может быть довольно затруднительным, по причине существенного увеличения требуемых вычислительных ресурсов (близкому к $O(n^2)$) при использовании имеющегося алгоритма. Поэтому использовался метод 2. Полученные зависимости приводятся на рисунке 2.

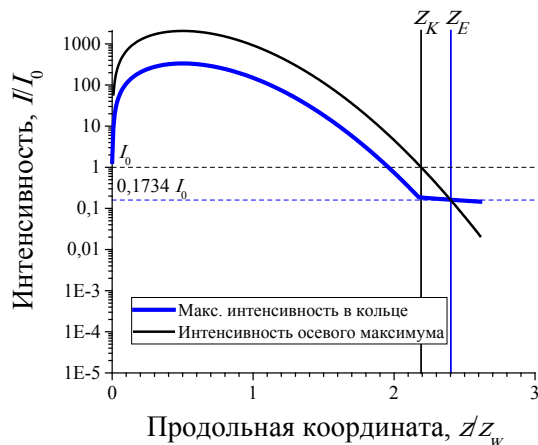


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности осевого максимума и максимальной интенсивности главного кольца в формируемом аксиконом световом пучке от продольной координаты в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабе для $w=2500$ мкм

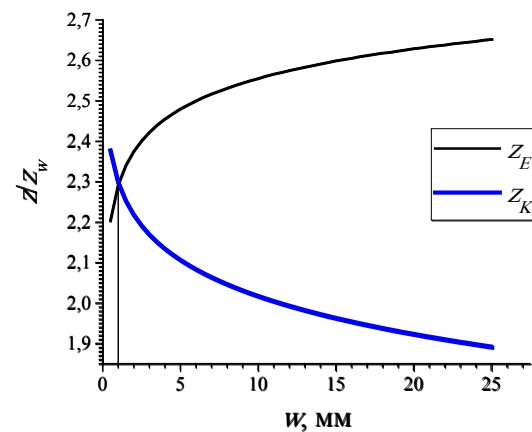


Рисунок 2 – Зависимость положения характерных точек z_E и z_K нормированных на длину зоны существования z_w от ширины входного пучка при фиксированной мощности пучка

Интересно, что при малых значениях w $z_K > z_E$, а при больших – $z_E > z_K$. Из рисунка 2 видно, что при наиболее часто используемых значениях полуширины падающего пучка ($w < 25$ мм) z_E и z_K близки по величине к $2,3 z_w$ и лежат в диапазоне от $1,9$ до $2,6 z_w$.

Расстояние z_K является оптимальным для размещения на нем кристалла с целью линейно- или нелинейно-частотного преобразования мощного лазерного конического пучка во избежание разрушения материала кристалла осевым максимумом интенсивности при условии, что уровень интенсивности I_0 заведомо безопасный. На расстоянии z_E следует размещать кристалл при необходимости пропускания через него лазерного излучения с максимально допустимой для данного кристалла плотностью мощности.

Литература

1. T. Cizmar, Optical traps generated by non-traditional beams, Ph.D. thesis, Masaryk University in Brno (2006). – Режим доступа: <https://is.muni.cz/th/r5vi5/disertace.pdf>. – Дата доступа: 30.09.2020

А. Л. Барахоев
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **С. В. Бордусов**, д-р техн. наук, профессор

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОТОКА ОЗОНА-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ПРОФИЛЬ НАГРЕВА ОБРАБАТЫВАЕМОГО ОБЪЕКТА

Для проведения и анализа результатов экспериментов по удалению в условиях атмосферного давления с поверхности кремниевых пластин фоторезистивных маскирующих покрытий в потоке озон-воздушной смеси, а именно для оценки её влияния на температуру поверхности обрабатываемой нагреваемой кремниевой пластины, произведено моделирование процессов теплообмена внутри исследовательского стенда в программном пакете ANSYS Fluent.

Область моделирования разбита на три части: пластина, нагреватель и воздушный объём экспериментальной камеры. Материалом газового промежутка выбран воздух, пластины – монокристаллический кремний, нагревателя – керамика из оксида алюминия Al_2O_3 с чистотой 95%.

Свойства используемых материалов взяты из справочников [1, 2] и приведены в таблице 1. При моделировании натуральной конвекции значение плотности воздуха определялось с помощью уравнения несжимаемого идеального газа.

Таблица 1 – Свойства используемых материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К)	Теплопроводность, В/(м·К)
Оксид алюминия керамика 95%	3650	780	27
Кремний	2719	871	202,4
Воздух	1,2041	1006,43	0,0242

Выбор размеров и форм тел и поверхностей обуславливался необходимостью упрощения построения расчётной сетки для объёмов,

участвующих в моделировании, при относительном сохранении их формы. Построенная расчётная сетка состоит из 48994 вершин и 42195 элементов. Вид тел, участвующих в моделировании и их расчётная сетка показаны на рисунке 1.

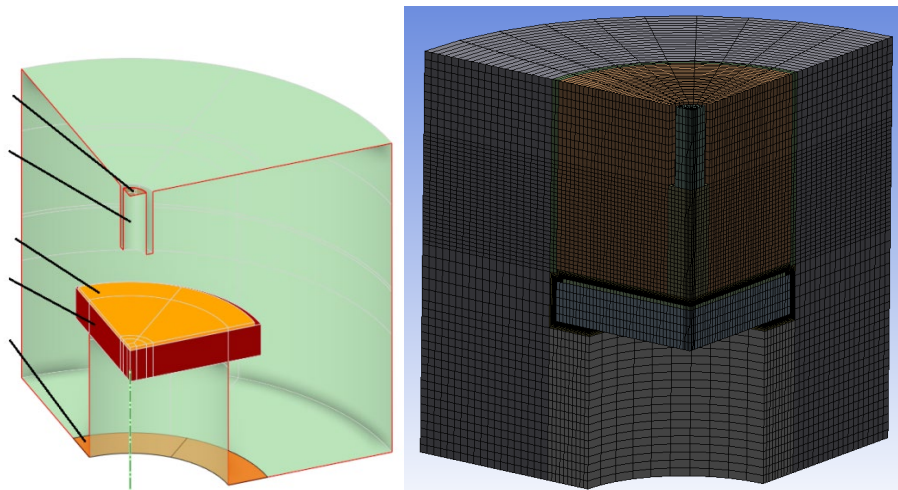


Рисунок 1 – Формы моделируемых тел и расчётная сетка:
1 – впускное отверстие, 2 – сопло подачи озono-воздушной смеси, 3 – пластина,
4 – нагреватель, 5 – выпускное отверстие

Внутреннее тепловыделение нагревателя принято равным $1,5 \text{ МВт/м}^3$. Продолжительность моделируемых процессов $T_{\text{мод}} = 600$ секунд с шагом в 10 секунд. Температура потока озono-воздушной смеси принималась равной $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Распределение температуры вдоль радиуса пластины и внутри объёма моделирования в момент времени $t_{\text{мод}} = 600$ в присутствии потока озono-воздушной смеси со скоростью 1 м/с , что соответствует расходу в $4,71 \text{ л/мин}$ при диаметре сопла 1 см , показаны на рисунке 2.

Распределение температуры вдоль радиуса пластины и внутри объёма моделирования в момент времени $t_{\text{мод}} = 600$ в отсутствии потока озono-воздушной показаны на рисунке 3.

Результаты моделирования позволяют объяснить экспериментальные данные, полученные в [3, 4], в частности касающиеся неравномерности удаления фоторезистивных маскирующих покрытий с поверхности обрабатываемой пластины при различных условиях подачи в зону обработки озono-воздушной смеси, вызывающей локальное охлаждение обрабатываемой поверхности. Поэтому с использованием программного пакета ANSYS Fluent для оценки охлаждения поверхности обрабатываемой пластины появляется возможность более достоверно оценивать и прогнозировать результаты экспериментов.

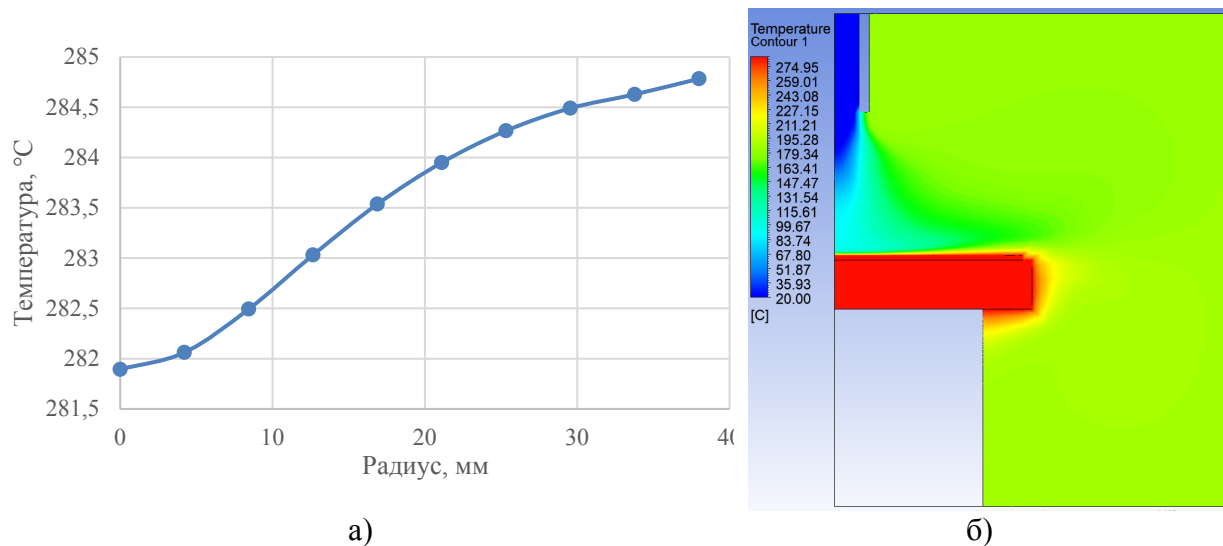


Рисунок 2 – Распределение температуры вдоль радиуса пластины (а) и внутри объёма моделирования (б) в присутствии потока озono-воздушной смеси

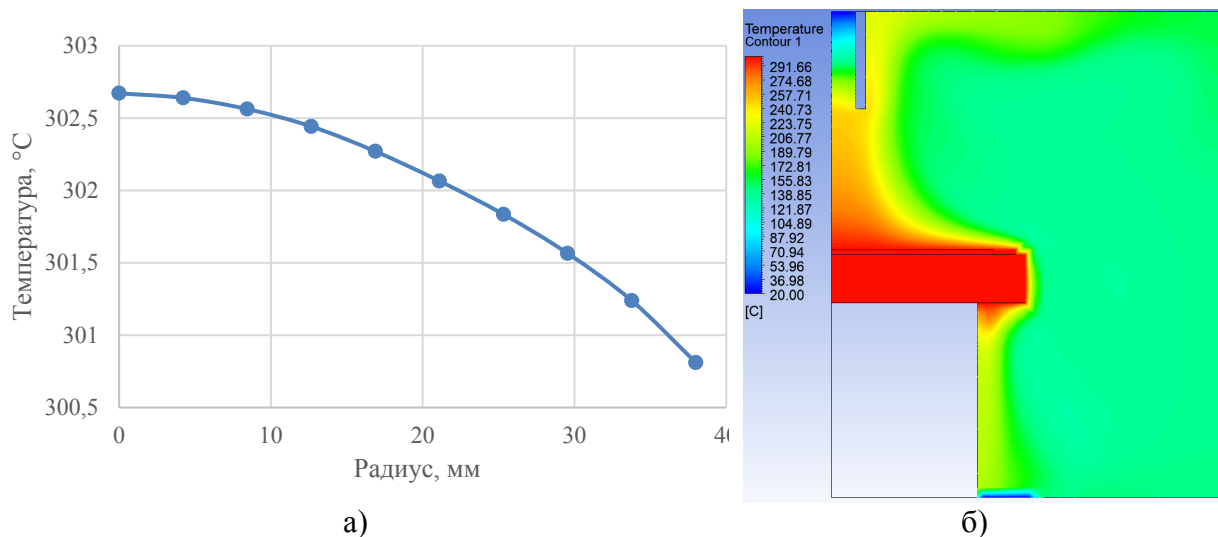


Рисунок 3 – Распределение температуры вдоль радиуса пластины (а) и внутри объёма моделирования (б) в отсутствии потока озono-воздушной смеси

Литература

1. Innovacera: Alumina 95 [Электронный ресурс] // Xiamen Innovacera Advanced Materials Co., Ltd. – URL: <https://innovacera.com/materials/95-alumina> – Дата доступа: 19.03.2021.
2. Физические величины: Справочник. / А. П. Баби́чев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.; Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М.; Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
3. Тихон О. И. Исследование влияния условий подачи озono-воздушной смеси на процесс удаления фоторезиста с поверхности

кремниевой пластины / О. И. Тихон, С. И. Мадвейко, С. В. Бордусов, А. Л. Барахоев, П. В. Камлач // Доклады БГУИР. – 2020. – № 6. – С. 57–65.

4. Gardner, W. L. Temperature and concentration effects on ozone ashing of photoresist / W. L. Gardner, A. P. Baddorf, W. M. Holber // Journal of Vacuum Science & Technology A. – 1997. Vol.15, № 3. – P. 1409–1412.

Е. Д. Головин

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ГЕНЕРАЦИЯ СУММАРНОЙ ЧАСТОТЫ В НЕЛИНЕЙНОМ СФЕРИЧЕСКОМ СЛОЕ В ПРИБЛИЖЕНИЕ ВКБ: НАПРЯЖЁННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СУММАРНОЙ ЧАСТОТЫ

Введение. Явление генерации суммарной частоты в поверхностных слоях малых centrosymmetric частиц, как и генерация второй гармоники, на сегодняшний день имеет важное значение. Данное явление используется при исследовании поверхностей и тонких слоев, нелинейных оптических свойств частиц. Также оно используется для исследования физических и химических процессов, происходящих на поверхностях частиц малых размеров. Явление генерации суммарной частоты описывается следующими моделями: нелинейной моделью Релея–Ганса–Дебая (РГД), нелинейной моделью Вентцеля–Крамерса–Бриллюэна (ВКБ) и нелинейной моделью на основе точного решения задачи Ми.

Постановка задачи. В данной работе теоретически получим формулу для вычисления напряженности поля суммарной частоты, генерируемого в нелинейном сферическом слое в приближении ВКБ. Пусть на сферическую диэлектрическую частицу радиуса a , покрытую нелинейным слоем толщиной d_0 , падает две плоские электромагнитные волны с циклическими частотами ω_1 и ω_2 и волновыми векторами $\mathbf{k}^{(1)}$ и $\mathbf{k}^{(2)}$. Отношение показателя преломления частицы к показателю преломления среды на частоте ω_1 обозначим η_1 , на частоте ω_2 – η_2 .

Найдем выражения для векторов электрической напряженности обеих волн, падающих на поверхность сферической частицы, с учё-

том сдвига фазы. Рассмотрим произвольный луч падающей электромагнитной волны с циклической частотой ω_1 и волновым вектором $\mathbf{k}^{(1)}$, лежащий в плоскости Oxy , и проходящий через поверхность частицы в точках А и Б (рисунок 1,а). Фазы в точках А и Б соответственно равны $\varphi_A^{(1)} = \mathbf{k}^{(1)} \cdot \mathbf{x}$ и $\varphi_B^{(1)} = \mathbf{k}^{(1)} \cdot \mathbf{x} + 2(\eta_1 - 1)\mathbf{k}^{(1)} \cdot \mathbf{x}$. Подберем такое обобщающее выражение для фазы, чтобы ее значение в точке А равнялось $\varphi_A^{(1)}$, а в точке Б – $\varphi_B^{(1)}$. Получим следующую формулу:

$$\varphi_1 = \mathbf{k}^{(1)} \cdot \mathbf{x} + (\eta_1 - 1)(\mathbf{k}^{(1)} \cdot \mathbf{x} + |\mathbf{k}^{(1)} \cdot \mathbf{x}|). \quad (1)$$

Аналогично получим фазу падающей волны с циклической частотой ω_2 и волновым вектором $\mathbf{k}^{(2)}$:

$$\varphi_2 = \mathbf{k}^{(2)} \cdot \mathbf{x} + (\eta_2 - 1)(\mathbf{k}^{(2)} \cdot \mathbf{x} + |\mathbf{k}^{(2)} \cdot \mathbf{x}|). \quad (2)$$

Тогда значения векторов напряженности для падающих волн запишутся следующим образом:

$$\mathbf{E}^{(j)}(\mathbf{x}) = \frac{2}{\eta_j + 1} \mathbf{e}^{(j)} E_j \exp(i(\eta_j - 1)(\mathbf{k}^{(j)} \cdot \mathbf{x} + |\mathbf{k}^{(j)} \cdot \mathbf{x}|)), \quad (3)$$

где j принимает значения 1 и 2 для первой и второй волн соответственно, $\mathbf{e}^{(1)}$ и $\mathbf{e}^{(2)}$ – единичные векторы, характеризующие поляризацию падающего излучения, E_1 и E_2 – комплексные амплитуды падающих волн. Временная часть $\exp(-i\omega t)$ подразумевается, но опускается для удобства расчётов.

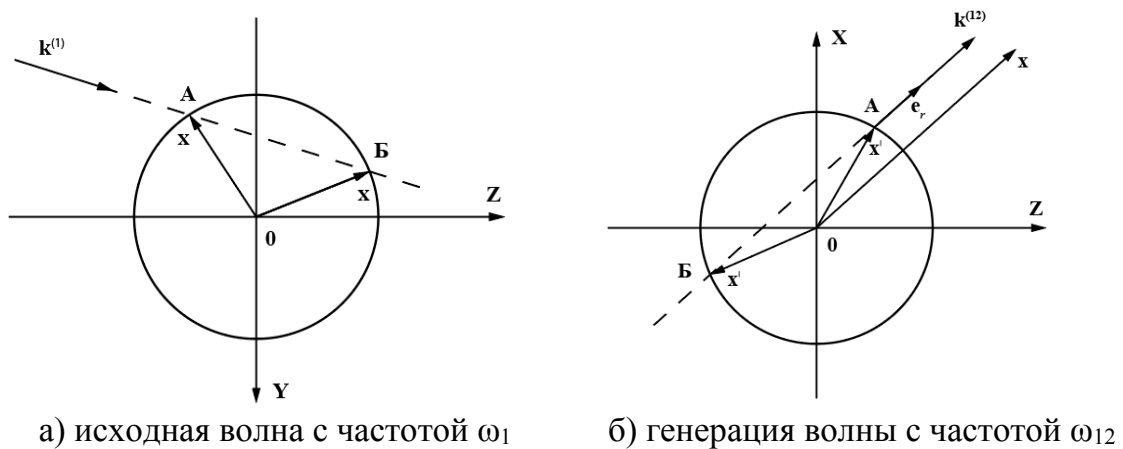


Рисунок 1 – Схемы прохождения волн через сферическую частицу

Рассмотрим поле генерируемой волны. Пусть на поверхности частицы генерируется волна с частотой ω_{12} и волновым вектором $\mathbf{k}^{(12)}$, направленным вдоль вектора наблюдения \mathbf{e}_r (рисунок 1,б). Причиной генерации суммарной частоты является нелинейная часть поляризации [1]. Найдем фазу для волны суммарной частоты. Фаза волны, пришедшей к наблюдателю в дальней зоне от точки А, равна $\varphi_A^{(12)} = \mathbf{k}^{(12)} |\mathbf{x} - \mathbf{x}'|$; фаза генерируемой волны, пришедшей к наблюдателю от точки Б, равна $\varphi_B^{(12)} = \mathbf{k}^{(12)} |\mathbf{x} - \mathbf{x}'| - 2(\eta_{12} - 1)\mathbf{k}^{(12)} \cdot \mathbf{x}'$. Здесь \mathbf{x} – вектор от начала координат к наблюдателю, \mathbf{x}' – вектор от начала координат к элементу поверхности сферической частицы. Аналогично рассуждениям для фаз падающих волн, подберем обобщающее выражение. Получим

$$\varphi_{12} = \mathbf{k}^{(12)} |\mathbf{x} - \mathbf{x}'| + (\eta_{12} - 1)(-\mathbf{k}^{(12)} \cdot \mathbf{x}' + (\eta_{12} - 1)|\mathbf{k}^{(12)} \cdot \mathbf{x}'|). \quad (4)$$

Воспользуемся приближением для дальней зоны [2]

$$\begin{aligned} \exp(ik_{12} |\mathbf{x} - \mathbf{x}'|) &\approx \exp(ik_{12} r) \exp(-i\mathbf{k}^{(12)} \cdot \mathbf{x}'), \\ |\mathbf{x}| &\gg |\mathbf{x}'|. \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда выражение для компонент напряжённости электрического поля генерируемого излучения запишем в виде

$$E_i^{(12)}(\mathbf{x}) = \mu_{12} \frac{(\omega_{12})^2}{c^2} \frac{\exp(ik_{12} r)}{r} d_0 a^2 E_1 E_2 (\delta_{im} - e_{r,i} e_{r,m}) X_{mjk}^{(12)} e_j^{(1)} e_k^{(2)}, \quad (6)$$

где μ_{12} – магнитная проницаемость среды на частоте ω_{12} , $X_{ijk}^{(12)}$ эффективная восприимчивость, которую можно определить по формуле

$$\begin{aligned} X_{ijk}^{(12)} &= \left(\frac{2}{\eta_1 + 1} \right) \left(\frac{2}{\eta_2 + 1} \right) \frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} \exp(i\mathbf{q} \cdot \mathbf{x}' + i(\eta_{12} - 1)(-\mathbf{k}^{(12)} \cdot \mathbf{x}' + |\mathbf{k}^{(12)} \cdot \mathbf{x}'|)) \times \\ &\times \exp(i(\eta_1 - 1)(\mathbf{k}^{(1)} \cdot \mathbf{x}' + |\mathbf{k}^{(1)} \cdot \mathbf{x}'|) + i(\eta_2 - 1)(\mathbf{k}^{(2)} \cdot \mathbf{x}' + |\mathbf{k}^{(2)} \cdot \mathbf{x}'|)) \times \\ &\times \chi_{ijk}^{(2)}(\theta', \varphi') d\Omega_{\mathbf{x}'}. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $\mathbf{q} = \mathbf{k}^{(1)} + \mathbf{k}^{(2)} - \mathbf{k}^{(12)}$ – вектор рассеяния, где $\mathbf{k}^{(12)} = k_{12} \mathbf{e}_r$, $k_{12} = \xi(k_1 + k_2)$, ξ – показатель дисперсии окружающей частицу среды, $\chi_{ijk}^{(2)}$ – тензор диэлектрической восприимчивости второго порядка [3]:

$$\begin{aligned} \chi_{ijk}^{(2)} = & \chi_1^{(2)} n_i n_j n_k + \chi_2^{(2)} n_i \delta_{jk} + \chi_3^{(2)} n_j \delta_{ki} + \chi_4^{(2)} n_k \delta_{ij} + \\ & + \chi_5^{(2)} n_m n_i \varepsilon_{mjk} + \chi_6^{(2)} n_m n_k \varepsilon_{ijm} + \chi_7^{(2)} n_m n_j \varepsilon_{imk}, \end{aligned} \quad (8)$$

где n_i – компоненты вектора \mathbf{n} , перпендикулярного элементу поверхности сферы, δ_{ij} – дельта-символ Кронекера, ε_{ijk} – символ Леви–Чивита, $\chi_i^{(2)}$ – значения независимых коэффициентов тензора $\chi_{ijk}^{(2)}$.

Заключение. В работе предложена модель генерации суммарной частоты в поверхностном слое диэлектрической сферической частицы с использованием приближения ВКБ. На основе описанной модели с использованием численного интегрирования можно определить напряжённость электрического поля генерируемого излучения и другие его характеристики.

Литература

1. Шамына, А. А. Генерация суммарной частоты от тонкого цилиндрического слоя / А. А. Шамына, В. Н. Капшай // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 124, № 1. – С. 105–121.
2. Шамына, А. А. Генерация суммарной частоты от тонкого сферического слоя. I. Аналитическое решение / А. А. Шамына, В. Н. Капшай // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 124, № 6. – С. 795–803.
3. Капшай, В. Н. Генерация суммарной частоты от тонкого сферического слоя. II. Анализ решения / В. Н. Капшай, А. А. Шамына // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 125, № 1. – С. 71–78.

Д. А. Горицкая

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РЕАЛИЗАЦИЯ ТРЕХМЕРНОГО МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Методы компьютерного моделирования находят свое применение в решении самых разнообразных задач в таких областях как физика, химия, биология и т. д. Среди этих методов особое место занимает

метод моделирования классической динамики системы частиц, который обычно обозначают как метод молекулярной динамики (МД).

Для описания движения структурных частиц в этом методе применяется классическая механика, при этом силы межчастичного взаимодействия задаются модельным потенциалом взаимодействия. В методе МД моделируется движение для каждой частицы, и по результатам моделирования вычисляются физические параметры всей системы. Все параметры выражены в безразмерных единицах. [1, 2]

Для реализации метода молекулярной динамики в трехмерной постановке задачи была разработана компьютерная программа на языке C# с подключением библиотеки OpenGL [3].

Разработанная программа включает в себя следующие компоненты:

- Компонент `openGLControl`, на котором происходит визуализация системы частиц;
- Область ввода начальных значений и параметров системы;
- Область вывода результатов, полученных в ходе работы программы;
- Компонент `Chart`, отображающий график зависимости кинетической, потенциальной и общей энергии системы частиц от числа расчетных шагов программы.

Рассмотреть вид моделирующей программы можно на рисунке 1.

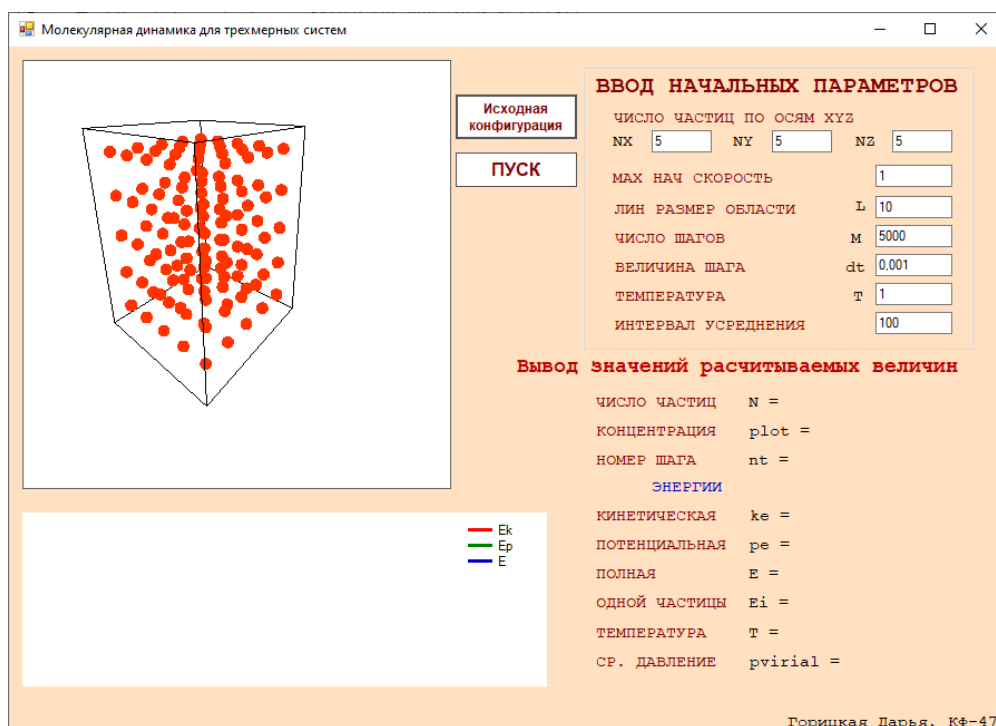


Рисунок 1 – Задание исходной конфигурации для системы $N = 125$ частиц

Алгоритм реализации метода МД содержит следующие этапы:

1. Задается исходная конфигурация системы частиц (число частиц, размер линейной области, количество расчетных шагов и т. д.);
2. Применяются периодические граничные условия. Таким образом, число частиц в нашей системе сохраняется;
3. Происходит интегрирование уравнений движения на временном шаге Δt через скоростной алгоритм Верле. Координаты и скорости движения частиц вычисляются по следующим формулам:

$$\vec{r}_i(t + \Delta t) = \vec{r}_i(t) + \vec{V}_i(t)\Delta t + \vec{a}_i(t)\frac{\Delta t^2}{2},$$

$$\vec{V}_i(t + \Delta t/2) = \vec{V}_i(t) + \vec{a}_i(t)\frac{\Delta t}{2},$$

$$\vec{a}_i(t + \Delta t) = \frac{\vec{F}_i(t)}{m},$$

$$\vec{V}_i(t + \Delta t) = \vec{V}_i(t + \Delta t/2) + \vec{a}_i(t + \Delta t)\frac{\Delta t}{2};$$

4. Потенциальная энергия и силы межчастичного взаимодействия определяются на основании потенциала Леннарда-Джонса

$$U(r_{ij}) = 4 \left[\left(\frac{1}{r_{ij}} \right)^{12} - \left(\frac{1}{r_{ij}} \right)^6 \right]$$

5. Выполняется вычисление термодинамических и кинетических параметров, характеризующих состояние системы (температура, давление, потенциальная и кинетическая энергии и т. д.);

6. Строится новое изображение на компоненте `openGLControl`, на котором частицы имеют уже новые координаты.

В методе молекулярной динамики необходимо, чтобы полная энергия системы частиц оставалась постоянной, так как наша система изолирована. Для этого нужно проверить график зависимости кинетической и потенциальной энергий от времени.

Рассмотрим график для системы, изображенной на рисунке 2. Как видим, зависимость имеет правильный вид.

В последующем планируется добавить расчет некоторых физических величин для системы частиц и рассмотреть систему через канонический «NVT-ансамбль». В этот случае происходят эндо- и экзотермические процессы обмена энергии уже с термостатом.

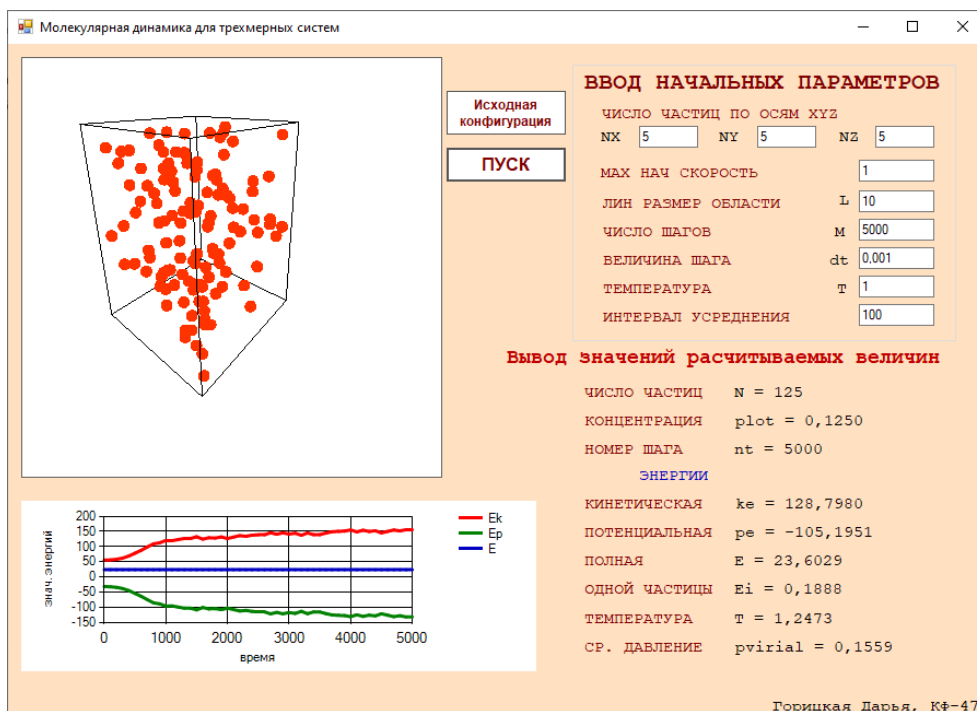


Рисунок 2 – Результат работы моделирующей программы

Литература

1. Галимзянов Б. Н., Мокшин А. В. Основы моделирования молекулярной динамики: Учебное пособие. – Казань: КФУ, 2016. – 107 с.
2. Гулд, Х. Компьютерное моделирование в физике. Часть 1 / Х. Гулд, Я. Тобочник. – М.: Мир, 1990. – 350 с.
3. Баяковский Ю. М., Игнатенко А. В. Начальный курс OpenGL. М.: Планета знаний, 2007. – 221 с.

А. А. Гришечкина

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПАРЦИАЛЬНЫЕ ДВУХЧАСТИЧНЫЕ УРАВНЕНИЯ В РЕЛЯТИВИСТСКОМ КОНФИГУРАЦИОННОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ В СЛУЧАЕ ЕДИНИЧНОГО ОРБИТАЛЬНОГО МОМЕНТА ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛА « δ -СФЕРА»

Рассмотрим уравнение для парциальных волновых функций $\psi_{(j)}(r)$ в релятивистском конфигурационном представлении, описы-

вающих состояния рассеяния системы двух частиц в случае единичного орбитального момента [1]:

$$\psi_{(j)}(r) = m \operatorname{sh} \chi_q p_1(\chi_q, r) + \int_0^{\infty} G_{(j)}(r, r') V(r') \psi_{(j)}(r') dr', \quad (1)$$

$$p_1(\chi_k, r) = \frac{r}{(mr + i) \operatorname{sh}^2 \chi_k} \left(\frac{\operatorname{ch} \chi_k \sin(\chi_k mr)}{mr} - \operatorname{sh} \chi_k \cos(\chi_k mr) \right). \quad (2)$$

В выражениях (1) – (2) χ_q – быстрота, с помощью которой параметризуется энергия состояния рассеяния $2E = 2m \operatorname{ch} \chi_q$, m – масса каждой из частиц, а индекс j указывает на соответствующее уравнение ($j = 1$ – модифицированное уравнение Кадышевского, $j = 2$ – уравнение Логунова-Тавхелидзе, $j = 3$ – модифицированное уравнение Логунова-Тавхелидзе, $j = 4$ – уравнение Кадышевского). Явный вид парциальных функций Грина $G_{(j)}(r, r')$ был определен нами ранее [2].

При $r \rightarrow \infty$ функции Грина $G_{(j)}(r, r')$ имеют следующее поведение:

$$G_{(j)}(r, r') \Big|_{r \rightarrow \infty} \cong K_{(j)}(r') e^{i\chi_q mr}, \quad (3)$$

где

$$K_{(1)}(r') = K_{(3)}(r') = \frac{-ir'}{(mr' - i)} \left(\frac{\cos(\chi_q mr')}{\operatorname{sh} \chi_q} - \frac{\operatorname{cth} \chi_q}{mr' \operatorname{sh} \chi_q} \sin(\chi_q mr') \right),$$

$$K_{(2)}(r') = K_{(4)}(r') = \frac{-ir'}{(mr' - i)} \left(\frac{2 \cos(\chi_q mr')}{\operatorname{sh}(2\chi_q)} - \frac{\sin(\chi_q mr')}{mr' \operatorname{sh}^2 \chi_q} \right).$$

Для потенциала « δ -сфера»:

$$V(r) = V_0 \delta(r - a) \quad (4)$$

уравнение (1) дает следующий простой результат:

$$\psi_{(j)}(r) = m \operatorname{sh} \chi_q p_1(\chi_q, r) + G_{(j)}(r, a) V_0 \psi_{(j)}(a). \quad (5)$$

Для того, чтобы определить значение $\psi_{(j)}(a)$ в (5), необходимо рассмотреть волновую функцию в точке $r = a$ и решить полученное линейное алгебраическое уравнение относительно $\psi_{(j)}(a)$. В итоге, для поведения $\psi_{(j)}(r)$ при $r \rightarrow \infty$, получаем

$$\psi_{(j)}(r) \Big|_{r \rightarrow \infty} = m \operatorname{sh} \chi_q \left(p_1(\chi_q, r) \right) \Big|_{r \rightarrow \infty} + f_{(j)}(\chi_q) (-i) e^{im\chi_q r} m \operatorname{sh} \chi_q. \quad (6)$$

В выражении (6) $f_{(j)}(\chi_q)$ – релятивистская амплитуда рассеяния:

$$f_{(j)}(\chi_q) = iK_{(j)}(a)V_0 \frac{p_1(\chi_q, a)}{1 - V_0 G_{(j)}(a, a)}. \quad (7)$$

Парциальное сечение рассеяния для p -волны выражается через амплитуду рассеяния $f_{(j)}(\chi_q)$ следующим образом

$$\sigma_{1(j)}(\chi_q) = 12\pi \left| f_{(j)}(\chi_q) \right|^2. \quad (8)$$

На рисунке 1 приведены графики зависимости сечений рассеяния от быстроты при следующих значениях параметров: $a = 5$, $V_0 = 8$, $m = 1$.

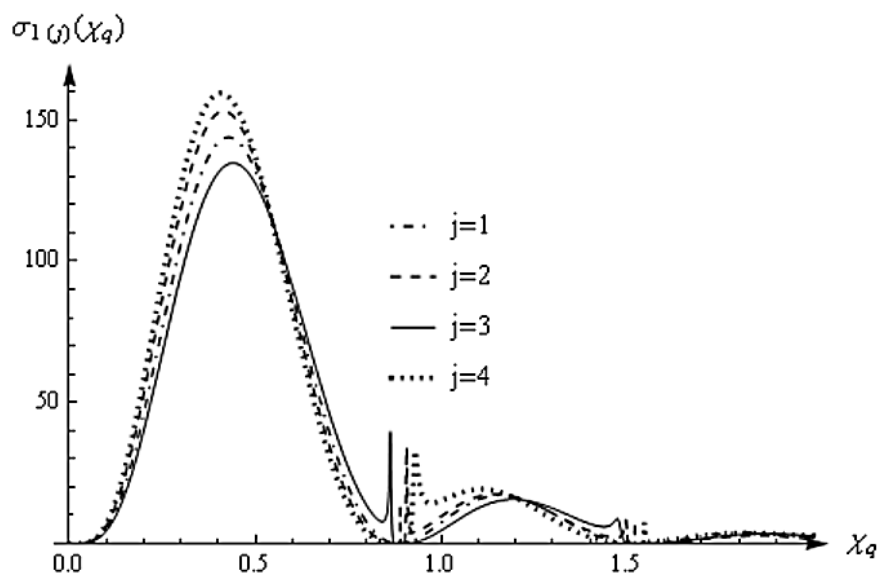


Рисунок 1 – График зависимости сечения рассеяний $\sigma_{1(j)}$ от χ_q

Следует отметить некоторые особенности полученных парциальных сечений рассеяния:

- при увеличении параметра a возрастают максимумы сечений рассеяния;
- при увеличении параметра V_0 наблюдается появление пиков вблизи нулей функции $\sigma_{1(j)}(\chi_q)$;
- при увеличении параметра m максимумы сечения рассеяния смещаются в область меньших χ_q .

Ранее была решена аналогичная задача для s -состояний рассеяния [3]. С целью проведения сравнительного анализа приведем графики сечения рассеяния при $l = 0, 1$ для уравнения Логунова-Тавхелидзе и модифицированного уравнения Логунова-Тавхелидзе ($a = 5$, $V_0 = 8$, $m = 1$):

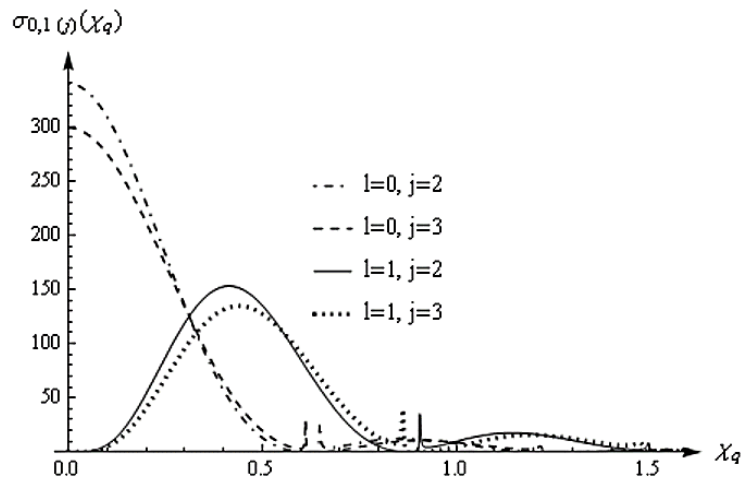


Рисунок 2 – График зависимости сечений рассеяния $\sigma_{0,1(2,3)}$ от χ_q при $l = 0, 1$

Таким образом, в данной работе рассмотрено нахождение волновых функций парциальных двухчастичных уравнений в релятивистском конфигурационном представлении в случае единичного орбитального момента. На основании полученных волновых функций найдены парциальные амплитуды рассеяния и сечения рассеяния для потенциала « δ -сфера».

Литература

1. Капшай, В. Н. Решения релятивистских двухчастичных уравнений с произвольным орбитальным моментом / В. Н. Капшай,

С. И. Фиалка // Известия ВУЗов. Физика. – 2017. – Т. 60, № 1. – С. 34–43. (Kapshai, V. N. Solution of relativistic two-particle equations with arbitrary orbital angular momentum / V. N. Kapshai, S. I. Fialka // Russ. Phys. Journal. – 2017. – Vol. 60, № 1. – P. 37–49.)

2. Капшай, В. Н. Парциальные релятивистские функции Грина для состояний рассеяния в случае единичного орбитального момента / В. Н. Капшай, А. А. Гришечкина / Материалы международной юбилейной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины: в 3 ч. – Гомель: УО ГГУ им. Ф. Скорины, 2020 г. – Ч.3. – С. 224–229.

3. Капшай, В. Н. Релятивистская задача о s -состояниях рассеяния для суперпозиции двух потенциалов « δ -сфера» / В. Н. Капшай, Ю. А. Гришечкин // Проблемы физики, математики и техники. – 2015. – №2 (23). – С. 7–12.

И. Л. Громыко
(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Галушко**, канд. техн. наук, доцент

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ТРАНСФОРМАТОРЕ

Одним из наиболее распространенных следствий ухудшения свойств изоляции являются межвитковые замыкания. При межвитковом замыкании изоляция обмотки нарушается и происходит ее пробой между витками, что впоследствии может привести к выходу из строя трансформатора.

В качестве объекта исследования использовались однофазные трансформаторы малой мощности с воздушным охлаждением. В ходе экспериментов при изменяющейся нагрузке трансформатора выполнялось межвитковое замыкание различного числа витков на одной фазе первичной и вторичной обмоток. Схема экспериментальной установки по исследованию МКЗ трансформатора представлена на рисунке 1.

Отслеживая в режиме реального времени возможные текущие сбои, можно снизить количество неплановых ремонтов и отказов указанного оборудования.

При проведении экспериментальных исследований были предусмотрены следующие мероприятия:

- МКЗ проводились в режиме реального времени на первичной и вторичной обмотках однофазного трансформатора с воздушным охлаждением;
- МКЗ выполнялось на двух-, пяти- и десяти витках;
- осуществлялась регистрация с помощью приборов и датчиков.

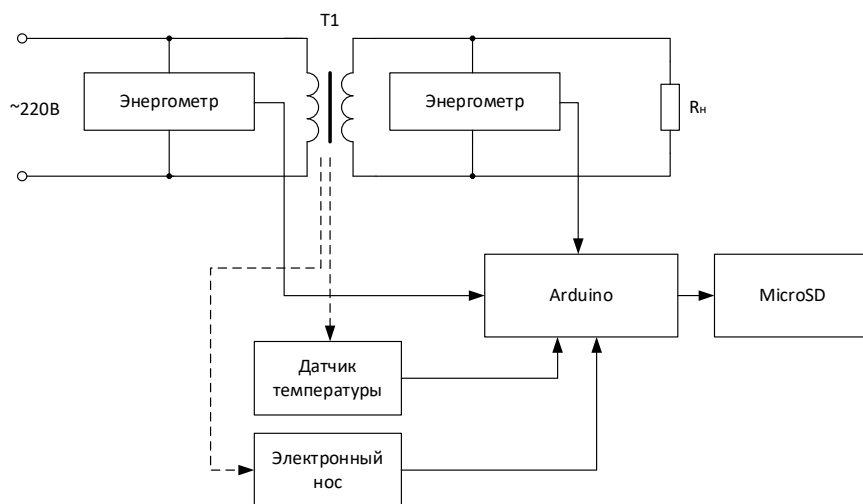


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки по исследованию МКЗ трансформатора

В тоже время проводился анализ информации с использованием следующих данных:

- напряжений и токов первичной и вторичной обмоток;
- активные, реактивные и полные мощности по высокой и низкой стороне трансформатора;
- анализировался состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции с помощью устройства «электронный нос»;
- измерялась температура в зоне КЗ и на удалении 5 см от обмоток;
- проводилось осциллографирование и разложение по гармоникам кривых тока и напряжения;
- выполнено более 500 измерений при нормальном режиме работы и при межвитковом замыкании с интервалом в 1 секунду при 7 различных активных и активно-индуктивных нагрузках;
- получаемые результаты приборного учета (рисунок 3, 4, 5) через аналогово-цифровой преобразователь поступали на вход в программу

MATLAB в качестве исходных данных для нейромодели с целью ее обучения и анализа информации и создания математической модели;

- с помощью RLC-метра определялись параметры обмоток трансформатора.

Разработка математического инструментария диагностирования состояния трансформаторов позволит решить следующие задачи:

- анализ процессов для настройки оборудования и аппаратов защиты от исследуемых неисправностей;
- обучение свёрточных нейронных сетей.

Математический инструментарий представлен в виде T-образной схемы замещения.

С помощью программы Simulink на основе T-образной схемы замещения апробирован и верифицирован инструментарий анализа коротких замыканий обмоток и неисправностей магнитопровода для дальнейшего обучения свёрточных нейронных сетей. Данные представляются в графической форме на рисунке 2 и позволяют по паспортным данным трансформатора без экспериментальных исследований настроить нейронную сеть для нового трансформатора.

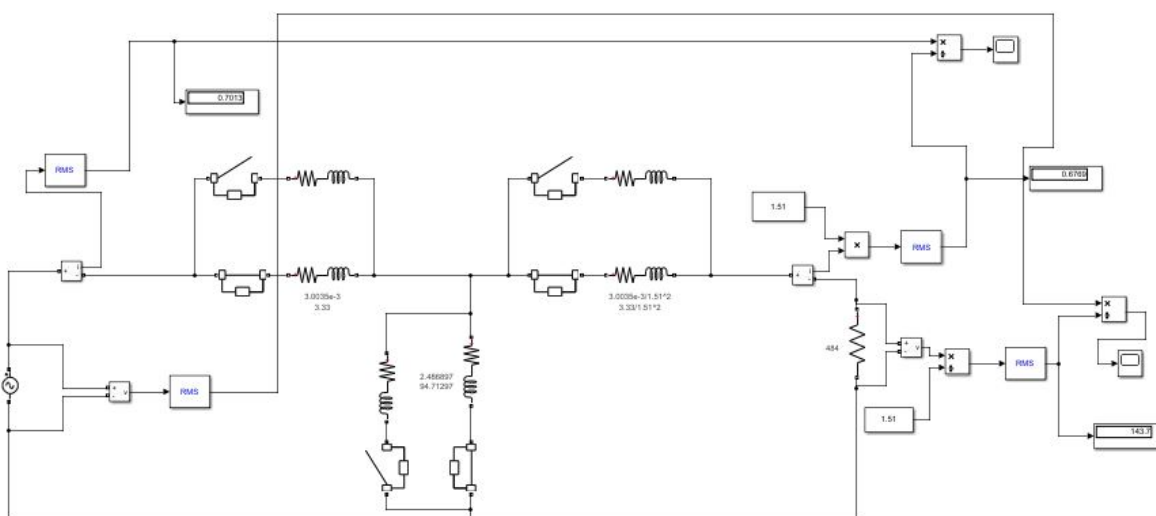


Рисунок 2 – Реализация коротких замыканий обмоток и неисправностей магнитопровода в программе Simulink на основе T-образной схемы замещения

Литература

1. Шерьязов, С. К. Классификация факторов, влияющих на витковые замыкания в трансформаторах напряжением 6-10/0,4 кВ/ С. К. Шерьязов, А. В. Пятков // Вестник КрасГАУ – 2014. – №7.

2. Воробьев, В. Е. Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции / В. Е. Воробьев, В. Я. Кучер. – СЗТУ. – Санкт Петербург, 2004. –56 с.

3. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие / А. И. Хальясмаа [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 64 с.

А. С. Жиженский

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ДЕКЛАРАТИВНЫЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС НА ANDROID

Декларативное программирование – это парадигма программирования, в которой задаётся спецификация решения задачи, то есть описывается, что представляет собой проблема и ожидаемый результат [1]. Простыми словами, это стиль программирования, в котором вы описываете, какой результат хотите получить. Его противоположностью является императивное программирование. Если вы имели дело с разработкой интерфейсов программ, то, скорее всего, вы пользовались императивным стилем программирования. Императивный стиль – это когда чётко описывается последовательность действий, которую машина должна выполнить для соответствующего результата. Мы сначала создаём объект интерфейса, а затем изменяем его так, как нам нужно, указываем его поведение при изменении данных, связанных с ним. Если у нас должен поменяться цвет элемента при нажатии кнопки, то мы должны в его обработчике нажатия у нужного нам элемента интерфейса изменить поле с цветом. В декларативном стиле мы не будем сами изменять поля элемента, этим займётся машина. В этом его преимущество: мы не затрагиваем сам элемент интерфейса, это позволяет избежать множества ошибок. Программисту лишь следует указать состояние (state) изменения цвета. Мы меняем состояние, а интерфейс сам реагирует на его изменение и меняет цвет в соответствии с текущим состоянием.

На Android декларативный UI представлен фреймворком Jetpack Compose. Он был представлен в мае 2019 года на конференции Google I/O и на данный момент находится в бета-тестировании под версией 1.0.0-beta03.

Некоторые преимущества Jetpack Compose:

- декларативное написание интерфейса;
- вся работа с UI в одном файле (нет необходимости переключаться между классами и XML-файлами);
- наличие превью;
- меньшее количество кода.

Для того чтобы использовать Jetpack Compose, необходимо установить последнюю «Canary» версию Android Studio. Теперь можно будет создать проект с шаблоном Empty Compose Activity.

Jetpack Compose построен на основе «composable» функций. Эти функции позволяют программно определять пользовательский интерфейс приложения, описывая его форму и зависимости данных и не сосредотачиваться на процессе построения пользовательского интерфейса. Чтобы создать такую функцию, надо просто добавить аннотацию `@Composable` к имени функции. Важно запомнить, что только «composable» функции могут вызывать «composable» функции. Внутри таких функций указываются элементы интерфейса. Вот некоторые из них:

- `Text` – отображает указанный текст;
- `Button` – простая кнопка;
- `TextField` – поле для ввода текста;
- `Image` – отображает указанное изображение.

Все элементы имеют свои свойства (отображаемый текст для `Text`, обработчик нажатия для `Button`), а также общие модификаторы, такие как: отступ, выравнивание, высота, ширина, тень, фон, обработка нажатия и т. д.

Если написать подряд несколько элементов, то они будут наслаиваться друг на друга на экране, поэтому необходимо их обернуть в элемент для указания их взаимного расположения. Элемент `Column` служит для вертикального расположения элементов; `Row` – используется для горизонтального расположения; `Box` – для размещения дочернего элемента поверх родительского.

Для того чтобы взглянуть заранее на написанную «composable» функцию, необходимо пометить её аннотацией `@Preview` перед `@Composable`. Необходимо учесть, что функция не должна принимать никакие параметры. Однако, можно сделать функцию-обёртку и передать параметры внутри этой функции. Код, помеченный аннотацией `@Preview` не будет учитываться при построении проекта.

Приложения на Jetpack Compose передают данные в пользовательский интерфейс путём вызова «composable» функций. Если данные

изменились, то вызывается функция с новыми данными, создавая обновленный элемент UI. Фреймворк предлагает инструмент для отслеживания изменений в данных приложения, который автоматически реконструирует интерфейс, вызывает заново необходимые «composable» функции.

Чтобы добавить внутреннее состояние элементу, необходимо использовать функцию `mutableStateOf`, которая предоставляет элементу изменяемую память. Чтобы не создавать разные состояния для каждой реконструкции, надо запомнить состояние с помощью ключевого слова `remember`. Если есть несколько экземпляров элемента в разных местах на экране, то каждая копия получит свою собственную версию состояния. Внутреннее состояние элемента это как `private`-переменная в классе. «composable» функция автоматически подпишется на изменение этой переменной. Если её состояние изменится, функция, которая использует эту переменную, будет реконструирована.

Jetpack Compose предоставляет современный подход к созданию пользовательского интерфейса, позволяя эффективно разделять ответственность в коде. С популяризацией таких UI-фреймворков, как Compose, Flutter и SwiftUI, мобильная разработка становится всё больше похожей на Web. Это может привести, как к унификации используемых архитектур, так и к увеличению переиспользования кода между большинством клиентских платформ.

Литература

1. Jetpack Compose | Android Developers [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://developer.android.com/jetpack/compose>. – Date of access: 18.03.2021.

А. А. Жулего

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО WEB-РЕСУРСА ПО МЕТОДУ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Метод молекулярной динамики (МД) – это метод, в котором временная эволюция системы взаимодействующих атомов или частиц отслеживается интегрированием их уравнений движения. Для описа-

ния движения атомов или частиц применяется классическая механика.

Для овладения навыками по составлению алгоритмов, связанных с моделированием молекулярной динамики; понятия физических принципов, лежащих в основе современных вычислительных пакетов по компьютерному моделированию динамики многочастичных систем был разработан веб-ресурс с использованием JavaScript.

Веб-ресурс включает в себя учебный материал, раскрывающий ключевые понятия и идеи, описание и пример компьютерной программы, блок-схем основных процедур молекулярно-динамических расчетов, а также демонстрационный пример программы моделирования поведения частиц с визуализацией и численными расчетами физических величин.

Вид главной страницы:

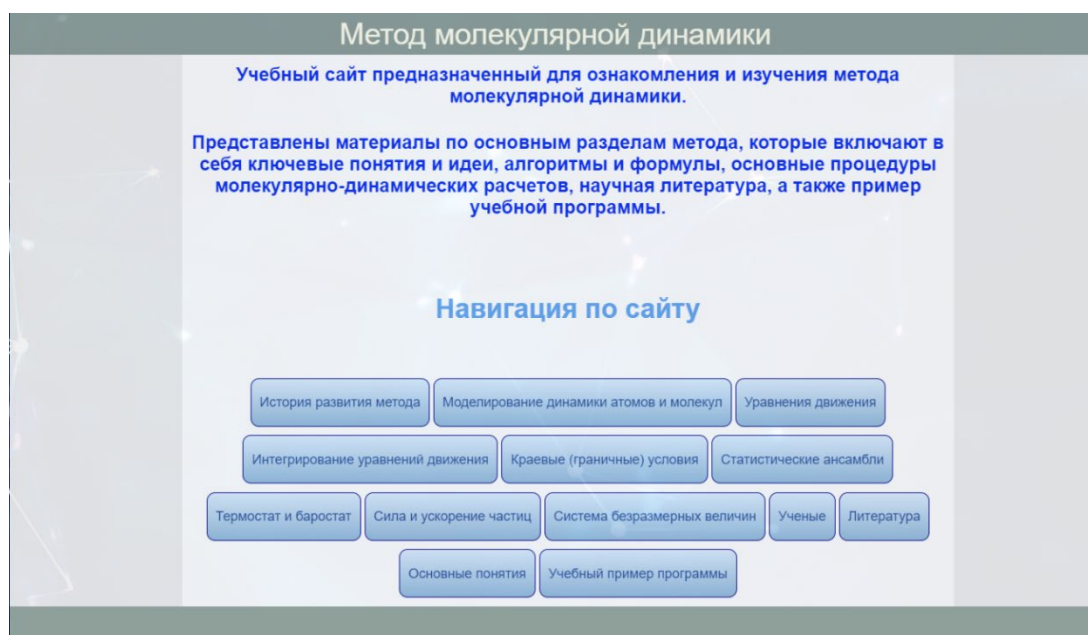


Рисунок 1 – Первая страница ресурса

Сайт имеет следующие разделы:

1. «История развития метода молекулярной динамики» – информация об возникновении метода, его этапах развития и людях, принимавших в это участие.

2. «Моделирование динамики атомов и молекул» – описание метода *ab-initio* и метода молекулярной динамики, сравнение этих методов между собой.

3. «Уравнения движения» – на примере простой трехмерной модельной системы определяются уравнения движения.

4. «Интегрирование уравнений движения» – интегрируются полученные уравнения движения для получения координат и импульсов каждой частицы в каждый момент времени

5. «Краевые (граничные) условия» – определяются граничные условия для того, чтобы ячейка моделирования представляла собой не изолированный фрагмент конечного размера, а часть системы.

6. «Статистические ансамбли» – учитывается влияние окружающей среды. Описываются NVE-, NVT-, NPT – ансамбли.

7. «Термостат и баростат» – реализация термостатов и баростатов для удержания температуры и давления системы на определенном заданном значении или в диапазоне. Рассматриваются различные виды термостатов и баростатов, применяемых при моделировании МД.

8. «Сила и ускорение частиц» – рассчитывается потенциальная энергия системы, сила, действующая на каждую частицу и ускорение частицы.

9. «Система безразмерных величин» – переход к безразмерным величинам, приводится таблица соответствия между единицами измерения величин в системе СИ и безразмерными величинами.

10. «Ученые» – биография и научная деятельность некоторых ученых.

11. «Литература» – список литературы, которая была использована при создании сайта, также предназначенная для самостоятельного изучения.

12. «Основные понятия» – краткие пояснения по основным понятиям.

13. «Учебный пример программы» – пример работы программы метода молекулярной динамики для двумерной системы.

На сайте предусмотрены переходы по гиперссылкам как на материал внутри сайта, так и на внешние ресурсы.

Переход между разделами сайта осуществляется по кнопкам в самом низу страницы либо через навигацию на главной странице.

Вид страницы с программой представлен на рисунке 2.

Разработанный веб-ресурс может быть использован студентами специализации «компьютерная физика» при изучении метода молекулярной динамики.

В дальнейшем на сайт планируется добавление дополнительной информации по методу, адаптация сайта для мобильных устройств, оптимизация учебной программы.

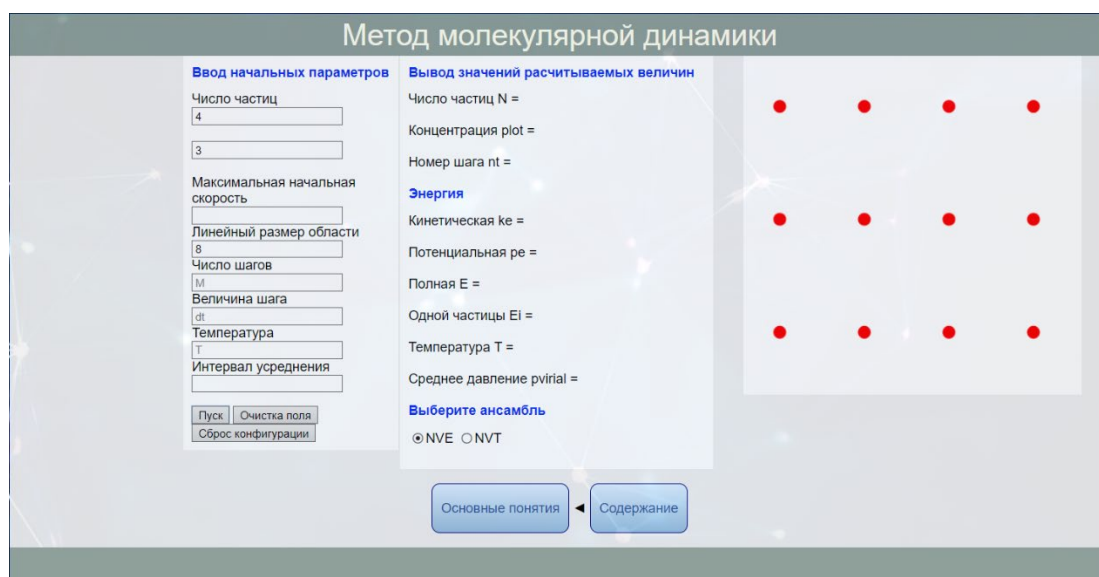


Рисунок 2 – Учебный пример программы

Литература

1. Галимзянов Б. Н., Мокшин А. В. Основы моделирования молекулярной динамики: Учебное пособие. – Казань: КФУ, 2016. – 107 с.
2. Лабберс, П. HTML 5 для профессионалов. Мощные инструменты для разработки современных веб-приложений. / П. Лабберс, Б. Олберс, Ф. Салим – М.: Вильямс, 2011. – 267с.
3. Флэнаган Д., JavaScript. Подробное руководство, 6-е издание. –Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2012. – 1080 с., ил.

М. Е. Збышинская
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **В. П. Василевич**, канд. техн. наук, профессор

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНИСТОРНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Введение. Использование солнечной энергии является одним из инновационных направлений энергетики. Планируется, что к 2040 году солнечные и ветряные генераторы будут составлять около 40 процентов всех электростанций мира [1].

Типовая автономная фотоэлектрическая система состоит из солнечной батареи, регулятора отбора мощности, накопителя энергии и

инвертора, рисунок 1. Каждое устройство – это отдельная система передачи и преобразования электроэнергии.

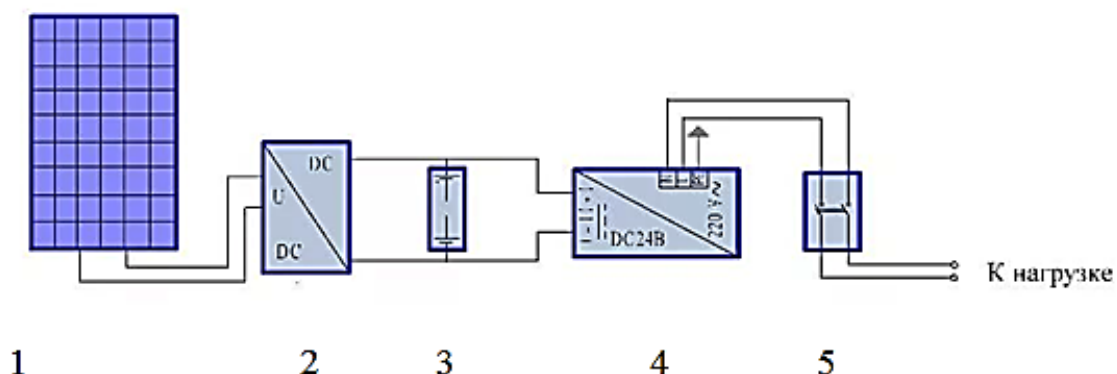


Рисунок 1 – Структурная схема автономной фотоэлектрической системы с аккумуляторным накопителем энергии
 1– солнечная батарея; 2 – регулятор отбора мощности; 3 – накопитель энергии (аккумулятор); 4 – инвертор; 5 – выключатель

Основная часть. В отличие от аккумулятора, ионистор наиболее эффективно заряжается не постоянным напряжением, а максимальным током, который только в состоянии отдать источник. Обкладки ионистора разделены между собой слоем электролита (рисунок 2).

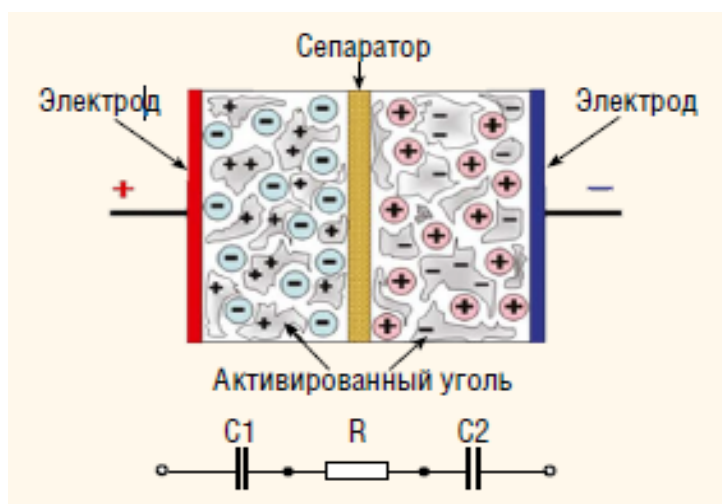


Рисунок 2- Внутреннее устройство и эквивалентная электрическая схема ионистор

На рисунке 3 приведена физическая модель идеального ионистора, применимая в тех случаях, когда напряжение холостого хода солнечной батареи не выходит за границы, допустимые для ионистора.

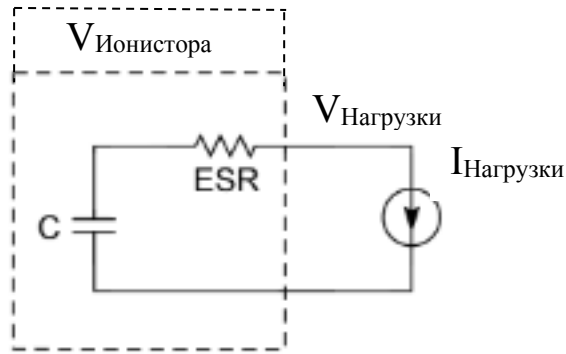


Рисунок 3 – Физическая модель ионистора [2]

Один из предлагаемых способов математического моделирования, основанный на физической модели, приведенной на рисунке 3, определяет емкость ионистора и расчет энергии, необходимой для обеспечения устройства достаточной мощностью P в периоды максимального потребления, и приравнять его к выражению:

$$P = \frac{1}{2} C \cdot (V_{\text{Начальное}}^2 - V_{\text{Конечное}}^2),$$

где C – емкость ионистора (в фарадах);

$V_{\text{Начальное}}$ – напряжение на ионисторе непосредственно перед началом периода пикового потребления;

$V_{\text{Конечное}}$ – напряжение на ионисторе в конце этого периода.

Однако последнее выражение не учитывает потерь, обусловленных наличием паразитного внутреннего сопротивления ионистора – ESR (equivalent series resistance), снижающего напряжение на нагрузке:

$$V_{\text{Начальное}} - ESR \cdot I_{\text{Нагрузки}},$$

где $I_{\text{Нагрузки}}$ – ток нагрузки.

Поскольку напряжение на нагрузке уменьшается, ток нагрузки для поддержания расчетного уровня мощности увеличивается. Руководствуясь рисунком 3, можно описать разряд ионистора следующими выражениями:

$$\begin{aligned} V_{\text{Нагрузки}} &= V_{\text{Ионистора}} - I_{\text{Нагрузки}} \cdot ESR \\ P_{\text{Нагрузки}} &= V_{\text{Нагрузки}} \cdot I_{\text{Нагрузки}} = \end{aligned}$$

$$= (V_{\text{Ионистора}} - I_{\text{Нагрузки}} \cdot \text{ESR}) \cdot I_{\text{Нагрузки}} - I_{\text{Нагрузки}}^2 \cdot \text{ESR},$$

где $V_{\text{Ионистора}}$ – напряжение на ионисторе.

Из приведенных выражений вытекает уравнение для тока нагрузки:

$$I_{\text{Нагрузки}}^2 \cdot \text{ESR} - V_{\text{Ионистора}} \cdot I_{\text{Нагрузки}} + P = 0$$

Затем разряд ионистора может быть смоделирован в Excel на основании формул:

$$I_{\text{Нагрузки}}(t) = \frac{V_{\text{Ионистора}}(t) - \sqrt{V_{\text{Ионистора}}(t)^2 - 4 \cdot \text{ESR} \cdot P}}{2 \cdot \text{ESR}}$$

$$I_{\text{Нагрузки}} = V_{\text{Ионистора}}(t) - I_{\text{Нагрузки}}(t) \cdot \text{ESR}$$

$$V_{\text{Ионистора}}(t + dt) = V_{\text{Ионистора}}(t) - \frac{dt \cdot I_{\text{Нагрузки}}}{C}$$

Данный расчет важен, если произведение тока нагрузки и ESR достаточно велико в сравнении с напряжением на ионисторе в конце цикла разряда. В этом случае простая оценка энергетического баланса может показать, что емкость ионистора слишком мала, причем с понижением рабочей температуры нехватка емкости будет проявляться сильнее, так как при низких температурах ESR увеличивается в 2–3 раза в сравнении с комнатной температурой.

Заключение. Ионистор является перспективным устройством для накопления электрической энергии. Для разработки аккумуляторно-емкостного накопителя описана модель ионистора, которая поможет правильно подобрать ёмкостную часть гибридного накопителя для фотоэлектрической системы, а также эффективно использовать его при присутствии пусковых токов, что позволяет, например, значительно увеличить срок использования дорогостоящего литий-ионного аккумулятора.

Литература

1. Solar Power Will Kill Coal Faster Than You Think [Электронный ресурс] / Jess Shankleman, Hayley Warren – URL:

<https://about.bnef.com/blog/solar-power-will-kill-coal-sooner-than-you-think/>. – Дата доступа: 28.02.2021

2. Coupling a supercapacitor with a small energyharvesting source – [Электронный ресурс] / Pierre Mars – URL: https://www.researchgate.net/publication/279896126_Coupling_a_supercapacitor_with_a_small_energyharvesting_source. – Дата доступа: 25.02.2021.

В. Ю. Златина

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **В. Ю. Гавриш**, канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель

ФУНКЦИЯ ГРИНА УРАВНЕНИЯ ДИРАКА

Введение. Вычисление процессов стандартной модели тесно связано с методами математической физики и теорией специальных функций. Это обусловлено тем, что уравнения скалярных, векторных и спинорных частиц являются дифференциальными уравнениями различных порядков [1-4].

В работе проведем вычисление функции Грина для частицы полуцелого $\hbar/2$ спина. Указанные выражения используются не только для описания движения частиц во внешних полях, но и при вычислении квантово-полевых амплитуд в теории рассеяния.

Метод функции Грина. В разделе кратко изложим метод функции Грина, которой представляет собой один из универсальных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Пусть дифференциальное уравнение имеет вид

$$\hat{Q} f(x) = f_0(x), \quad (1)$$

где \hat{Q} – линейный дифференциальный оператор, $f(x)$ – искомая функция а $f_0(x)$ – некоторая заданная функция. Каждой функции $g(x)$ соответствует своё решение. Такое соответствие можно представить в виде операторного соотношения

$$f(x) = \hat{L} f_0(x), \quad (2)$$

в котором \hat{L} есть некоторый оператор, определяемый видом оператора \hat{Q} . Для решения поставленной задачи введем функцию $G(x, x')$, являющуюся решением уравнения

$$\hat{Q} G(x, x') = \delta(x - x'), \quad (3)$$

где $\delta(x - x')$ – дельта-функция Дирака. Функцию $G(x, x')$ называют функцией Грина [5], соответствующей задаче. С помощью $G(x, x')$ решение уравнения может быть представлено в виде

$$f(x) = \int G(x, x') f_0(x') dx'. \quad (4)$$

Действительно, подействуем на соотношение (4) оператором \hat{Q} . Учитывая (3) получаем, что

$$\hat{Q} f(x) = \int \hat{Q} G(x, x') f_0(x') dx' = \int \delta(x - x') f_0(x') dx' = f_0(x). \quad (5)$$

Функция Грина для уравнения Дирака. Решим методом функции Грина уравнение Дирака для электрона в электромагнитном поле

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi(x) = -e \gamma^\mu A_\mu(x) \psi(x), \quad (6)$$

где $\gamma^\mu = \{\gamma^0, \gamma^1, \gamma^2, \gamma^3\}$ – матрицы Дирака, а e – заряд частицы полужелтого спина. Следуя методу, изложенному выше, решим вспомогательную задачу вида

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)G_F(x, x') = \delta^{(4)}(x - x'). \quad (7)$$

Найдя функцию Грина $G_F(x, x')$ решение уравнения (6) можно записать в виде

$$\psi(x) = -e \int G_F(x, x') \gamma^\mu A_\mu(x') \psi(x') dx'. \quad (8)$$

Чтобы решить уравнение (6) запишем функцию Грина $G_F(x, x')$ в импульсном пространстве

$$G_F(x, x') = \frac{1}{(2\pi)^4} \int S_F(p) e^{-ip(x-x')} d^4 p, \quad (9)$$

где $S_F(p)$ – Фурье-образ функции. Представляя дельта-функцию Дирака в импульсном пространстве [4]

$$\delta^{(4)}(x-x') = \frac{1}{(2\pi)^4} \int e^{-ip(x-x')} d^4 p, \quad (10)$$

и вводя обозначение $\gamma^\mu p_\mu = \hat{p}$, получаем выражение для $S_F(p)$:

$$(\hat{p} - m)S_F(p) = 1. \quad (11)$$

Используя перестановочные соотношения для матриц Дирака [2] из (11) получаем, что

$$S_F(p) = \frac{1}{(\hat{p} - m)} = \frac{\hat{p} + m}{p^2 - m^2}. \quad (12)$$

С использованием определения скалярного произведения 4-векторов [4] нетрудно показать, что

$$\hat{p} \hat{p} = p_\mu p_\nu \gamma^\mu \gamma^\nu = p_\mu p_\nu (2g^{\mu\nu} - \gamma^\nu \gamma^\mu) \quad (13)$$

или $\hat{p} \hat{p} = p^2$. Чтобы завершить вычисление $S_F(p)$ определим, как обращаться с сингулярностями при

$$p^2 - m^2 = p_0^2 - (\vec{p}^2 + m^2) = 0. \quad (14)$$

Правило интегрирования вблизи полюсов при $p_0 = \pm E$ получается при наложении подходящих граничных условий. Воспользуемся методом «сдвига» полюсов с оси, оставляя при этом контур интегрирования без изменений. Чтобы сделать это, запишем $S_F(p)$ в виде

$$S_F(p) = \frac{\hat{p} + m}{p^2 - m^2 \pm i\varepsilon}. \quad (15)$$

Введение $i\varepsilon$ с бесконечно малым положительным ε приводит к сдвигу полюсов при $p_0 = \pm E$ соответственно немного вниз и вверх от оси. Процедура связана с использованием теоремы Коши о вычетах с последующим выбором контура интегрирования, однако подробные вычисления достаточно громоздки (см. [2, 3]).

Использование выражений (9) и (15) приводит к явному виду искомой функции Грина [3]:

$$G_F(x, x') = \frac{1}{(2\pi)^4} \int \frac{\hat{p} + m}{p^2 - m^2 + i\varepsilon} e^{-ip(x-x')} d^4 p. \quad (16)$$

Полученное выражение (16) и явный вид $A_\mu(x)$ могут быть использованы для решения уравнения (6) движения частиц полуцелого спина во внешнем поле.

Заключение. В работе получен явный вид функции Грина уравнения Дирака. В ходе работы было использованы Фурье-преобразования и методы теории функции комплексного переменного. Полученные выражения могут быть использованы для решения задач теории рассеяния, а также расчета квантово-полевых амплитуд переходов спинорных частиц.

Литература

1. Пескин, М. Е., Шрёдер, Д. В. Введение в квантовую теорию поля / М. Е. Пескин, Д. В. Шрёдер. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2001. – 784 с.
2. Биленький, С. М. Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабого взаимодействия / С. М. Биленький. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 327 с.
3. Хелзен, Ф. Лептоны и кварки: введение в физику частиц / Ф. Хелзен, А. Мартин. – Москва: Мир, 1987. – 456 с.
4. Borodulin, V. I. CORE: COmpendium of RELations: Version 3.1/ V. I. Borodulin, R. N. Rogalyov, S. R. Slabospitsky // CORE. [Electronic resource]. Mode of access: <http://arxiv.org/pdf/hep-ph/9507456>. – Date of access: 10.08.2020.
5. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики / В. С. Владимиров. – Москва: Наука, 1967. – 436 с.

В. Ю. Златина

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **В. Ю. Гавриш**, канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель

РАССЕЯНИЕ НА КУЛОНОВСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ

Введение. Известно, что задачи рассеяния в квантовой механике сводятся к решению нетривиальных дифференциальных или интегральных уравнений. Решение таких математических задач достаточно трудно, поэтому используются различные приближения и аппроксимации для получения выражений наблюдаемых величин.

В работе изложена процедура получения дифференциального сечения в борновском приближении для случая сферически-симметричного потенциала [1]. Как результат работы будет получена формула Резерфорда.

Борновское приближение. Известно, что задача рассеяния с оператором взаимодействия может быть сведена к решению интегрального уравнения

$$\psi(\vec{r}) = e^{i\vec{k}_0\vec{r}} - \int \frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{i|\vec{k}||\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} V(\vec{r}')\psi(\vec{r}')d\vec{r}', \quad (1)$$

где $\hat{V} = V(\vec{r})$ – оператор взаимодействия и $|\vec{k}| = \sqrt{2mE_0/\hbar^2}$. Уравнение (1) даже в простейших случаях потенциала решается достаточно трудно, поэтому часто применяется метод итерационных приближений или Борновское приближение. В нулевом приближении волновая функция (1) совпадает решением уравнения Шредингера без взаимодействия

$$\hat{H}_0 \psi_{\vec{k}}^0(\vec{r}) = E \psi_{\vec{k}}^0(\vec{r}), \quad \hat{H}_0 = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta. \quad (2)$$

Определим выражение для волновой функции в первом приближении. Для этого используем предположение, что $\vec{r} \gg \vec{r}'$: в таком случае разложение в ряд Тейлора приводит к

$$|\vec{r}-\vec{r}'| = \sqrt{(\vec{r}^2 - 2\vec{r}\cdot\vec{r}' + \vec{r}'^2)} \approx |\vec{r}| - \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \cdot \vec{r}' \quad (3)$$

или

$$\frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} = \frac{1}{|\vec{r}|} \frac{1}{|1 - \frac{\vec{r} \cdot \vec{r}'}{r^2}|} \approx \frac{1}{|\vec{r}|} \left(1 + \frac{\vec{r} \cdot \vec{r}'}{r^2} \right). \quad (4)$$

Используя выражение (1) и приближение $\frac{\vec{r} \cdot \vec{r}'}{r^2} \approx 0$ для рассеянной волновой функции получаем

$$\psi(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}} - \int \frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{i|\vec{k}||\vec{r}|} e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}'}}{|\vec{r}|} V(\vec{r}') \psi(\vec{r}') d\vec{r}'. \quad (5)$$

Сравнивая с выражением асимптотически расходящейся волны [2]

$$\psi_{\vec{k}}(\vec{r}) = e^{i\vec{k}_0\vec{r}} + f(\vec{k}', \vec{k}) \frac{e^{i\vec{k}\vec{r}}}{|\vec{r}|} \quad (6)$$

получаем, что амплитуда рассеяния определяется как

$$f(\vec{k}', \vec{k}) = - \int \frac{m}{2\pi\hbar^2} e^{i\vec{k}_0\cdot\vec{r}'} e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}'} V(\vec{r}') d\vec{r}'. \quad (7)$$

Полученные выражения используем в физических приложениях.

Упругое рассеяние на кулоновском потенциале. Определим выражение для дифференциального сечения на сферически-симметричном потенциале [3]

$$V(|\vec{r}|) = Z_1 Z_2 \frac{e^2}{|\vec{r}|}, \quad (8)$$

где Z_1, Z_2 – заряды мишени и налетающей частицы [3]. В случае упругого рассеяния, когда импульсы начальной и конечной частиц равны $|\vec{k}_0| = |\vec{k}|$, получаем

$$|\vec{k}_0 - \vec{k}| = \sqrt{k_0^2 + k^2 - 2|\vec{k}_0||\vec{k}|\cos\theta} = 2|\vec{k}| \sin\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (9)$$

Проводя интегрирование по телесному углу выражения (7)

$$\begin{aligned} \int e^{i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r'} V(\vec{r}') d\vec{r}' &= \int_0^\infty r'^2 V(r') dr' \int_0^\pi e^{i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r' \cos \theta'} \sin \theta' d\theta' \int_0^{2\pi} d\varphi' = \\ &= \frac{4\pi}{|\vec{k}_0 - \vec{k}|} \int_0^\infty r' V(r') \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}| r') dr' \end{aligned} \quad (10)$$

с последующей подстановкой выражения (10) в (8) приводит к

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left| f(\vec{k}', \vec{k}) \right|^2 = \frac{4Z_1^2 Z_2^2 m^2}{\hbar^4 |\vec{k}_0 - \vec{k}|^2} \left| \int_0^\infty \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}| r') dr' \right|^2. \quad (11)$$

Для вычисления интеграла выражения (11) воспользуемся следующим приемом:

$$\int_0^\infty \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}| r') dr' \Rightarrow \lim_{\lambda \rightarrow 0} \int_0^\infty e^{-\lambda r'} \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}| r') dr'. \quad (12)$$

Используя комплексное представление тригонометрических функций

$$\cos \alpha = \frac{e^{i\alpha} + e^{-i\alpha}}{2}, \quad \sin \alpha = \frac{e^{i\alpha} - e^{-i\alpha}}{2i} \quad (13)$$

получаем следующий искомый интеграл:

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} \int_0^\infty e^{-\lambda r'} \frac{e^{i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r'} - e^{-i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r'}}{2i} dr'. \quad (14)$$

После некоторых преобразований из выражения (14) получаем

$$\begin{aligned} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \int_0^\infty e^{-\lambda r'} \frac{e^{i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r'} - e^{-i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r'}}{2i} dr' &= \frac{1}{2i} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \left(\int_0^\infty e^{-(\lambda - i|\vec{k}_0 - \vec{k}|)r'} dr' - \int_0^\infty e^{-(\lambda + i|\vec{k}_0 - \vec{k}|)r'} dr' \right) = \\ &= \frac{1}{2i} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\lambda - i|\vec{k}_0 - \vec{k}|} - \frac{1}{\lambda + i|\vec{k}_0 - \vec{k}|} \right) = \frac{1}{|\vec{k}_0 - \vec{k}|}. \end{aligned} \quad (15)$$

Подстановка выражения (15) в (11) приводит к окончательному результату

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4Z_1^2 Z_2^2}{\hbar^4 |\vec{k}_0 - \vec{k}|^4} \quad (16)$$

или с использованием (9)

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4Z_1^2 Z_2^2}{16E^2} \sin^{-4} \left(\frac{\theta}{2} \right), \quad (17)$$

где было использовано определение $E = \hbar^2 k_0^2 / 2m$. Полученное выражение называют формулой Резерфорда [3].

Заключение. В ходе работы было получено выражение для рассеянной волны в борновском приближении. Полученное выражение использовано для вычисления дифференциального сечения для сферически-симметричного потенциала. Как результат работы получена известная формула Резерфорда.

Литература

1. Давыдов, А. С. Квантовая механика: учебное пособие / С. А. Давыдов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 704 с.
2. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Курс теоретической физики в 10 томах. Т.3. Квантовая механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2008. – 800 с.
3. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики: учебное пособие / Д. И. Блохинцев. – М.: Наука, 1976. – 664 с.

А. В. Ивашкевич

(Институт физики НАН Беларуси, Минск)
 Науч. рук. **В. М. Редьков**, д-р физ.-мат. наук

СТРУКТУРА ПЛОСКИХ ВОЛН ДЛЯ БЕЗМАССОВОЙ ЧАСТИЦЫ СО СПИНОМ 3/2, КАЛИБРОВОЧНАЯ СИММЕТРИЯ

После работ Паули–Фирца [1] и Рариты–Швингера [2] в физической литературе всегда присутствовал интерес к теории частиц с высшими спинами, в том числе и к частице со спином 3/2 [3]. Для

описания такой частицы требуется 16 компонентная волновая функция с трансформационными свойствами вектор-биспинора относительно группы Лоренца. Отдельный интерес представляет случай безмассовой частицы со спином 3/2. Как показали Паули и Фирц [1], здесь существует специфическая калибровочная симметрия, выражающаяся в том, что 4-градиент от произвольной биспинорной функции дает решения безмассового волнового уравнения. Т. е. в безмассовом случае среди множества решений волнового уравнения всегда присутствуют 4 калибровочные, которые являются физически ненаблюдаемыми, поскольку не дают вклада в тензор энергии-импульса частицы. В данной работе мы проследим за степенями свободы безмассовой частицы со спином 3/2 на основе построения решений типа плоских волн в явном виде, и найдем те решения, которые не содержат калибровочных компонент.

Уравнение для безмассового поля со спином 3/2 может быть приведено к виду

$$\partial_a (\bar{\Gamma})_m^k \bar{\Psi}_k = 0, \quad -\partial_a [i\gamma^5 \varepsilon_m^{akn} \gamma_n] \Psi_k = 0. \quad (1)$$

Вектор-биспинор в виде градиента от произвольного биспинора $\Phi(x)$

$$\bar{\Psi}_k^{grad}(x) = \partial_k \Phi(x) \quad (2)$$

всегда будет решением уравнения (1). Это свойство иначе называют калибровочной симметрией. Уравнение (1) можно записать в безындексной форме, если вести 6 матриц:

$$\varepsilon_m^{nak} = (\mu^{[na]})_m^k, \quad \mu^{[na]} = -\mu^{[an]}; \quad -i\gamma^5 \gamma_n \partial_a \otimes \mu^{[na]} \bar{\Psi} = 0, \quad (3)$$

Для простоты будем искать решения уравнения (3) в виде плоских волн, ориентированных вдоль оси x_3 :

$$[\bar{\Psi}_{an}] = e^{-ict} e^{ikz} \bar{\Phi}, \quad \bar{\Phi}_{an} = \begin{pmatrix} \bar{f}_0 & \bar{f}_1 & \bar{f}_2 & \bar{f}_3 \\ \bar{g}_0 & \bar{g}_1 & \bar{g}_2 & \bar{g}_3 \\ \bar{h}_0 & \bar{h}_1 & \bar{h}_2 & \bar{h}_3 \\ \bar{d}_0 & \bar{d}_1 & \bar{d}_2 & \bar{d}_3 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

После разделения переменных находим 16 уравнений:

$$\begin{aligned}
I, \quad & \begin{vmatrix} -ik & -i\varepsilon & 0 & -(k+\varepsilon) \\ k & \varepsilon & -(\varepsilon+k) & 0 \\ 0 & 0 & ik & -k \\ 0 & 0 & -i\varepsilon & \varepsilon \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{d}_0 \\ \bar{d}_3 \\ \bar{h}_1 \\ \bar{h}_2 \end{vmatrix} = 0; & \quad II, \quad & \begin{vmatrix} ik & i\varepsilon & 0 & (\varepsilon-k) \\ -k & -\varepsilon & -(\varepsilon-k) & 0 \\ 0 & 0 & -ik & -k \\ 0 & 0 & i\varepsilon & \varepsilon \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{h}_0 \\ \bar{h}_3 \\ \bar{d}_1 \\ \bar{d}_2 \end{vmatrix} = 0; \\
III, \quad & \begin{vmatrix} -ik & -i\varepsilon & 0 & -(\varepsilon-k) \\ -k & -\varepsilon & (\varepsilon-k) & 0 \\ 0 & 0 & ik & -k \\ 0 & 0 & -i\varepsilon & \varepsilon \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{g}_0 \\ \bar{g}_3 \\ \bar{f}_1 \\ \bar{f}_2 \end{vmatrix} = 0; & \quad IV, \quad & \begin{vmatrix} ik & i\varepsilon & 0 & (k+\varepsilon) \\ -k & -\varepsilon & -(k+\varepsilon) & 0 \\ 0 & 0 & -ik & -k \\ 0 & 0 & i\varepsilon & \varepsilon \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{f}_0 \\ \bar{f}_3 \\ \bar{g}_1 \\ \bar{g}_2 \end{vmatrix} = 0.
\end{aligned}$$

Будем строить решения, предполагая $\varepsilon > 0$. Это означает, что исследуем случай частиц. Положительность энергии возможна в двух случаях: $k > 0, \varepsilon = k$ и $k < 0, \varepsilon = -k$; следим за вариантом $k > 0$. Тогда приведенные выше уравнения упрощаются (сразу приводим их решения):

$$I, \quad \begin{vmatrix} -i & -i & 0 & -2 \\ 1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & i & -1 \\ 0 & 0 & -i & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{d}_0 \\ \bar{d}_3 \\ \bar{h}_1 \\ \bar{h}_2 \end{vmatrix} = 0, \quad \bar{d}_0 - \text{любое}, \quad \bar{d}_3 = -\bar{d}_0, \quad \bar{h}_1 = 0, \quad \bar{h}_2 = 0; \quad (5a)$$

$$II, \quad \begin{vmatrix} i & i & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i & -1 \\ 0 & 0 & i & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{h}_0 \\ \bar{h}_3 \\ \bar{d}_1 \\ \bar{d}_2 \end{vmatrix} = 0, \quad \bar{h}_0, \bar{d}_2 - \text{любые}, \quad \bar{h}_3 = -\bar{h}_0, \quad \bar{d}_1 = i\bar{d}_2; \quad (5b)$$

$$III, \quad \begin{vmatrix} -i & -i & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & i & -1 \\ 0 & 0 & -i & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{g}_0 \\ \bar{g}_3 \\ \bar{f}_1 \\ \bar{f}_2 \end{vmatrix} = 0, \quad \bar{g}_0, \bar{f}_2 - \text{любые}, \quad \bar{g}_3 = -\bar{g}_0, \quad \bar{f}_1 = -i\bar{f}_2; \quad (5c)$$

$$IV, \quad \begin{vmatrix} i & i & 0 & 2 \\ -1 & -1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & -i & -1 \\ 0 & 0 & i & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{f}_0 \\ \bar{f}_3 \\ \bar{g}_1 \\ \bar{g}_2 \end{vmatrix} = 0, \quad \bar{f}_0 - \text{любое}, \quad \bar{f}_3 = -\bar{f}_0, \quad \bar{g}_1 = 0, \quad \bar{g}_2 = 0. \quad (5d)$$

Общее решение можно разложить в суперпозицию 6-ти независимых:

$$\bar{\Phi} = \begin{vmatrix} \bar{f}_0 & 0 & 0 & -\bar{f}_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{g}_0 & 0 & 0 & -\bar{g}_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{h}_0 & 0 & 0 & -\bar{h}_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \\ + \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{d}_0 & 0 & 0 & -\bar{d}_0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & -i\bar{f}_2 & \bar{f}_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & i\bar{d}_2 & \bar{d}_2 & 0 \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Калибровочные решения имеют вид (множитель $e^{-i\epsilon t} e^{ikz}$ опускаем)

$$\bar{\Phi}_0^K = -i\epsilon \begin{vmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \end{vmatrix}, \quad \bar{\Phi}_1^K = 0, \quad \bar{\Phi}_2^K = 0, \quad \bar{\Phi}_3^K = ik \begin{vmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \end{vmatrix}, \quad (7)$$

где L_1, \dots, L_4 – произвольные числовые параметры. Для матрицы общего калибровочного решения имеем представление (учитываем $\epsilon = k > 0$)

$$\Phi^K = \begin{vmatrix} -iL_1 & 0 & 0 & iL_1 \\ -iL_2 & 0 & 0 & iL_2 \\ -iL_3 & 0 & 0 & iL_3 \\ -iL_4 & 0 & 0 & iL_4 \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Замечаем, что первые четыре решения в суперпозиции (6) являются чисто калибровочными. Таким образом, остаются только два независимых решения:

$$\bar{\Phi} = \begin{vmatrix} 0 & -i\bar{f}_2 & \bar{f}_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & i\bar{d}_2 & \bar{d}_2 & 0 \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Литература

1. Pauli, W. Über relativistische Feldgleichungen von Teilchen mit beliebigem Spin im elektromagnetischen Feld / W. Pauli, M. Fierz // Helv.

Phys. Acta. – 1939. – Bd. 12. – S. 297–300; Fierz, M. On relativistic wave equations for particles of arbitrary spin in an electromagnetic field / M. Fierz, W. Pauli // Proc. Roy. Soc. London. A. – 1939. – Vol. 173. – P. 211–232.

2. Плетюхов, В. А. Релятивистские волновые уравнения и внутренние степени свободы / В. А. Плетюхов, В. М. Редьков, В. И. Стражев. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 328 с.

3. Elementary Particles with Internal Structure in External Fields. Vol I. General Theory / V. V. Kisel, E. M. Ovsiyuk, O. V. Veko, Y. A. Voynova, V. Balan, V. M. Red'kov. – New York: Nova Science Publishers Inc., 2018. – 404 p.

А. В. Ивашкевич

(Институт физики НАН Беларуси, Минск)
Науч. рук. **В. М. Редьков**, д-р физ.-мат. наук

СТРУКТУРА ПЛОСКИХ ВОЛН ДЛЯ МАССИВНОЙ ЧАСТИЦЫ СО СПИНОМ 3/2

Для описания частицы со спином 3/2 [1–3] требуется 16 компонентная волновая функция с трансформационными свойствами вектор-биспинора относительно группы Лоренца. В работе исследуется вопрос о числе независимых степеней свободы для этого поля на основе построения в явном виде решений типа плоских волн.

Исходим из уравнения для массивной частицы, записанного в матричной форме в базисе Рариты–Швингера [2]:

$$\left[\partial_a (\Gamma^a)_k{}^l + \mu \beta_k{}^l \right] \Psi_l = 0, \quad (1a)$$

$$(\Gamma^a)_k{}^l = \gamma^a \delta_k{}^l - \frac{1}{3} \gamma^l \delta_k^a - \frac{1}{3} \gamma_k g^{al} + \frac{1}{3} \gamma_k \gamma^a \gamma^l, \quad \beta_k{}^l = \delta_k{}^l - \frac{1}{3} \gamma_k \gamma^l; \quad (1b)$$

μ – некоторый массовый параметр. Учитывая формулу для произведения трех матриц Дирака, уравнение можно записать так:

$$\left[\partial_a \left(\frac{2}{3} \gamma^a \delta_k{}^l - \frac{i}{3} \gamma^5 \varepsilon_k{}^{aln} \gamma_n \right) + \mu \left(\delta_k{}^l - \frac{1}{3} \gamma_k \gamma^l \right) \right] \Psi_l = 0. \quad (1c)$$

В матричной форме оно принимает вид

$$\varepsilon_m^{nak} = (\mu^{[na]})_m^k, \quad \mu^{[na]} = -\mu^{[an]};$$

$$\left[(2\partial_a \gamma^a \otimes I - i\gamma^5 \partial_a \gamma_n \otimes \mu^{[an]}) \Psi \right]_k + 3\mu \left(\Psi_k - \frac{1}{3} \gamma_k \gamma^l \Psi_l \right) = 0. \quad (2)$$

После простых вычислений получаем

$$3\mu \left(\delta_k^l - \frac{1}{3} \gamma_k \gamma^l \right) \Phi_l = \mu \times$$

$$\times \begin{vmatrix} 2f_0 - g_1 + ig_2 - f_3 & -g_0 + 2f_1 - if_2 + g_3 & ig_0 + if_1 + 2f_2 - ig_3 & -f_0 - g_1 + ig_2 + 2f_3 \\ 2g_0 - f_1 - if_2 + g_3 & -f_0 + 2g_1 + ig_2 - f_3 & -if_0 - ig_1 + 2g_2 - if_3 & g_0 + f_1 + if_2 + 2g_3 \\ 2h_0 + d_1 - id_2 + h_3 & d_0 + 2h_1 - ih_2 + d_3 & -id_0 + ih_1 + 2h_2 - id_3 & h_0 - d_1 + id_2 + 2h_3 \\ 2d_0 + h_1 + ih_2 - d_3 & h_0 + 2d_1 + id_2 - h_3 & ih_0 - id_1 + 2d_2 - ih_3 & -d_0 + h_1 + ih_2 + 2d_3 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Решения уравнения (2) ищем в виде плоских волн вдоль оси x_3 :

$$[\bar{\Psi}_{an}] = e^{-i\varepsilon t} e^{ikz} \bar{\Phi}, \quad \bar{\Phi}_{an} = \begin{vmatrix} \bar{f}_0 & \bar{f}_1 & \bar{f}_2 & \bar{f}_3 \\ \bar{g}_0 & \bar{g}_1 & \bar{g}_2 & \bar{g}_3 \\ \bar{h}_0 & \bar{h}_1 & \bar{h}_2 & \bar{h}_3 \\ \bar{d}_0 & \bar{d}_1 & \bar{d}_2 & \bar{d}_3 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Предполагаем $\varepsilon > 0$. Это означает, что исследуем случай частиц. Положительность энергии возможна в двух случаях: $k > 0, \varepsilon = k$ и $k < 0, \varepsilon = -k$; следим за вариантом $k > 0$. После разделения переменных находим 16 уравнений.

Приводим матрицу системы уравнений для $(d_1, d_2, h_0, h_3, g_1, g_2, f_0, f_3)$:

$$\begin{vmatrix} -2i(\varepsilon - k) & (\varepsilon - k) & ik & i\varepsilon & 2\mu & i\mu & -\mu & -\mu \\ -(\varepsilon - k) & -2i(\varepsilon - k) & -k & -\varepsilon & -i\mu & 2\mu & -i\mu & -i\mu \\ -ik & -k & -2i(\varepsilon + k) & 0 & -\mu & i\mu & 2\mu & -\mu \\ i\varepsilon & \varepsilon & 0 & -2i(\varepsilon + k) & -\mu & i\mu & -\mu & 2\mu \\ 2\mu & i\mu & \mu & -\mu & -2i(\varepsilon + k) & (\varepsilon + k) & ik & i\varepsilon \\ -i\mu & 2\mu & i\mu & -i\mu & -(\varepsilon + k) & -2i(\varepsilon + k) & -k & -\varepsilon \\ \mu & -i\mu & 2\mu & \mu & -ik & -k & -2i(\varepsilon - k) & 0 \\ -\mu & i\mu & \mu & 2\mu & i\varepsilon & \varepsilon & 0 & -2i(\varepsilon - k) \end{vmatrix} \quad (5)$$

и матрицу системы уравнений для $(h_1, h_2, d_0, d_3, f_1, f_2, g_0, g_3)$:

$$\begin{vmatrix} -2i(\varepsilon+k) & -(\varepsilon+k) & -ik & -i\varepsilon & 2\mu & -i\mu & -\mu & \mu \\ (\varepsilon+k) & -2i(\varepsilon+k) & -k & -\varepsilon & i\mu & 2\mu & i\mu & -i\mu \\ ik & -k & -2i(\varepsilon-k) & 0 & -\mu & -i\mu & 2\mu & \mu \\ -i\varepsilon & \varepsilon & 0 & -2i(\varepsilon-k) & \mu & i\mu & \mu & 2\mu \\ 2\mu & -i\mu & \mu & \mu & -2i(\varepsilon-k) & -(\varepsilon-k) & -ik & -i\varepsilon \\ i\mu & 2\mu & -i\mu & -i\mu & (\varepsilon-k) & -2i(\varepsilon-k) & -k & -\varepsilon \\ \mu & i\mu & 2\mu & -\mu & ik & -k & -2i(\varepsilon+k) & 0 \\ \mu & i\mu & -\mu & 2\mu & -i\varepsilon & \varepsilon & 0 & -2i(\varepsilon+k) \end{vmatrix}; \quad (6)$$

Определители этих матриц оказываются одинаковыми, их следует приравнять к нулю:

$$729m^4(\varepsilon^2 - m^2 - k^2)^2 = 0 \Rightarrow \varepsilon^2 = m^2 + k^2. \quad (7)$$

В уравнении (5) можно увидеть блочную структуру:

$$A X = -B Y, \quad A' Y = -B' X, \quad \begin{vmatrix} A & B \\ B' & A' \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X \\ Y \end{vmatrix} = 0, \quad (8a)$$

где A, B, A', B' – четырехмерные матрицы. Из (8a) следуют уравнения

$$\{(B')^{-1} A' \cdot B^{-1} A - I\} X = 0, \quad \{(B)^{-1} A \cdot (B')^{-1} A' - I\} Y = 0. \quad (8b)$$

Решаем уравнение для 4-мерной переменной X ; $Y = -B^{-1} A X$:

$$\begin{vmatrix} \frac{2(k-\varepsilon)(k+\varepsilon)}{3\mu^2} - 1 & \frac{i(k-\varepsilon)(k+\varepsilon)}{3\mu^2} & \frac{k(k+\varepsilon)}{3\mu^2} & \frac{\varepsilon(k+\varepsilon)}{3\mu^2} \\ -\frac{i(k-\varepsilon)(k+\varepsilon)}{3\mu^2} & \frac{2(k-\varepsilon)(k+\varepsilon)}{3\mu^2} - 1 & \frac{ik(k+\varepsilon)}{3\mu^2} & \frac{i\varepsilon(k+\varepsilon)}{3\mu^2} \\ \frac{k(k-\varepsilon)}{3\mu^2} & -\frac{ik(k-\varepsilon)}{3\mu^2} & \frac{2k^2}{3\mu^2} - 1 & \frac{2k\varepsilon}{3\mu^2} \\ \frac{\varepsilon(\varepsilon-k)}{3\mu^2} & \frac{i(k-\varepsilon)\varepsilon}{3\mu^2} & -\frac{2k\varepsilon}{3\mu^2} & -\frac{2\varepsilon^2}{3\mu^2} - 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ h_0 \\ h_3 \end{vmatrix} = 0. \quad (9)$$

Рассматриваем две ситуации: $\mu = \pm im, \varepsilon = +\sqrt{m^2 + k^2} > 0$; в обоих случаях получаем одну и ту же систему с двумя независимыми уравнениями, решение которых имеет вид

$$d_2 = -id_1 - i\left(\frac{k}{\varepsilon} + 1\right)h_3, \quad h_0 = -\frac{k}{\varepsilon}h_3, \quad d_1, h_3 - \text{любые.}$$

Таким образом, приходим к общему решению для 8-мерного столбца:

$$X = \begin{vmatrix} d_1 \\ -id_1 - i\left(\frac{k}{\varepsilon} + 1\right)h_3 \\ -\frac{k}{\varepsilon}h_3 \\ h_3 \end{vmatrix}, \quad Y = \begin{vmatrix} g_1 \\ g_2 \\ f_0 \\ f_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{(\varepsilon - k)}{m}d_1 \\ i\left(-m^2h_3 - (k^2 - \varepsilon k + m^2)d_1\right) \\ m\varepsilon \\ -\frac{k\left(\frac{k}{\varepsilon} + 1\right)}{m}h_3 \\ \frac{(k + \varepsilon)}{m}h_3 \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Аналогично исследуется система (6), приводим только ее решение:

$$\begin{vmatrix} h_1 \\ h_2 \\ d_0 \\ d_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} h_1 \\ ih_1 - \frac{im^2}{k(\varepsilon + k) + m^2}d_3 \\ -\frac{k}{\varepsilon}d_3 \\ d_3 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} f_1 \\ f_2 \\ g_0 \\ g_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{(k + \sqrt{k^2 + m^2})}{m}h_1 \\ i\left(2k(\varepsilon + k) + m^2\right)h_1 - \frac{im(k(\varepsilon + k) + m^2)}{\varepsilon^2(\varepsilon + k)}d_3 \\ -\frac{km}{m^2 + k(k + \varepsilon)}d_3 \\ \frac{(\varepsilon - k)}{m}d_3 \end{vmatrix} \quad (11)$$

Следовательно, в явном виде построены 4 линейно независимых решения системы уравнений, описывающей массивную частицу со спином 3/2.

Литература

1. Pauli, W. Über relativistische Feldgleichungen von Teilchen mit beliebigem Spin im elektromagnetischen Feld / W. Pauli, M. Fierz // *Helv. Phys. Acta.* – 1939. – Bd. 12. – S. 297–300; Fierz, M. On relativistic wave equations for particles of arbitrary spin in an electromagnetic field / M. Fierz, W. Pauli // *Proc. Roy. Soc. London. A.* – 1939. – Vol. 173. – P. 211–232.

2. Плетюхов, В. А. Релятивистские волновые уравнения и внутренние степени свободы / В. А. Плетюхов, В. М. Редьков, В. И. Стражев. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 328 с.

3. Elementary Particles with Internal Structure in External Fields. Vol I. General Theory / V. V. Kisel, E. M. Ovsyuk, O. V. Veko, Y. A. Voynova, V. Balan, V. M. Red'kov. – New York: Nova Science Publishers Inc., 2018. – 404 p.

Е. В. Каленчак
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **А. В. Чураков**, канд. мед. наук, доцент

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ В ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЯХ

Дыхательные пути являются наиболее уязвимой тканью организма. Они страдают от таких заболеваний, как бронхиальная астма, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), пневмония и др. Кроме того в настоящий момент добавились многочисленные случаи заболеваемости COVID-19, с последствиями в виде обширных повреждений легких. Поэтому многообещающей и эффективной кажется реализация способа адресной доставки в дыхательные пути и легкие. Она позволяет усиливать местный лечащий эффект при одновременном ослаблении побочных воздействий.

Прямая легочная доставка (например, аэрозоль, ингаляторы и т. д.) представляет собой более избирательный способ доставки лекарства, являющийся неинвазивной альтернативой подкожной или внутривенной инъекциям. Вдыхание аэрозолей с лекарственными средствами уже используется для лечения многих заболеваний легких, таких как астма, инфекции и рак легких. Доступность состава с контролируемым высвобождением, который может поддерживать минимальную эффективную концентрацию конкретного лекарственного вещества, может в значительной степени снизить побочные эффекты, а также может минимизировать нагрузку на печень. Для дальнейшего улучшения эффекта препарата в легких, может быть полезно контролировать осаждение аэрозолей и целевые аэрозоли с помощью магнитного градиента поля для направления намагничивающихся аэрозольных капель, содержащих суперпарамагнитные наночастицы оксида желе-

за, в нужные области легких у мышей для уменьшения вредных побочных эффектов и повышения эффективности лечения.

Одним из важнейших параметров доставки лекарства является эффективность осаждения частиц. Она определяется процентным соотношением количества частиц, осевших на поверхности опухоли, к общему количеству частиц. Осаждение аэрозольных частиц в дыхательных путях зависит от нескольких параметров, таких как физические и гидродинамические характеристики самих частиц, скорость вдыхания, состояние здоровья человека и геометрические и морфологические детали дыхательных путей. [1]. Размер частиц также влияет на тип механизма осаждения. Значительный объем исследовательских усилий с точки зрения экспериментов и численного моделирования был направлен на определение эффективности осаждения. Для увеличения этого параметра, а также для возможности контроля траектории частиц могут использовать магнитную адресную доставку. [1]

Однако важно понимать, что на возможности доставки сильно влияют как параметры аэрозольных частиц, так и параметры турбулентного потока, образующихся в дыхательных путях. Для сокращения времени на разработку и проверку возможных решений доставки аэрозольных препаратов и нахождения оптимальных параметров для всех составляющих все чаще используют численное или компьютерное моделирование. Существует три компьютерных метода решения уравнений турбулентного потока, который образуется в дыхательных путях: прямое численное моделирование (DNS), усредненное по Рейнольдсу Навье-Стокса (RANS) и моделирование крупных вихрей (LES).

Прямое численное моделирование представляет собой решение уравнений Навье-Стокса на сетке с шагами (включая шаг по времени) достаточно малыми для точного разрешения всех турбулентных вихрей. DNS позволяет отслеживать детали мгновенных турбулентных колебаний во всех масштабах, однако весьма дорого для реализации и выходит за рамки обычного использования на современных компьютерах.

В настоящее время большинство моделей вычислительной гидродинамики (CFD) решаются только для среднего или среднего потока с использованием уравнений RANS, который подразумевает запись уравнений переноса усредненного потока (по времени), со всеми предполагаемыми масштабами турбулентности. Такой подход значительно уменьшает вычислительные ресурсы, необходимые для решения численной задачи, что приводит к огромному снижению вычис-

лительных затрат. Трудностью в применении данного метода является переход ламинарно-турбулентно-ламинарного потока в проводящих дыхательных путях, что влечет за собой необходимость уделять больше внимания подбору моделей RANS [2].

Более надежным выбором в данном случае является метод моделирования больших вихрей (LES), при котором использует альтернативный подход, в котором большие вихри решены в нестационарной постановке с использованием системы так называемых «фильтрующих» уравнений. Основным преимуществом модели LES является то, что она является более точным подходом, для решения турбулентных потоков со сравнительно небольшим числом Рейнольдса.

Несмотря на то, что вычислительных затрат LES требуется больше, чем RANS, она позволяет сохранить значительно больше элементов базовой физики турбулентности, чем RANS [3, 4], хотя и требует больших вычислительных мощностей.

Использование методов моделирования при разработке и исследовании новых аэрозольных лекарств позволяет в значительных пределах изменять множество параметров аэрозольных частиц, дыхательных путей и воздушных потоков. А комбинирование этих методов с современными программами обработки результатов расчетов, визуализации данных и дальнейшего анализа позволит получить новые обширные данные и углубленные и более детальные знания об особенностях турбулентных течений и осаждения аэрозольных частиц в дыхательных путях.

Литература

1. Koullapis, P. G. Particle deposition in a realistic geometry of the human conducting airways: Effects of inlet velocity profile, inhalation flowrate and electrostatic charge/ P. G. Koullapis [and other] // Journal of Biomechanics. – 2016. – Vol. 49, №11. – P. 2201–2212.
2. Xi, J. Transport and deposition of micro-aerosols in realistic and simplified models of the oral airway / J. Xi, P. W. Longest // Annals of Biomedical Engineering. – 2007. – №35. – P. 560–581.
3. Radhakrishnan, H. CFD modeling of turbulent flow and particle deposition in human lungs / H. Radhakrishnan, S. Kassinos // 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS, Minnesota, USA, September 2–6, 2009. – Minnesota, USA, 2009. – P. 2867–2870.

4. Choi, J. On intra- and intersubject variabilities of airflow in the human lungs / Choi J. [and other] // Physics of Fluids. – 2009. – №21(10). – 17 p.

5. Longest, P. W. Use of computational fluid dynamics deposition modeling in respiratory drug delivery / P. W. Longest [and other] // Expert Opinion on Drug Delivery. – 2019. – №1. – P. 7-26.

6. Ruge, C. A. Pulmonary drug delivery: from generating aerosols to overcoming biological barriers – therapeutic possibilities and technological challenges / C. A. Ruge, J. Kirch, C.-M. Lehr // The Lancet Respiratory Medicine. – 2013. – Vol.1, №5. – P. 402–413.

В. А. Климович

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. А. Концевой**, ст. преподаватель

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ ФАЗОВОЙ ГРАНИЦЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ЕЕ КРИВИЗНУ

Проблема роста кристалла из переохлажденного расплава актуальна в теоретическом и прикладном аспектах. В настоящее время в экспериментальных условиях достигнуты скорости роста 20–70 м/с при глубине переохлаждения расплава до 300° К [1]. Важный аспект этой проблемы – дендритообразование и морфологические свойства фазовой границы кристаллизации (ФГК). В данной работе мы применяем уравнение роста дендрита, полученное в [2]:

$$\frac{\partial F/\partial t}{[1 + (\partial F/\partial y)^2]^{1/2}} = -\mu B [1 + (\partial F/\partial t)^2]^{-\delta/2} + \frac{\partial^2 F/\partial y^2}{\varphi [1 + (\partial F/\partial y)^2]^{3/2}}. \quad (1)$$

Здесь $x = F(y, t)$ – двумерная плоская линия роста; координата x направлена вдоль оси симметрии в сторону твердой фазы; y – поперечная декартова координата, μ – кинетический коэффициент роста; B – переохлаждение ФГК на вершине дендрита; $\varphi = \alpha/\mu$, $\alpha = L/(UT_c)$, L – теплота фазового перехода единицы объема вещества; U – поверхностная энергия границы раздела фаз; T_c – равновесная температура кристаллизации; безразмерный параметр $\delta > 0$ характеризует неоднородность переохлаждения ФГК вдоль линии роста. Изучим во-

прос о влиянии δ на морфологические свойства стационарного контура роста.

Решение уравнения роста (1) берем в виде $F(y,t) = A_1 t + A_2(y)$ и получаем:

$$\frac{dA}{dy} = \varphi A_1 (1 + A^2) + \mu B \varphi (1 + A^2)^{(3-\delta)/2}, \quad y \geq 0, \quad \delta > 0; \quad (2)$$

$$\frac{dA_2(y)}{dy} = A(y); \quad y = 0, \quad A_2(0) = 0, \quad A(0) = 0. \quad (3)$$

Кривизна стационарного контура равна

$$K = \frac{dA}{dy} (1 + A_2)^{-3/2}. \quad (4)$$

Дифференциальные уравнения (2), (3) определяют стационарный профиль линии роста. В работе получено аналитическое решение системы (2), (3) и проведены детальные численные расчеты.

Результаты расчетов для никеля приведены на рисунок 1–3. Входные параметры: $\Delta T = 166\text{K}$; $\mu = 9,53 \text{ м/(град} \cdot \text{с)}$; $N = 5,3 \text{ м/с}$. Рассмотрены значения δ из следующих интервалов: 1) $0 < \delta < [(-A_1)/\mu B] < 1$; 2) $[(-A_1)/\mu B] < \delta < 1$; 3) $\delta > 1$. Для никеля $[(-A_1)/\mu B] = 0,556$. Были приняты числовые значения $\delta = 0,25; 0,75; 1,50$. При расчете линии роста $A_2(y)$ анализировался вариант $A(y=0) = 0$, когда вершина дендрита имеет нулевое заострение, а также случай $A(y=0) > 0$, относящийся к ненулевому заострению вершины. Влияние параметра δ проявляется следующим образом. При $\delta = 0,25$ и $\delta = 0,75$ зависимость угла заострения $\theta_1(y)$ от поперечной координаты монотонно убывающая и обращена выпуклостью вверх, а при переходе через пороговое значение $\delta = 1$ наблюдается перемена направления выпуклости: получаем $(d^2\theta_1/dy^2) > 0$. Вместе с тем зависимость кривизны $K(y)$ немонотонная только при не слишком больших δ (в данных здесь примерах – при $\delta = 0,25$), а при дальнейшем увеличении этого параметра зависимость $K(y)$ – монотонно убывающая.

Данная работа выполнена в рамках работы по заданию ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии», подпрограмма «Энергетические процессы и технологии». Руководитель задания профессор О. Н. Шабловский.

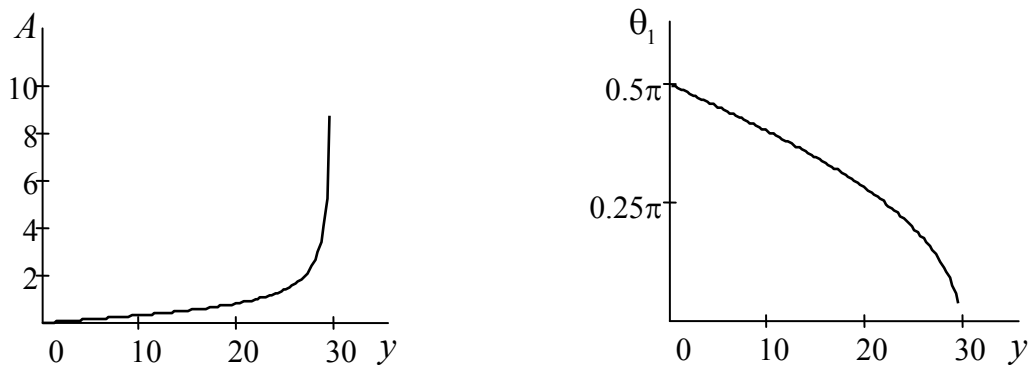


Рисунок 1 – Влияние параметра δ неоднородности переохлаждения ФГК на параметры линии роста; $\delta = 0,25$. Нулевое заострение вершины.

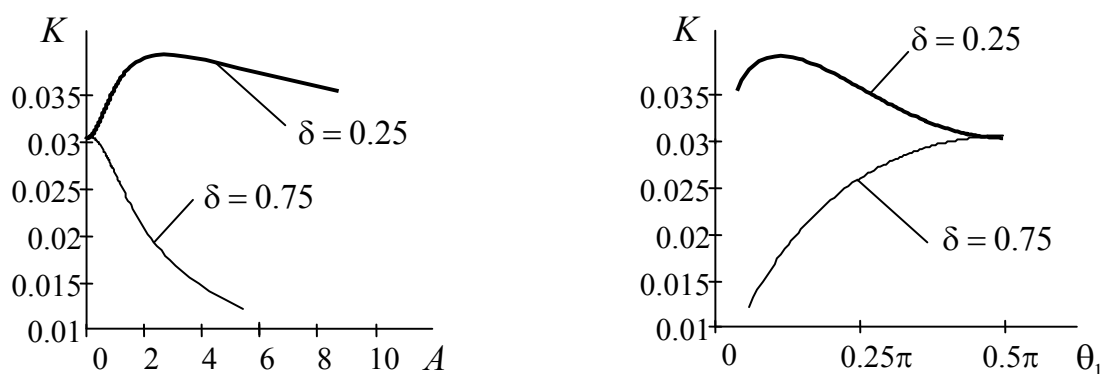


Рисунок 2 – Влияние параметра δ неоднородности переохлаждения ФГК на кривизну линии роста. Нулевое заострение вершины

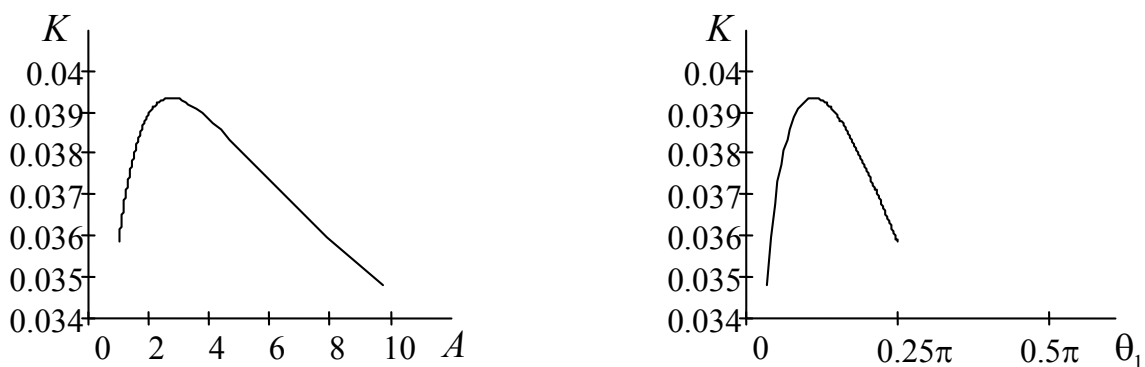


Рисунок 3 – Влияние параметра δ неоднородности переохлаждения ФГК на кривизну линии роста; $\delta = 0,25$. Ненулевое заострение вершины

Литература

1. Herlach, D. M. Metastable Solids from Undercooled Melts / D. M. Herlach, P. Galenko, D. Holland-Moritz – Oxford: Pergamon, 2007. – 448 p.

2. Шабловский, О. Н. Морфологические свойства линии роста двухмерного дендрита в переохлажденном расплаве / О. Н. Шабловский // Прикладная физика. – 2012. – №4. – С. 40–46.

Н. В. Козел

(БрГТУ, Брест)

Науч. рук. **Л. А. Величко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СЛОЖНОЕ МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ МАЯТНИКА МАКСВЕЛЛА

В литературе имеются исследования вращательного движения тел относительно неподвижной точки и неподвижной оси (например, маятник Обербека), относительно подвижной (одного направления) оси (например, качение цилиндра по наклонной плоскости) [1, 2]. Целью данной работы являлось изучение вращения твердого тела относительно оси, участвующей в возвратно-поступательном периодическом движении.

В работе маятник Максвелла массой m состоит из диска радиусом R , насаженного на стержень-цилиндр массой $m_{ст}$ и радиусом r . Нити, намотанные на стержень, прикреплены к кронштейну установки. Из этого состояния система начинает двигаться вниз. На нее действуют сила тяжести, приложенная к центру масс и направленная вниз, и силы натяжения двух нитей, направленные вдоль нитей вверх. Нити постепенно раскручиваются. Имеет место переход системы из вынужденного отклоненного вверх состояния к положению равновесия. В этом случае скорость центра масс системы равна скорости нитей и скорости крайней точки стержня, как оси [1]. При полном разматывании нитей раскрутившаяся система продолжает по инерции вращаться в том же направлении. Нити вновь наматываются на стержень. Система движется вверх, сообщив «рывок» нитям [2]. Повторяющееся движение системы вверх и вниз (знакопеременное отклонение от положения равновесия) есть колебательное движение маятника Максвелла. При достижении полной длины раскручивающихся нитей маятник изменяет знак скорости. Её значение в этот момент времени максимально v_{max} . Ускорение знак не меняет, оно направлено вниз [3].

1. Отследим энергетические изменения в колеблющейся системе.

а. Система (центр масс системы) двигается прямолинейно в вертикальной плоскости с ускорением a , и, находясь под действием

внешних сил $2T$, вращается относительно оси, проходящей через центр масс и совпадающей с геометрической осью стержня-цилиндра. Уравнение движения системы запишем в виде:

$$\begin{cases} mg - 2T = ma; \\ 2T \cdot r = I \cdot \varepsilon = I \frac{a}{r}, \end{cases} \quad (1)$$

где I – момент инерции системы относительно оси; $2T \cdot r$ – момент сил натяжения двух нитей; ε – угловое ускорение.

Выразив из системы уравнений (1) ускорение a и подставив исходные данные можно вычислить ускорение a . Ускорение постоянно во времени и одинаково при подъеме и спуске системы [1].

б. Время движения системы до нижнего положения, т.е. время полного разматывания нитей, измерялось секундомером. Для каждой фиксированной длины нитей h выполнялось 10 измерений и вычислялось среднее время движения системы t_{cp} . Следовательно, оказавшаяся в нижнем положении система обладает максимальной скоростью, а ее кинетическую энергию рассчитаем по формуле:

$$W_k = \frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{m(at_{cp})^2}{2}. \quad (2)$$

с. Кинетическую энергию вращения системы выразим через момент инерции I :

$$W_{ep} = \frac{1}{2} I \cdot \omega_{ep}^2, \quad (3)$$

где ω_{ep} – угловая скорость.

При фиксированной длине нитей за время t_{cp} система совершает N оборотов относительно оси:

$$N = \frac{h}{2\pi \cdot r}, \quad \text{тогда} \quad \omega_{ep} = \frac{N \cdot 2\pi}{t_{cp}} = \frac{h}{r \cdot t_{cp}}. \quad (4)$$

При расчете момента инерции системы I нами было сделано следующее допущение. Стержень и диск – это два тела с общей осью, но разных масс!

$$I = I_{cm} + I_{диск} = \frac{1}{2} m_{cm} \cdot r^2 + \frac{1}{2} m \cdot R^2 \quad (5)$$

Определив момент инерции каждого из тел, рассчитаем момент инерции системы I . Затем полученные выражения (4) и (5) подставим в (3) и найдем кинетическую энергию вращения системы $W_{вр}$.

d. Примем за амплитуду колебания A длину нитей h , а время $t_{ср}$ за $T_{кол}/4$ (где $T_{кол}$ – период). Под периодом колебаний будем понимать время движения системы туда и обратно (вниз и вверх). Следовательно, значение энергии колебания определим по формуле:

$$W_{кол} = \frac{1}{2} m \omega_{кол}^2 \cdot A^2, \quad \text{где } \omega_{кол} = \frac{2\pi}{T_{кол}} = \frac{2\pi}{4t_{ср}}. \quad (6)$$

e. Таким образом, суммарное значение кинетической энергии W трех движений маятника Максвелла будет вычисляться по формуле:

$$W = W_k + W_{вр} + W_{кол}. \quad (7)$$

2. Изменяя длину h намотанных на стержень нитей, сообщаем системе определенный запас энергии mgh . Предварительно необходимо оценить, определяет ли этот запас энергии суммарную энергию движения маятника. Для этого учтем, что при смене направления движения (нижнее положение) происходит “рывок”, т.е. увеличение натяжения нитей ΔT [2]:

$$\Delta T \approx \frac{h}{\pi r} \cdot 2a \cdot m. \quad (8)$$

Полное натяжение нитей вовремя «рывка» [4]:

$$T = T_0 + \Delta T, \quad (9)$$

где T_0 – натяжение нитей во время спуска (к моменту достижения нижнего положения).

$$T_0 = \frac{mg}{2} \left(1 - \frac{a}{g} \right). \quad (10)$$

Системе был сообщен запас энергии $W = mgh$, который отвечал бы «за полное натяжение нитей T ». В действительности, система «реализовала» только T_0 . Значит, реализованный запас потенциальной энергии (мы его обозначим $W_{\text{полн}}$) составляет долю $\frac{T_0}{T} = \frac{T_0}{T + \Delta T}$ от сообщенного запаса:

$$W_{\text{полн}} = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \cdot mgh. \quad (11)$$

3. Таким образом, согласно формулам (11) и (7) потери энергии ΔW при движении маятника Максвелла составляют:

$$\Delta W = W_{\text{полн}} - W. \quad (12)$$

Относительные потери оценим как $\frac{\Delta W}{W_{\text{полн}}}$, т.е. колебания маятника Максвелла слабо затухающие.

Литература

1. Стрелков, С. П. Механика : учебник / С. П. Стрелков. – М.: Изд-во техн.-теор. лит., 1956. – 560 с.
2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие в 5-и т. / Д. В. Сивухин. – М.: Наука, 1979. – Т. 1. Механика. – 520 с.
3. Хайкин, С. Э. Физические основы механики : учеб. пособие / С. Э. Хайкин. – М.: Наука, 1971. – 752 с.

М. Н. Кольчевская
(БГУ, Минск)

Науч. рук. **Ф. Ф. Комаров**, д-р физ.-мат. наук, член-корр. НАНБ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОТРОПНОГО РАСТВОРА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ПОЛИМЕРАХ

Использование углеродных нанотрубок (УНТ) в качестве добавок в матрицу полимера для создания новых функциональных композит-

ных материалов является актуальным. Потенциал использования УНТ в качестве модифицирующей добавки ограничен трудностями, связанными с неравномерным распределением запутанных УНТ во время обработки, и плохого межфазного взаимодействия между УНТ и полимерной матрицей. Природа проблемы неравномерного распределения для УНТ отличается от природы других наполнителей, таких как сферические частицы и углеродные волокна, потому что для УНТ характерно высокое аспектное отношение (> 1000) и, следовательно, чрезвычайно большая площадь поверхности. Кроме того, коммерциализированные УНТ поставляются в виде сильно запутанных структур, что приводит к трудностям при диспергировании.

Рассмотрим в качестве примера четыре вида наполнителей для композитных материалов: сферические частицы Al_2O_3 , углеродные волокна, графеновые нанопластины (ГНП), УНТ. Их геометрические размеры составляют соответственно 100 мкм в диаметре, 5 мкм в диаметре и протяженностью 100 мкм, 45 мкм протяженностью и 7,5 нм толщиной, 12 нм в диаметре и 10 мкм длиной. Поскольку существуют различия в размерах и геометрии этих наполнителей, количество частиц, содержащихся в 1 мм^3 композита, будет в значительной степени варьироваться (рисунок 1). Например, для объемной доли наполнителя 0,1 вес.% в 1 мм^3 композита наблюдается 2 частицы Al_2O_3 . Количество частиц углеродных волокон для соответствующего объема равняется 200. Для УНТ количество частиц составляет 442 млн [1].

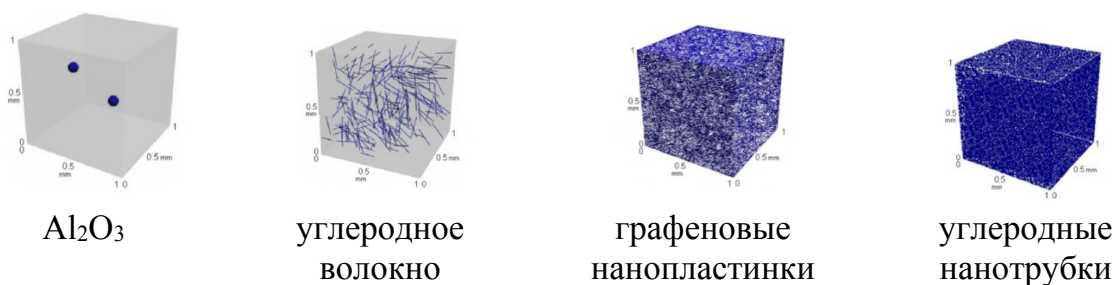


Рисунок 1 – 3D модель пространственного распределения наполнителя в матрице композитного материала [1]

Трехмерное распределение этих микро- и наноразмерных наполнителей в полимерной матрице, что дает представление о различном поведении распределения частиц в матрице из-за размерных эффектов. Распределение микромасштабных наполнителей является однородным по всей матрице, и можно легко провести дифференцирова-

ние отдельных частиц в матрице. Однако в случае с ГНП и УНТ трудно добиться равномерного диспергирования отдельных частиц. Учитывая агломерацию частиц из-за электростатического взаимодействия и силы Ван-дер-Ваальса, распределение наноразмерных наполнителей должно быть более сложным по структуре.

Разработана программа «NanoTi» для расчета распределения УНТ по линейным размерам в полимерной матрице в зависимости от интенсивности и длительности механического и ультразвукового перемешивания. В программе задаётся вероятность разрушения УНТ в зависимости от длины нанотрубки. Исходными данными для программы является функция распределения УНТ по размерам. Выходными данными программы является функция распределения УНТ от времени обработки. Разработанная программа применяется для оценки поведения УНТ в растворе при диспергировании и оптимизации процесса приготовления композитных материалов. Полученные результаты расчетов позволяют исследовать разнообразные механизмы разрушения УНТ.

Алгоритм работы программы следующий. На первом этапе задаётся максимальная и минимальная длина нанотрубок в растворе, длина меньше которой нанотрубка не разрушается, интервал размеров подверженных разрушению в процессе обработки, шаг дискретизации размеров нанотрубок и функция распределения нанотрубок по размерам.

На втором этапе выполняется расчет функции распределения нанотрубок за один временной интервал обработки раствора. Последовательные запуски программы рассчитывают последующие функции распределения нанотрубок на следующих временных интервалах. Программа рассчитывает три типа графиков – зависимость массы от длины нанотрубок, распределение вероятности разрушения и распределение нанотрубок по размерам (рисунок 2).

На рисунке 2 показаны результаты расчета распределения УНТ после трех этапов обработки 10^4 одинаковых нанотрубок длиной 1 мкм. Функция распределения вероятности разрушения имеет максимум по середине нанотрубки. Результаты расчетов показывают наличие максимума в области 500 нм который медленно растет с увеличением этапов обработки. Это объясняется последовательным разрушением исходных нанотрубок длиной 1 мкм и ростом числа нанотрубок других размеров в процессе обработки.

Характеристики композитных материалов существенно зависят от вида и длительности приготовления и обработки. Разработанное про-

граммное обеспечение позволяет установить функцию вероятности разрушения нанотрубок, что позволит создавать композитные материалы с заданными свойствами.

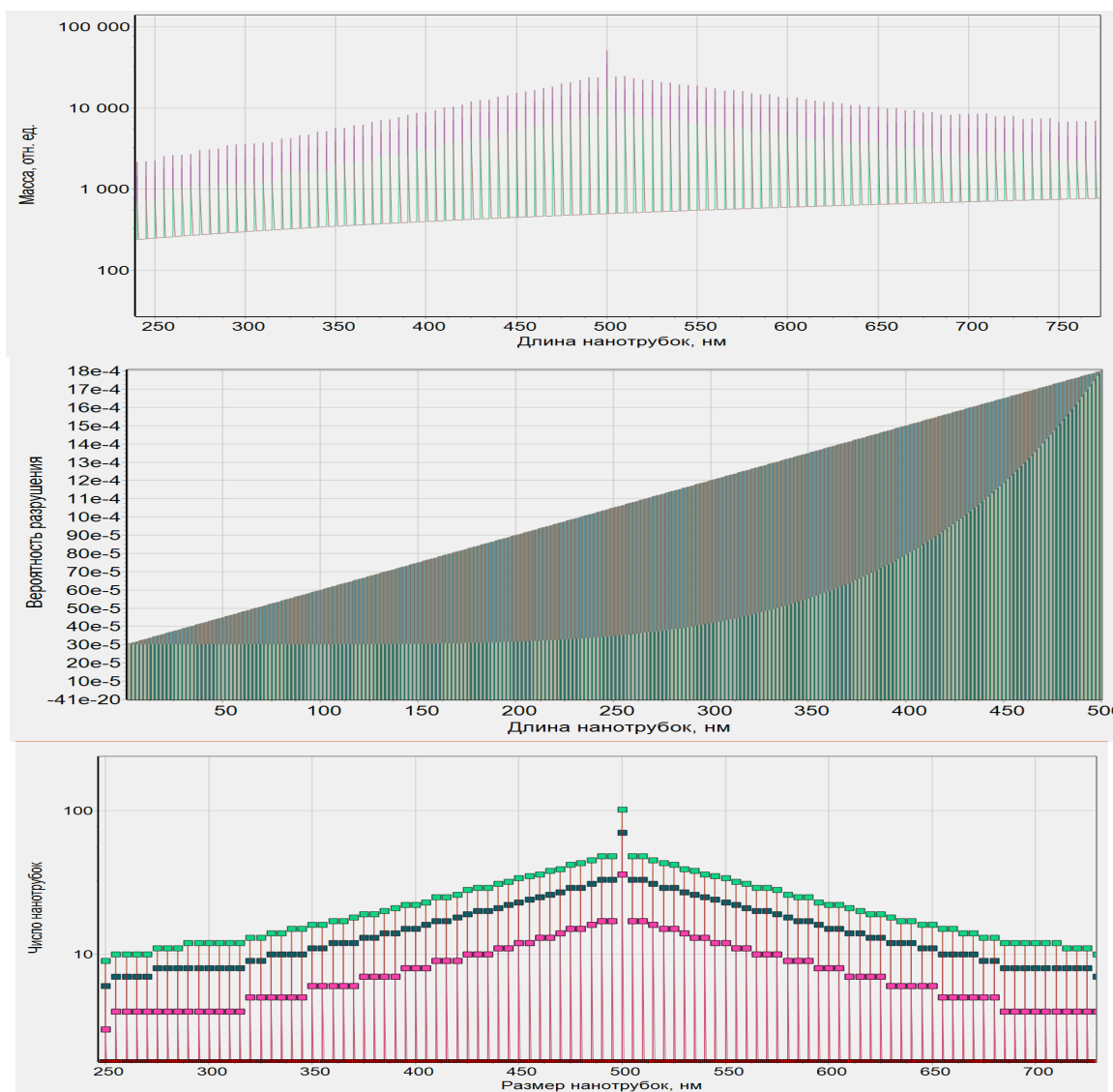


Рисунок 2 – График зависимости массы от длины нанотрубок(А), график распределения вероятности разрушения (Б), график распределения нанотрубок по размерам (В)

Литература

1. Ma P. C., Siddiqui N. A., Marom G., Kim J. K. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review // Composite: Part A – 2010. – Vol. 41.

И. Н. Кольчевская

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **Н. Н. Кольчевский**, канд. физ.-мат. наук, доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНАБЕРРАЦИОННОЙ ПРЕЛОМЛЯЮЩЕЙ ЛИНЗЫ ДЛЯ РЕНГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

Рентгеновская преломляющая оптика новый раздел физики, основанный на идее 1996 года использовать большое количество преломляющих поверхностей для фокусировки синхротронного рентгеновского излучения. К настоящему времени известно большое число конструкций многоэлементных преломляющих линз, которые применяются для фокусировки и получения изображений при энергиях фотонов 5-50 КэВ. Оптическая сила, усиление, разрешение преломляющих линз зависит от формы преломляющей поверхности. Поиск идеальной поверхности преломляющей линзы идёт до сих пор [1, 2].

Цель работы вывести уравнение профиля, или кривой меридиального сечения анаберрационной преломляющей поверхности для рентгеновских лучей.

Для рентгеновских лучей показатель преломления n вещества имеет комплексный вид:

$$n = 1 - \delta + i\beta,$$

где β – линейное увеличение, δ – единичный декремент, который рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{1}{2} \frac{E_p^2}{E_f^2}$$

Для большинства веществ можно принять, что плазменная энергия E_p изменяется в диапазоне от 22 эВ до 80 эВ, а энергия фотонов E_f изменяется в диапазоне от 1000 эВ до 100000 эВ.

Таким образом можно оценить значения максимума и минимума единичного декремента: $\delta_{\max} = 3,2 * 10^{-3}$; $\delta_{\min} = 242 * 10^{-10}$

Согласно условию образования точечного изображения предметная точка изображается стигматически преломляющей или отражающей поверхностью, если оптическая длина хода любого из лучей пучка, идущего из точки предмета и приходящего в точку изображения, является величиной постоянной. Поверхность, для которой выполняется данное условие называется анаберрационной.

Рассмотрим два луча выходящих из источника и приходящих в фокус (рисунок 1). Первый луч проходит через точку М, а второй идёт вдоль оптической оси. Рассмотрим оптические длины хода этих лучей, по условию образования точечного изображения оптические длины пути от источника до фокуса для любого значения y должны быть постоянны, тогда можно записать:

$$(1 - \delta_1)\sqrt{(x_1 - x_{II})^2 + y_{II}^2} + (1 - \delta_2)\sqrt{(x_2 + x_{II})^2 + y_{II}^2} = x_1(1 - \delta_1) + x_2(1 - \delta_2)$$

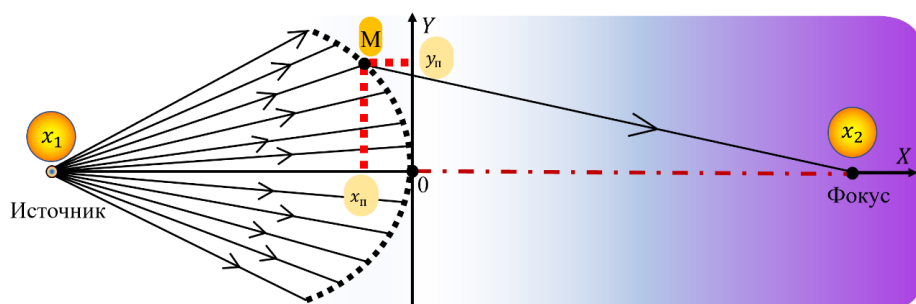


Рисунок 1 – Анаберрационная преломляющая линза

Получено общее решение данного уравнения $y_{II}(x_{II})$, позволяющее рассчитывать анаберрационную преломляющую поверхность.

Для случая бесконечно удаленного источника: $x_1 = \infty$, $x_2 = x$, $\delta_1 = 0$, $\delta_2 = \delta$, $y_{II} = y$, $x_{II} = F$ – фокусное расстояние поверхности, расположенного в вакууме решение можно привести к компактному виду

$$y = \sqrt{\frac{x\delta[x(2 - \delta) + 2(1 - \delta)F]}{(1 - \delta)^2}}$$

Расчёт анаберрационного профиля на рисунке 2А производился при фиксированном значении фокуса $F = 1$ м. Можно заметить, что с увеличением декремента, профиль расширяется по координате y . Допустимые значения для технологии ограничены размером 1 мкм, тогда мы получаем, что одиночные линзы с δ равным 10^{-8} – 10^{-9} невозможно изготовить. При фиксированном значении декремента δ , равном 10^{-3} , и изменении фокусного расстояния получили, что при увеличении фокуса профиль расширяется по координате y (рисунок 2Б). Так как допустимые значения технологии ограничены размером в 1 мкм, то могут быть получены линзы с фокусным расстоянием порядка 1 метра.

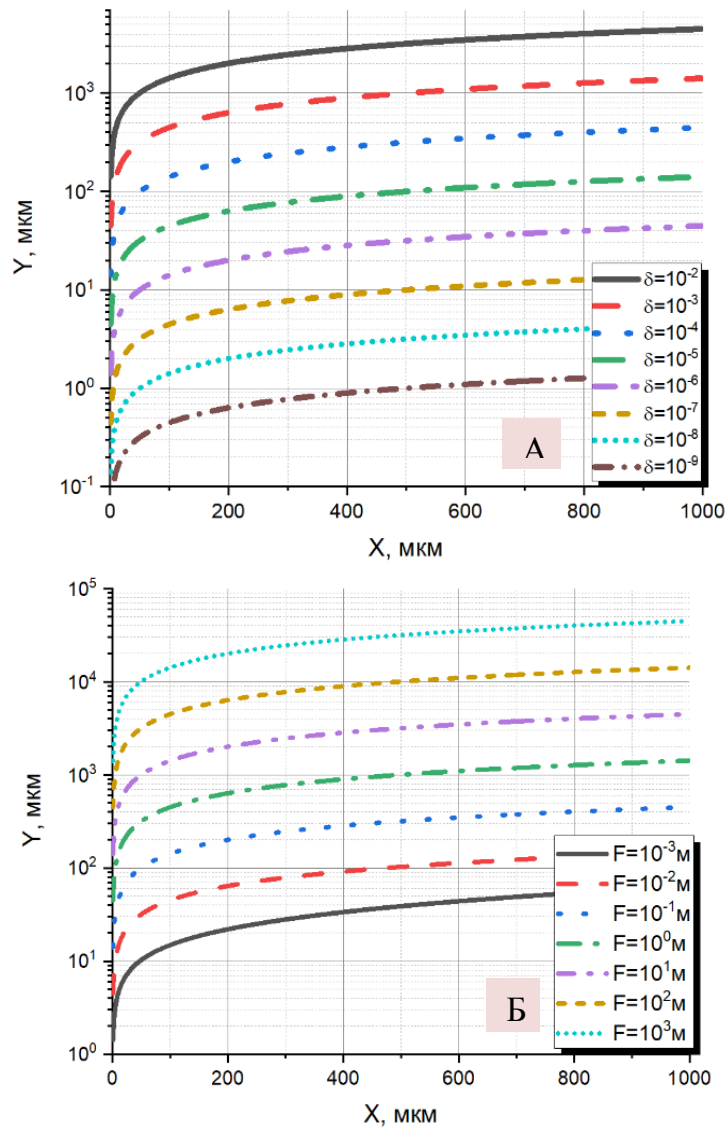


Рисунок 2 – Анаберрационные профили преломляющей поверхности

Исследовано распространение рентгеновского излучений через границу раздела двух сред. Получено уравнение профиля анаберрационной преломляющей поверхности. Построены графики анаберрационных профилей при фиксированных значениях фокуса и декременты. Расчёты показали, что при допустимых значениях технологии, ограниченных размером 1 мкм, могут быть изготовлены одиночные линзы с декрементом менее 10^{-8} и фокусным расстоянием порядка 1 метра.

Данные исследования будут продолжены для поиска идеальной поверхности многоэлементной анаберрационной преломляющей линзы, для фокусировки рентгеновского синхротронного излучения.

Литература

1. Yu. I. Dudchik, N. N. Kolchevsky, F. F. Komarov. Microcapillary X-ray lens as a novel design of the refractive lens // SPIE Proceedings. – Vol.4766. – 2002.
2. Kumakhov M. A., Sharov V. A. A neutron lens. Nature 357, 390–391(1992).

Д. Е. Комяков

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Л. Самофалов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ В ПРОГРАММЕ COMSOL MULTIPHYSICS

Метаматериал – это композиционный материал, свойства которого обусловлены не столько свойствами составляющих его элементов, сколько искусственно созданной периодической структурой. Метаматериалы представляют собой искусственно сформированные и особым образом структурированные среды, обладающие свойствами, зачастую не встречающимися в природе.

Для проектирования заданных свойств и разработки метаматериалов, необходимо провести предварительное моделирование. Одной из программ, используемой для этих целей, является COMSOL Multiphysics.

COMSOL Multiphysics – это интегрированная платформа для моделирования, включающая в себя все его этапы: от создания геометрии, определения свойств материалов и описания физических явлений, до настройки решения и процесса постобработки, что позволяет получать точные и надежные результаты.

Чтобы создавать модели для специализированных прикладных и инженерных задач, можно дополнять возможности программного пакета COMSOL Multiphysics модулями расширения в любом их сочетании. Продукты для интеграции позволяют применять при моделировании другие инженерные и математические программные средства, используемые при разработке устройств и процессов. Программа выполняет анализ, начиная с разбиения пространства на сетку, выполняя контроль ошибок с использованием различных численных программ. Расчеты, выполняемые в COMSOL, могут делиться на по-

токи вычислений общей задачи, выполняться параллельно, для чего можно использовать многопроцессорные системы.

Процесс моделирования в COMSOL Multiphysics состоит из нескольких шагов, которые (включая первый шаг), соответствуют ветвям дерева проекта Model Builder (рисунок 1). Он включает:

1. Выбор соответствующего физического интерфейса или заранее определенных мультифизических связей с добавлением физического интерфейса.

2. Введение параметров компонент и переменных в ветви Definitions.

3. Черчение и импорт геометрических компонентов в ветви Geometry.

4. Задание свойств материалов для геометрии в ветви Materials.

5. Задание уравнений модели и граничных условий в ветвях физического интерфейса.

6. Ветвь создания сетки разбиения Mesh branch.

7. Установки на расчет и исследование в ветви решения Study.

8. Анализ и визуализация результатов в ветви Results.

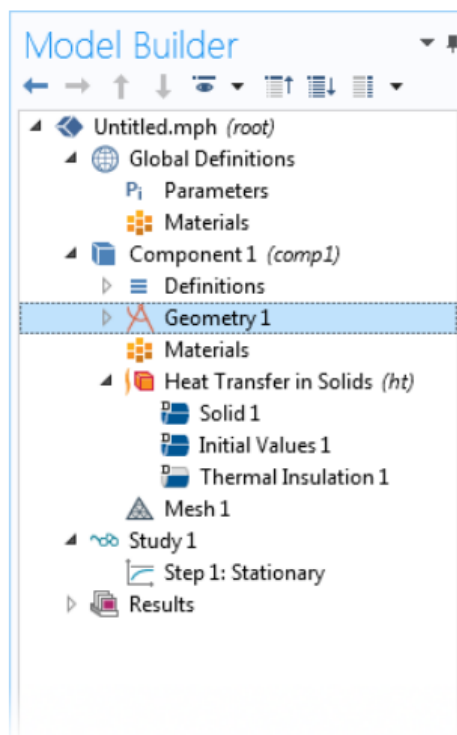


Рисунок 1 – Ветви дерева проекта Model Builder

Даже после того, как модель задана, можно отредактировать входные данные. Уравнения, граничные условия остаются верными

при изменении геометрии, перед установкой сетки разбиения. Задав другие начальные условия, можно перезапустить решающее устройство. Это удобно для изучения различных явлений, описывающих модель.

К преимуществам программы COMSOL Multiphysics, по сравнению с другими аналогичными программами, можно отнести: интуитивно понятный интерфейс от создания модели до получения и вывода результатов, большая встроенная библиотека материалов, большое количество обучающих материалов.

Литература

1. Семченко, И. В. Электромагнитные волны в метаматериалах и спиральных структурах / И. В. Семченко, С. А. Хахомов. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 279 с.

2. Курушин, А. А. Решение мультифизических СВЧ задач с помощью САПР COMSOL / А. А. Курушин. – М.: «One-Book», 2016. – 376 с.

В. И. Крылов

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА САЙТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Популярность Интернета, как глобального источника получения информации, современного средства электронной коммуникации и виртуального рынка, неограниченного ни временными, ни пространственными рамками, все больше ведет к необходимости разработки персональных веб-сайтов как отдельных пользователей, так и всевозможных отраслевых единиц. В настоящее время практически каждая компания, учреждение, организация и др., даже если ее деятельность не связана с информационными технологиями и продажей товаров в Интернете, имеет свой корпоративный сайт, который постоянно пополняется и совершенствуется. При этом, актуальной задачей является поддержание и продвижение сайта в максимально эффективном виде с точки зрения успешной коммуникации и престижа.

Интернет уравнивает всех пользователей, предоставляя им одинаковые возможности. Сейчас каждый может внести вклад в развитие всемирной сети. Достаточно создать свой веб-сайт и разместить его в Интернете. То есть, благодаря бурному развитию современных информационных технологий, любой пользователь может стать разработчиком веб-сайта. Но для этого необходимы не только знания, умения и навыки, но также терпение и настойчивость. Ведь для создания полноценного сайта и его продвижения требуется достаточно много времени.

Каждый сайт индивидуален, но программный инструментарий, методы и способы представления на веб-страницах различных видов информации, структура веб-страниц, стратегия и план разработки сайта являются общими. Рассмотрим основные этапы, а также нюансы, которые следует пройти и предусмотреть, прежде чем запустить веб-сайт.

Перед началом создания веб-сайта необходимо написать план, в котором будут определены тематика проекта, готовая структура проекта, т. е. деление материала по темам и ключевым разделам, а также схематичный набросок макета, по которому уже будет отрисовываться дизайн. При построении макета необходимо учитывать расположение блоков на странице (где будет располагаться навигационная панель, меню, контактные данные и основной контент).

Далее следует приступать, непосредственно, к созданию дизайн-макета. В первую очередь нужно определить цветовую схему проекта. Для того чтобы узнать основные цвета на странице можно воспользоваться методом mood board. Метод заключается в том, чтобы ключевые слова проекта найти по картинкам в браузере (Google, Yandex и др.) и из изображений, которые выдаст браузер, составить цветовую схему веб-сайта.

Если на странице есть кнопки, ссылки и т. д., то такие элементы должны быть интерактивными. Это значит, что при наведении, нажатии или удержании будет срабатывать заранее прописанная анимация. Например, при нажатии на кнопку она будет менять цвет и размер. С подобным повсеместно можно столкнуться на просторах интернета.

После того, как дизайн будет закончен, его необходимо перенести на веб-страницу. Для этого используют HTML разметку. Перечислим три основных инструмента, применяемых для создания веб-проектов [1]:

1. HTML (HyperText Markup Language – «язык гипертекстовой разметки») – самый базовый строительный блок веба. Он определяет

содержание и структуру веб-страницы. Благодаря HTML браузер понимает содержание страницы. В нем находится вся информация для отображения: картинки, текст, блоки, списки, ссылки и т.д. Код HTML интерпретируется браузерами, полученная в результате интерпретации страница отображается на экране монитора компьютера или мобильного устройства.

2. Cascading Style Sheets (CSS) – это язык правил (таблиц стилей), используемый для представления внешнего вида HTML-документа. CSS описывает, каким образом элемент должен отображаться на странице. Здесь также можно указать фон страницы, шрифт и размер текста, эффекты при наведении. В общем, благодаря CSS можно придать красивый внешний вид веб-проекту. Данный язык позволяет очень гибко настраивать отображение элементов на странице или скрывать их, если это необходимо.

На написание стилей тратится очень много времени и желательно его как-то уменьшить. Именно поэтому многие разработчики используют препроцессоры (SASS, LESS, SCSS). С помощью различных программ такие стили легко компилируются в привычные файлы с CSS стилями. Основные преимущества препроцессоров – это добавление новых возможностей, например:

- Переменные.

В переменных можно хранить цвета, стеки шрифтов или любые другие значения CSS, которые необходимо использовать (рисунок 1).

```
$font-stack: Helvetica, sans-serif;
$primary-color: #333;

body {
  font: 100% $font-stack;
  color: $primary-color;
}
```

Рисунок 1 – Пример использования SCSS переменных

- Вложенности.

Возможность вложенности в родительские селекторы (рисунок 2).

- Миксины.

Миксины позволяют создавать группы деклараций CSS, которые придется использовать по нескольку раз на сайте. В миксины можно передавать переменные, чтобы сделать их более гибкими.

```
nav {
  ul {
    margin: 0;
    padding: 0;
    list-style: none;
  }

  li { display: inline-block; }

  a {
    display: block;
    padding: 6px 12px;
    text-decoration: none;
  }
}
```

Рисунок 2 – Пример вложенности в SCSS

```
@mixin transform($property) {
  -webkit-transform: $property;
  -ms-transform: $property;
  transform: $property;
}

.box { @include transform(rotate(30deg)); }
```

Рисунок 3 – Пример использования миксинов в SCSS

Благодаря свойствам препроцессоров разрабатывать стили становится удобнее, быстрее и приятнее.

3. JavaScript (часто просто JS) – это легковесный, интерпретируемый или JIT-компилируемый, объектно-ориентированный язык программирования. Наиболее широкое применение находит как язык сценариев веб-страниц. JavaScript это прототипно-ориентированный, мультипарадигменный язык с динамической типизацией, который поддерживает объектно-ориентированный, императивный и декларативный (например, функциональное программирование) стили про-

граммирования. Благодаря этому можно добавить на страницу различный функционал. К примеру, расчет итоговой суммы купленных товаров в интернет-магазине.

JavaScript и CSS подключаются к HTML-документу, так как браузер способен отображать именно HTML файл. С помощью этих технологий написаны сайты в интернете, а значит, реализовать возможно практически все, что можно придумать.

Мир веб-разработки делится на такие составляющие как:

Frontend (все, что отображается на экране и может видеть пользователь). Вышеописанные инструменты, как раз относятся к этой категории, ведь с их помощью настраивается внешний вид страницы.

Backend. Сюда относится все, что скрыто от глаз пользователя. Другими словами, это внутренняя часть страницы. Например, транзакции и переводы денежных средств, авторизация пользователя или добавление продуктов в корзину в интернет-магазине, все это обрабатывается на стороне сервера. Полученные данные заносятся в базу данных или могут доставаться при надобности. Для написания backend используются уже другие инструменты и языки программирования. Например, для базы данных рассмотрим MySQL, а для работы с сервером PHP.

PHP – язык программирования. Используется многими специалистами для разработки веб-приложений. В настоящее время поддерживается подавляющим большинством хостинг-провайдеров и является одним из лидеров среди языков, применяющихся для создания динамических веб-сайтов.

MySQL – сервер баз данных, который хранит в себе различную информацию с веб-страницы. Например, названия страниц, URL-адреса, посты и т.д.

Чтобы создать уникальный полноценный веб-сайт нужно в полной мере использовать как технологии Frontend, так и Backend. Таким образом, веб-сайт состоит из двух частей – визуальной и программной. При правильном выборе применяемых для конкретного сайта инструментов, на выходе получится качественный продукт с содержанием, доступным для наибольшего количества пользователей.

Литература

1. Фримен, Э. Изучаем HTML, XHTML и CSS / Э. Фримен, Э. Робсон. – Питер, 2014. – 720 с.

В. Р. Куриленко, Д. В. Синегрибов
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук.: **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель,
А. А. Панков, д-р физ.-мат. наук, профессор

МОДЕЛЬНО НЕЗАВИСИМЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТОВ НОВЫХ ТЯЖЕЛЫХ КАЛИБРОВОЧНЫХ БОЗОНОВ НА ЭЛЕКТРОН- ПОЗИТРОННЫХ КОЛЛАЙДЕРАХ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Одной из основных задач экспериментов на современных и будущих ускорительных комплексах является поиск новых частиц и взаимодействий, существование которых предсказывается нестандартной («новой») физикой за рамками СМ. Дополнительные калибровочные бозоны могут иметь массу достаточную для наблюдения индуцированных ими прямых или косвенных (виртуальных) эффектов как на уже действующих, так и на высокоэнергетических коллайдерах следующего поколения. Речь идет здесь в первую очередь о будущих электрон-позитронных коллайдерах FCC-ee, CLIC и FLC [1–3]. Очевидно, что достижение порога рождения новых частиц явилось бы прямым доказательством проявлений нестандартной физики. Однако в этом случае интервал поисков масс новых частиц ограничен максимальной энергией коллайдеров. Однако значительно более широкий интервал масс Z' можно исследовать путем измерения косвенных (интерференционных) эффектов. В настоящей работе представлены результаты модельно независимого анализа интерференционных эффектов Z' -бозонов в процессе аннигиляционного рождения лептонных пар при энергиях будущих электрон-позитронных коллайдеров. Основные количественные результаты работы изображены на рисунке 1 и рисунке 2, а также прокомментированы в подписях к рисункам.

Итак, в работе исследованы интерференционные эффекты новых нейтральных Z' -бозонов в полном сечении рассеяния и асимметрии вперед-назад в процессе электрон-позитронной аннигиляции в мюонную пару, $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$. Установлены характерные особенности в энергетическом поведении наблюдаемых величин в сравнении с их поведением в СМ. На основе модельно независимого анализа физических наблюдаемых величин впервые были получены общие (модельно независимые) ограничения на лептонные константы Z' -бозонов.

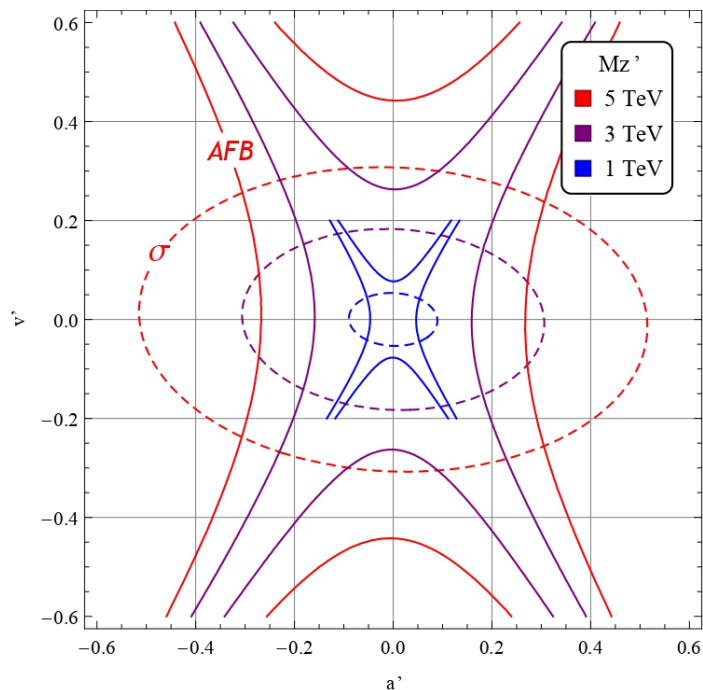


Рисунок 1 – Верхняя граница на лептонные константы связи Z' -бозона, соответствующая уровню достоверности 2σ , на плоскости (a', v') полученная из модельно независимого анализа полного сечения (пунктирные линии) и асимметрии вперед-назад (непрерывные линии) в процессе аннигиляционного рождения мюонных пар при энергии коллайдера 0.5 ТэВ и для Z' -бозонов с массой 1 ТэВ, 3 ТэВ и 5 ТэВ

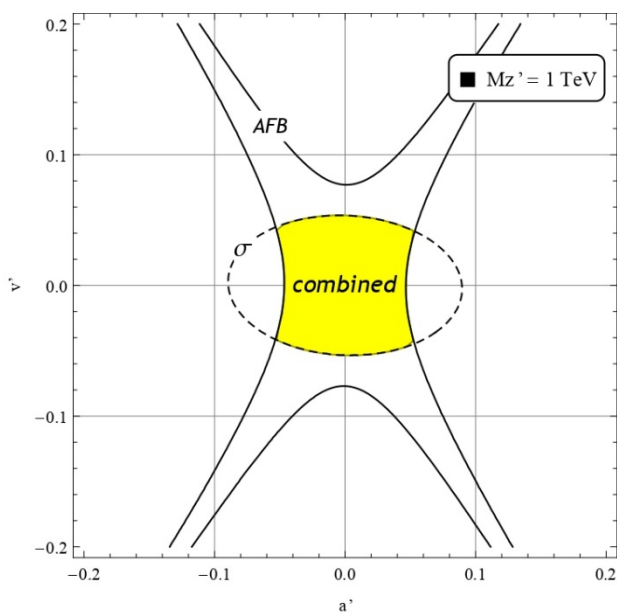


Рисунок 2 – То же, что на рисунке 1, но для Z' -бозонов с массой 1 ТэВ. Желтым цветом выделена область параметров (констант связи), полученная из комбинированного анализа эффектов Z' -бозонов с помощью полного сечения и асимметрии вперед-назад

Литература

1. Osland, P. Z-prime interference effects from TRISTAN to LEP-2/, P. Osland, A. A. Pankov // Phys. Lett. B.– 1997. – 403. – pp.93–100.
2. Babich, A. A. New physics signatures at a linear collider: Model independent analysis from conventional polarized observables/ A. A. Babich, P. Osland, A. A. Pankov, N. Paver // Phys. Lett. B.– 2001. – 518. – pp.128–136.
3. Pankov, A. A. High-precision limits on W–W' and Z–Z' mixing from diboson production using the full LHC Run 2 ATLAS data set / A. A. Pankov, P. Osland, I. A. Serenkova, V. A. Bednyakov // Eur. Phys. J. C. – 2020. – 80. – no.6, pp.503–525.

Д. А. Максименко

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Лискович**, ст. преподаватель

АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЛЛИПСОИДНОЙ ЗВЕЗДЫ В ЦЕПНОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Входящие в состав трансмиссии велосипеда передние и задние звезды участвуют в передаче крутящего момента на ведущее заднее колесо, а также делают возможным переключение скоростей.

Кроме привычной круглой формы ведущие звёзды могут иметь и эллиптическую. Их применяют только в гоночных велосипедах для преодоления «провала» в приложении усилий при горизонтальном положении педалей.

Оценим эффективность применения эллиптических звёзд.

При вращении «шатунов» велосипеда сила прикладывается вертикально (рисунок 1). Но, поскольку, при этом плечо момента меняет своё значение, то и момент не постоянен. Вычислим момент по формуле

$$M = F \cdot h, \quad (1)$$

где h – плечо момента, F – сила, прикладываемая к шатуну.

Плечо момента изменяется в зависимости от угла поворота шатуна

$$h = l \cdot \cos(\varphi) \quad (2)$$

где l – длина шатуна, φ – угол поворота шатуна.

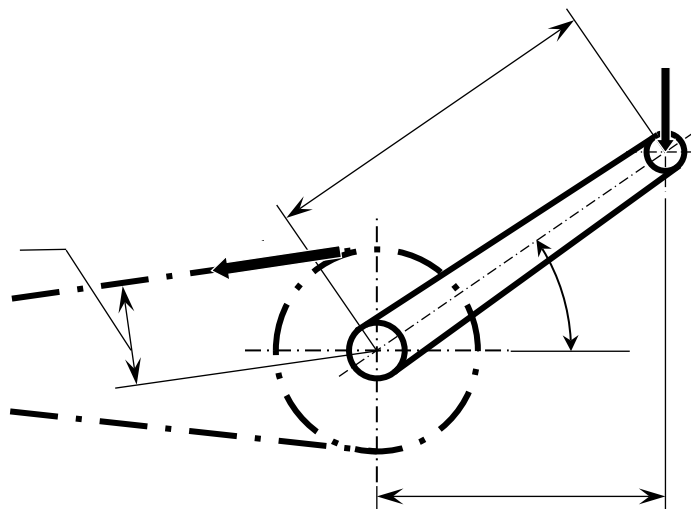


Рисунок 1 – Схема рычага (шатуна) на ведущей звезде

Тогда формула (1), после подстановки (2) примет вид:

$$M = F \cdot l \cdot \cos(\varphi) \quad (3)$$

Получается, что момент изменяется по графику (рисунок 2)

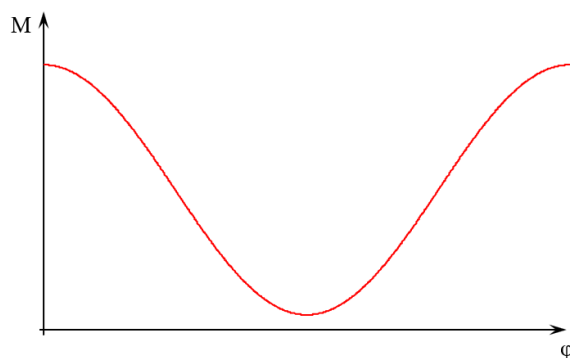


Рисунок 2 – График изменения момента на валу с ведущей звездой

Т. е. усилие в процессе вращения рычагов (шатунов) при постоянном моменте сопротивления на всём цикле движения распределяется неравномерно.

Момент сопротивления можно определить по формуле:

$$M_c = F_c \cdot \rho \quad (4)$$

где ρ – радиус звезды, F_c – сила сопротивления.

Для исправления этого недостатка возможно использовать звездочку в форме эллипса. Форму эллипса необходимо подобрать таким образом, чтобы радиус кривизны в любой точке компенсировал изменение усилия на рычаге. Т.е. должно выполняться условие:

$$F_c \cdot \rho - F \cdot l \cdot \cos(\varphi) = const \quad (5)$$

Откуда

$$\rho = \frac{F \cdot l \cdot \cos(\varphi) + const}{F_c} \quad (6)$$

Примем максимальное значение ρ равным радиусу стандартной звезды и построим график изменения ρ в полярных координатах на участке от 90 до 270 градусов (рисунок 3).

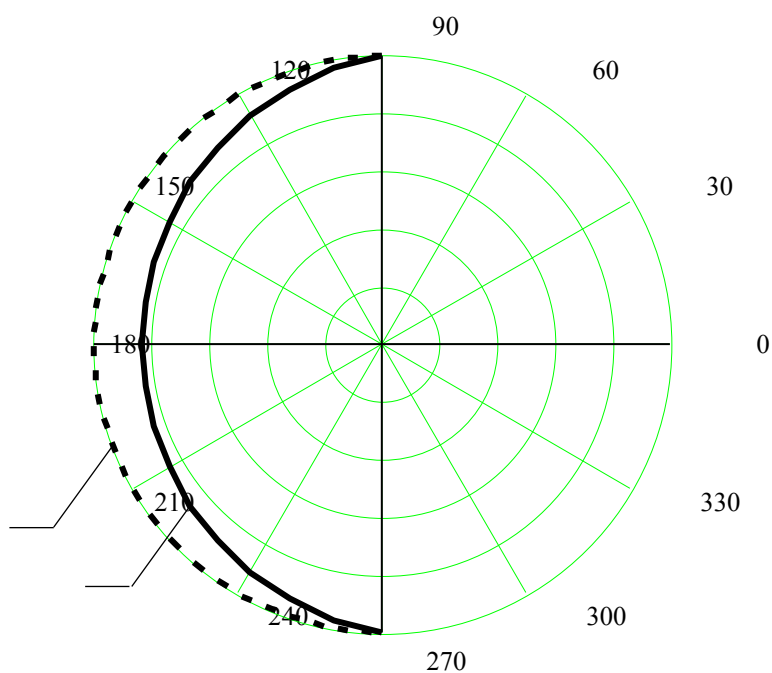


Рисунок 3 – График изменения ρ в полярных координатах
1 – эллипсоидная звезда, 2 – стандартная звезда

В зависимости от прикладываемого к рычагу усилия эффективность эллипсоидной звезды варьируется от 7 до 20%. Чем больше усилие, тем эффективнее применение звезды эллипсоидной формы. В

связи с чем выпуск овальных звезд больше направлен на гоночные модели велосипедов.

Таким образом, можно установить, что при применении звезды эллипсоидной формы достигается более равномерное распределение нагрузок – снижение их при горизонтальном положении «шатунов» и увеличение при вертикальном. А к недостаткам можно отнести дополнительные нагрузки на вал каретки.

М. В. Маркова
(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **Д. В. Леоненко**, д-р физ.-мат. наук, доцент

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ КРУГОВОЙ ТРЁХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Актуальность исследования трёхслойных элементов конструкций обусловлена весьма выгодным сочетанием в них прочности и жёсткости при минимуме веса самого элемента.

Имеющиеся на сегодняшний день исследования трёхслойных пластин относятся к пластинам постоянной толщины [1, 2]. Мы же рассматриваем работу пластины переменной толщины, в которой толщина внешних несимметричных друг другу слоёв задаётся некоторой функцией ($h_1 = h_1(r)$ и $h_2 = h_2(r)$), а срединный наполнитель имеет постоянную толщину ($h_3 = \text{const}$).

Круговая трёхслойная пластина нагружена осесимметричной вертикальной внешней нагрузкой $q = q(r, t)$, в результате чего в пластине возникает прогиб $w = w(r, t)$, относительный сдвиг в наполнителе $\psi = \psi(r, t)$ и радиальное перемещение координатной поверхности $u = u(r, t)$.

Построение механико-математической модели колебаний рассматриваемой пластины базировалось на гипотезе ломаной нормали и вариационном принципе Гамильтона. Согласно гипотезе ломаной нормали, для тонких внешних слоёв обшивки пластины справедлива гипотеза Кирхгофа, а для толстого срединного наполнителя – гипотеза Тимошенко [3]. Согласно вариационному принципу Гамильтона, переход системы из одного возможного состояния в другое за любой

промежуток времени происходит таким образом, что функционал действия по Гамильтону принимает стационарное значение [4].

Предполагая, что связь напряжений и деформаций в слоях пластины описывается соотношениями линейной теории упругости, мы получили систему дифференциальных уравнений, описывающую колебания трёхслойной пластины переменной толщины через перемещения,

$$\begin{aligned}
& a_1^+ L_2(u) + a_2^+ L_2(\psi) - a_3^+ L_2(w_{,r}) + a_{1,r}^+ u_{,r} + a_{2,r}^+ \psi_{,r} - a_{3,r}^+ w_{,rr} + \\
& + a_{1,r}^- \frac{u}{r} + a_{2,r}^- \frac{\psi}{r} - a_{3,r}^- \frac{w_{,r}}{r} - M_1 \ddot{u} - M_2 \ddot{\psi} + M_3 \dot{w}_{,r} = 0; \\
& a_2^+ L_2(u) + a_4^+ L_2(\psi) - a_5^+ L_2(w_{,r}) + a_{2,r}^+ u_{,r} + a_{4,r}^+ \psi_{,r} - a_{5,r}^+ w_{,rr} + \\
& + a_{2,r}^- \frac{u}{r} + a_{4,r}^- \frac{\psi}{r} - a_{5,r}^- \frac{w_{,r}}{r} - M_2 \ddot{u} - M_4 \ddot{\psi} + M_5 \dot{w}_{,r} = 0; \\
& a_3^+ L_3(u) + a_5^+ L_3(\psi) - a_6^+ L_3(w_{,r}) + \\
& + 2a_{3,r}^+ L_2(u) + 2a_{5,r}^+ L_2(\psi) - 2a_{6,r}^+ L_2(w_{,r}) + \\
& + \left(a_{3,rr}^+ + \frac{a_{3,r}^-}{r} \right) u_{,r} + \left(a_{5,rr}^+ + \frac{a_{5,r}^-}{r} \right) \psi_{,r} - \left(a_{6,rr}^+ + \frac{a_{6,r}^-}{r} \right) w_{,rr} + \\
& + \left(a_{3,rr}^- + \frac{a_{3,r}^+}{r} \right) \frac{u}{r} + \left(a_{5,rr}^- + \frac{a_{5,r}^+}{r} \right) \frac{\psi}{r} - \left(a_{6,rr}^- + \frac{a_{6,r}^+}{r} \right) \frac{w_{,r}}{r} - \\
& - \left(M_{3,r} + \frac{M_3}{r} \right) \ddot{u} - \left(M_{5,r} + \frac{M_5}{r} \right) \ddot{\psi} + \left(M_{6,r} + \frac{M_6}{r} \right) \dot{w}_{,r} - \\
& - M_3 \ddot{u}_{,r} - M_5 \ddot{\psi}_{,r} + M_6 \dot{w}_{,rr} - M_1 \dot{w} = -q,
\end{aligned}$$

здесь a_i^\pm – коэффициенты, зависящие от упругих свойств материалов и толщины слоёв пластины;

$$\begin{aligned}
L_2(g) &\equiv \left(\frac{1}{r} (rg)_{,r} \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}; \\
L_3(g) &\equiv \frac{1}{r} (rL_2(g))_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}.
\end{aligned}$$

Литература

1. Леоненко, Д. В. Свободные колебания круговых трёхслойных пластин на упругом основании / Д. В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2008. – Т. 5, № 3. – С. 42–47.
2. Starovoitov, E. I. Vibrations of round three-layer plates under the action of distributed local loads / E. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, A. V. Yarovaya // Strength of Materials. – 2002. – Т. 34, № 5. – С. 474–481.
3. Старовойтов, Э. И. Основы теории упругости, пластичности и вязкоупругости : учеб. для студентов строительных спец. вузов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2001. – 344 с.
4. Новацкий, В. Теория упругости / В. Новацкий. – Москва : Мир, 1975. – 872 с.

А. О. Николаев

(БГУ, Минск)

Науч. рук. С. Н. Семенович, канд. техн. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАХОВИЧНОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКА

Введение. Для выполнения орбитальных задач наноспутнику необходимо обладать системой ориентации и стабилизации (СОС) с заданными характеристиками по точности удержания угла ориентации и скорости стабилизации. В работе представлена математическая модель и результаты исследования натурной модели – электронного макета активной СОС на основе 4-х маховиков для наноспутника в форм-факторе CubeSat.

Описание алгоритма. Исследуемый алгоритм одноосной ориентации и стабилизации представляет из себя PD-регулятор, описываемый следующим уравнением:

$$\mathbf{M} = -\mathbf{k}_w * \Delta\omega - \mathbf{k}_\varphi * \Delta\varphi \quad (1)$$

где \mathbf{M} – управляющий момент создаваемый маховиками, $\Delta\omega$ и $\Delta\varphi$ – разность между заданными скоростью и углом ориентации и текущими их значениями, \mathbf{k}_w , \mathbf{k}_φ – коэффициенты пропорциональности.

В работе [1] приведен анализ динамики подобной линейной системы и показано, что коэффициенты связаны уравнениями:

$$k_w = 2J_s v \xi \quad (2)$$

$$k_\varphi = v^2 J_s \quad (3)$$

где J_s – момент инерции, v – собственная частота системы (находится экспериментально); ξ – безразмерный коэффициент демпфирования. Аналитическое значение $\xi = 2\sqrt{2}$ обеспечивает минимальную длительность переходных процессов.

Динамика и кинематика вращения. Одноосное вращение наноспутника на струнном подвесе можно описать уравнением:

$$M = d(J_s w)/dt \quad (4)$$

где M – действующий на спутник момент сил, J_s – момент инерции относительно заданной оси, w – угловая скорость.

Структура системы ориентации. В данной работе моделируется четырех-маховичная СОС, оси вращения маховиков расположены соосно с ребрами правильной четырехугольной пирамиды, углы наклона боковых ребер 55° (рисунок 1). Структуру СОС можно описать через матрицу расположения:

$$A = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4] \quad (5)$$

$$M = A * [M_1 \ M_2 \ M_3 \ M_4]^T \quad (6)$$

где a_i – единичный вектор оси i -го маховика, M_i – момент i -го маховика, M – полный вектор механического момента СОС.

В работе моделируется момент вдоль оси вращения. В силу наличия четырех маховиков, момент может быть создан различными комбинациями вращений, ограничимся режимом с одинаковой скоростью и направлением вращения. Этот режим обеспечит суммирование моментов вдоль оси Z и взаимное гашение момента вдоль других направлений. В модели учитывается ограничение по максимальной скорости вращения маховиков (7000 об/мин).

В качестве обратной связи алгоритма по скорости и направлению в электронном макете использовались микромеханические датчики – гироскоп и магнитометр, которым свойственна погрешность измере-

ний. В работе была проведена оценка распределения измерительных данных для покоящихся магнитометра и гироскопа ($\pm 3\sigma=8$ °/с и $\pm 3\sigma=0,25$ °/с) и погрешность удержание частоты вращения маховиков ($\pm 3\sigma=220$ об/мин), которая может приводить к колебаниям механического момента. Эти факторы учитываются в модели с помощью случайных функций с равномерным распределением.

Результаты моделирования. Моделирование выполнялось в среде MatLab. На рисунке 2 представлены режимы работы алгоритма с использованием модели и макета СОС на струнном подвесе, с идентичными коэффициентами и моментами инерции.

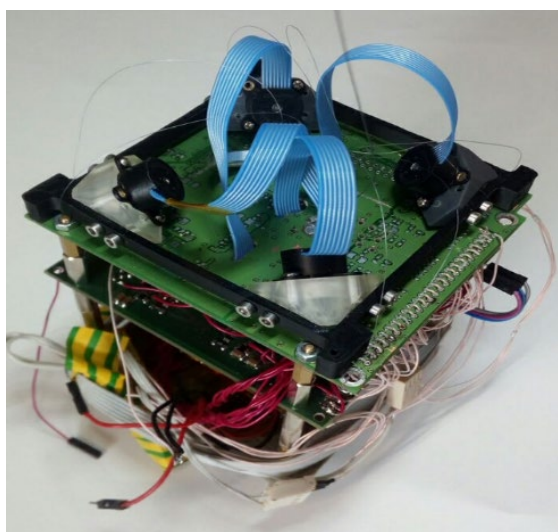


Рисунок 1 – Макет СОС

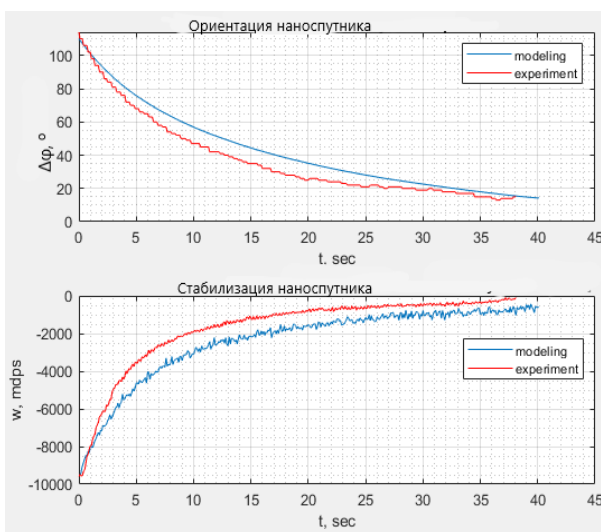


Рисунок 2 – Режимы алгоритма

Коэффициенты выбираются по формулам (2) и (3) с вариацией ν . Для макета спутника с экспериментально определенным собственным моментом инерции $J_s = 6,59 \cdot 10^{-4}$ кг*м² и моментом инерции одного маховика $J_w = 1,94 \cdot 10^{-7}$ кг*м² был выбран коэффициент $\nu = 0,2$. Полученные коэффициенты позволяют выполнить задачу ориентации и стабилизации макета примерно за 40 секунд (рисунок 3). Итоговая погрешность наведения $\pm 0,5^\circ$ при уровне стабилизации $\pm 0,4^\circ/\text{сек}$.

Заключение. Моделирование стабилизации и ориентации наноспутника существенно упрощает выбор коэффициентов для созданного PD-регулятора, наглядно и быстро демонстрирует работу системы с заданными параметрами, а также позволяет оценить качество выполнения поставленной задачи. Натурный эксперимент подтвердил работоспособность созданной модели алгоритма.

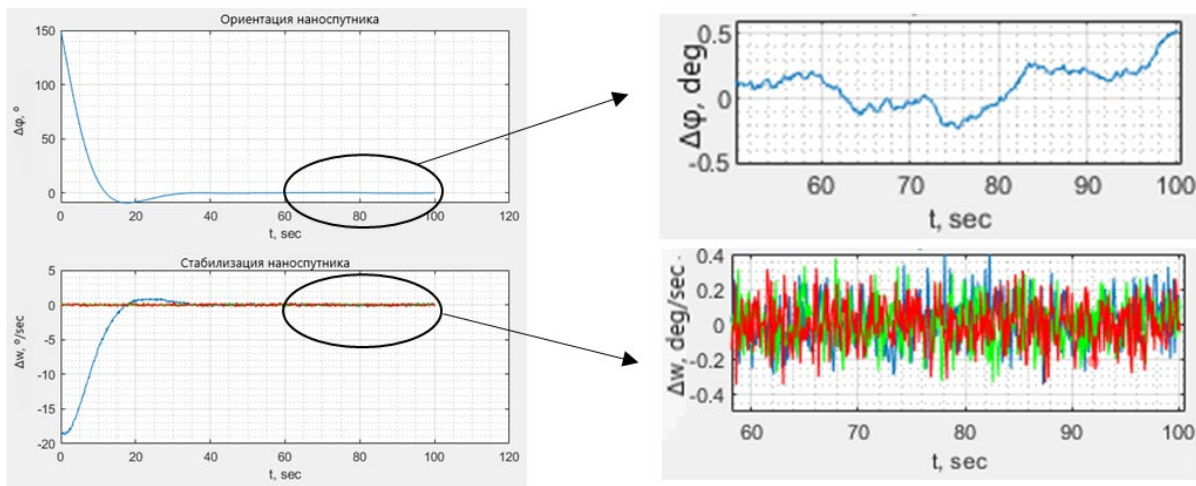


Рисунок 3 – Графики моделирования поворота и стабилизации макета

Литература

1. Васильев В. Н. Системы ориентации космических аппаратов / В. Н. Васильев. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 310 с.
2. Spacecraft Dynamics and Control: The Embedded Model Control Approach/ Enrico Canuto, Carlo Novara, Donato Carlucci, Carlos Perez Montenegro, Luca Massotti. – 1st ed. – Butterworth-Heinemann, 2018. – 790 p.

А. Ю. Никонович

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЭКРАНИРОВАНИЕ СИМВОЛОВ В JAVA

Строка – это последовательность символов. Эти символы могут быть любыми буквами, цифрами, знаками препинания и так далее. Главное при создании строки – вся последовательность должна быть заключена в кавычки.

Но что делать, если нужно создать строку, которая сама должна содержать кавычки? Например:

```
public class main {
    public static void main(String[] args) {
        String myFavoriteBook = new String ("My favorite book is "Fire and
        blood " by George R.R. Martin");
```

```
}  
}
```

Кажется, что компилятор чем-то недоволен и выдаёт ошибку. На самом деле все очень просто. Компилятор интерпретирует кавычки очень специфическим образом, то есть ожидает, что в них будут заключены строки. И каждый раз, когда компилятор видит ", он ожидает, что за кавычками последует вторая кавычка, и что содержимое между ними будет текстом строки, которая будет создана компилятором. В данном случае кавычки вокруг фразы «Fire and Blood» заключены в другие кавычки. Когда компилятор достигает этого фрагмента текста, он просто не понимает, что должен делать. Кавычки предполагают, что строка должна быть создана. Но это то, что компилятор уже делает! И вот почему: попросту говоря, компилятор не понимает, что от него ожидается.

Для этого в Java используется экранирование символов. Это достигается с помощью специального символа: \. Данный символ обычно называют «обратной косой чертой». В Java, обратная косая черта в сочетании с символом, который нужно «экранировать», называется управляющей последовательностью. Например, \ " – это управляющая последовательность для отображения кавычек на экране. Обнаружив эту конструкцию в коде, компилятор поймет, что это всего лишь кавычка, которая должна отображаться на экране.

Попробуем изменить код:

```
public static void main(String[] args) {  
    String myFavoriteBook = new String ("My favorite book is \"Fire and  
    Blood\" by George R.R. Martin ");  
    System.out.println(myFavoriteBook);  
}
```

Вывод в консоль:

My favorite book is "Fire and Blood" by George R.R. Martin

Кавычки ни в коем случае не единственные символы, которые нам нужно избегать:

```
public class main {  
    public static void main(String[] args) {  
        String workFiles= new String ("My work files are in D:\Work Pro-  
        jects\java");  
        System.out.println(workFiles);  
    }  
}
```

Еще одна ошибка! И снова компилятор не понимает, что делать. Ведь компилятор не знает о символе \ ничего, кроме управляющей последовательности! Ожидается, что за обратной косой чертой будет следовать определенный символ, который он должен интерпретировать особым образом (например, кавычки). Но в этом случае за \ следуют обычные буквы. Итак, компилятор снова запутался. Что необходимо делать? Точно так же, как и раньше: просто добавляем еще один символ \ к уже имеющемуся \.

```
public class Main {  
  
    public static void main(String[] args) {  
  
        String workFiles= new String ("My work files are in D:\\Work Pro-  
jects\\java");  
        System.out.println(workFiles);  
  
    }  
}
```

Посмотрим, что получится. Вывод в консоль:

My work file are in D: \ Work Projects \ java

Компилятор сразу определяет, что \ – обычные символы, которые должны отображаться вместе с остальными.

В Java довольно много управляющих последовательностей. Вот полный список:

- \ t – таб;
- \ b – backspace (шаг назад по тексту или удаление одного символа);
- \ n – новая строка;
- \ r – возврат каретки;
- \ f – подача формы;
- \ ' – одинарная кавычка;
- \ " – двойная кавычка.

Таким образом, если компилятор встречает \ n в тексте, он понимает, что это не просто символ и буква для отображения на консоли, а, скорее, специальная команда «перейти на новую строку».

Литература

1. Bloch, J. Effective Java, 3rd edition / J. Bloch. – Addison-Wesley Professional, 2017. – 416 p.

А. В. Павленко

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Ю. А. Гришечкин**, канд. физ.-мат. наук, доцент

**РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ЛОГУНОВА–ТАВХЕЛИДЗЕ
С СЕПАРАБЕЛЬНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ
В ДВУМЕРНОМ СЛУЧАЕ**

Уравнение Логунова-Тавхелидзе, описывающее связанные состояния двух скалярных частиц одинаковой массы m , в двумерном импульсном представлении имеет следующий вид:

$$(E^2 - E_p^2) \psi(\mathbf{p}) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int V(\mathbf{p}, \mathbf{k}) \psi(\mathbf{k}) \frac{m}{E_k} d^2 \mathbf{k}, \quad E_p = \sqrt{\mathbf{p}^2 + m^2}, \quad (1)$$

где $0 < 2E < 2m$ – энергия двухчастичной системы, \mathbf{p} – относительный импульс в системе центра масс, $\psi(\mathbf{p})$ – волновая функция, $V(\mathbf{p}, \mathbf{k})$ – релятивистский потенциал.

В полярных координатах представим искомую волновую функцию $\psi(\mathbf{p})$ и потенциал $V(\mathbf{p}, \mathbf{k})$ в форме [1, 2]

$$\psi(\mathbf{p}) = \frac{1}{\sqrt{p}} \sum_{\mu=-\infty}^{\infty} \psi_{\mu}(p) \exp(i\mu\varphi), \quad V(\mathbf{p}, \mathbf{k}) = \sum_{\mu=-\infty}^{\infty} V_{\mu}(p, k) \exp(i\mu\gamma), \quad (2)$$

где $\psi_{\mu}(p)$ – парциальная волновая функция, $V_{\mu}(p, k)$ – парциальный потенциал, $p = |\mathbf{p}|$, φ – угол в полярной системе координат, γ – угол между векторами \mathbf{p} и \mathbf{k} . Подстановка ряда (2) в (1) приводит к интегральному уравнению для парциальной волновой функции

$$(E^2 - E_p^2) \psi_{\mu}(p) = \frac{\sqrt{p}}{(2\pi)^2} \int_0^{\infty} \sqrt{k} V_{\mu}(p, k) \frac{m}{E_k} \psi_{\mu}(k) dk. \quad (3)$$

Парциальный потенциал в импульсном представлении связан с двумерным потенциалом в координатном представлении $V(\rho)$ следующим интегральным соотношением [2]:

$$V_{\mu}(p, k) = 2\pi \int_0^{\infty} \rho J_{\mu}(p\rho) V(\rho) J_{\mu}(k\rho) d\rho, \quad (4)$$

где $J_{\mu}(z)$ – функция Бесселя [3]. В данной работе мы рассматриваем δ –потенциал в координатном представлении

$$V(\rho) = -\lambda\delta(\rho - a), \quad (5)$$

где $\lambda > 0, a > 0$ – константы. Подставив (5) в (4) и проинтегрировав, получим следующее выражение для парциального потенциала в импульсном представлении

$$V_{\mu}(p, k) = -\lambda 2\pi a J_{\mu}(pa) J_{\mu}(ka). \quad (6)$$

Потенциал (6) является сепарабельным. Подстановка (6) в (3) позволяет преобразовать интегральное уравнение к следующему выражению:

$$\psi_{\mu}(p) = C \frac{\lambda a}{2\pi} \sqrt{p} \frac{J_{\mu}(pa)}{E_p^2 - E^2}, \quad C = \int_0^{\infty} \sqrt{k} \frac{m}{E_k} J_{\mu}(ka) \psi(k) dk. \quad (7)$$

Для получения условия квантования энергии двухчастичной системы умножим равенство (7) на выражение $\sqrt{p} \frac{m}{E_p} J_{\mu}(pa)$ и проинтегрируем его на интервале $p \in [0; \infty)$. В результате получим равенство

$$1 = \frac{\lambda a}{2\pi} \int_0^{\infty} p \frac{J_{\mu}^2(pa)}{E_p^2 - E^2} \frac{m}{E_p} dp, \quad (8)$$

которое, является условием квантования энергии двухчастичной системы. На рисунке 1 (а) приведены парциальные волновые функции для $\mu = 0$ и различных значений параметров a, λ . Для нормировки приведенных на рисунке волновых функций мы использовали следующее нерелятивистское выражение [1, 4]:

$$\int_0^{\infty} \psi_{\mu}^2(p) dp = 1. \quad (9)$$

На рисунке 1 (б) приведены графики зависимости энергии от величины параметра λ для трех различных значений параметра a . В ходе выполнения вычислений мы полагали, что $m = 1$.

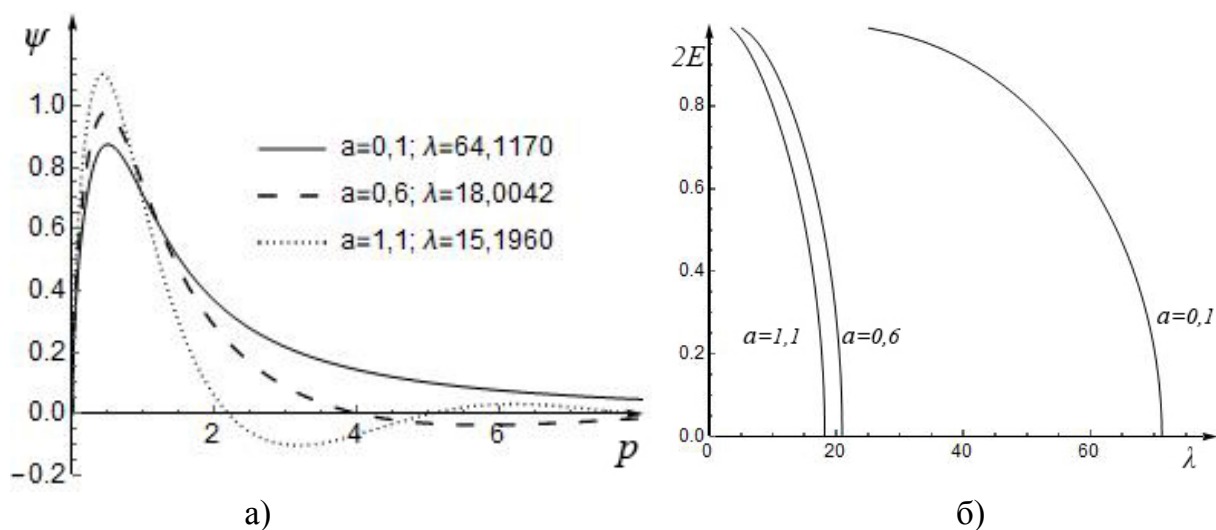


Рисунок 1 – а) волновые функции; б) условие квантования энергии

На рисунке 1 (а) показано, что с ростом параметра a максимумы и минимумы волновых функций смещаются влево вдоль оси op . На рисунке 1(б) видно, что при больших значениях параметра a система двух релятивистских частиц, будет существовать в связанном состоянии при меньших значениях параметра λ .

Литература

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория). – 6-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2004. – 800 с.
2. Ктиторов, С. А. Рассеяние электронов в монослойном графене: модель кольцеобразной ямы / С. А. Ктиторов., Н. Е. Фирсова // Физика твердого тела. – 2011 г. – Т. 53. – Вып. 2. – С. 384–388.
3. Arfken, G. Mathematical methods for physicists / G. Arfken, H. Weber, F. Harris – 7-th ed. – San Diego: Academic Press, 2012. – 1205 p.
4. Флюгге, З. Задачи по квантовой механике: в 2 т. / З. Флюгге. – 3 изд. – Москва: ЛКИ, 2010. – Т. 1. – 344 с.

А. С. Пимошенко
(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **В. О. Васюкова**, ассистент

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИБОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ГИБКЕ

Гибка – это используемая в листовой штамповке технологическая операция, в процессе которой за счет штампования получают изогнутую пространственную деталь из плоской или изогнутой заготовки. Существует множество видов гибки. Эти виды зависят от: контура изделия; изначальной заготовки; ориентирования заготовки; и других факторов. Также к гибке относится и операция по закатке.

Гибка способна одновременно производиться с другими операциями, при этом не мешая друг-другу. Примером таких операций могут быть: вырубка, пробивка, отрезка. Для гибки используется специализированное оборудование: кривошипные прессы, гидропрессы, специальные гибочные станки-автоматы, горизонтально-гибочные машины.

Существуют разные виды изгибов. Все изгибы делятся на виды, зависящие от характера примененных деформаций к изделию, имеющих место по толщине изгибаемой заготовки на разных стадиях деформирования:

- упругий;
- пластический;
- упруго-пластический;

Пластический и упруго-пластический изгибы могут быть как с упрочнением, так и без него.

При проведении технологической операции гибки над изделием, сперва возникают упругие, а затем пластические деформации в зоне произведенного изгиба. В следствие чего заготовка приобретает значительные прогибы, которые сохраняются после снятия внешних нагрузок.

В процессе гибки заготовка имеет различные очаги деформации. Очаг деформации – угол гибки, вблизи которого происходит деформация. В процессе гибки слои металла, расположенные у внутренней стороны поверхности, испытывают сжатие в продольном направлении, а также растяжение в поперечном направлении. Слои, которые расположены у внешней поверхности, испытывают сжатие в поперечном направлении, а растяжение в продольном. Также в результате

гибки имеется и нейтральный слой, который расположен между сжатым и растянутым слоями. Положение этого слоя определяется радиусом кривизны p . При гибке, толстого материала, у наружной поверхности ширина полосы уменьшается, а у внутренней увеличивается. Данный процесс называют уширением заготовки.

Напряженно-деформированное состояние металла зависит от отношения внутреннего радиуса изгибаемой заготовки (r) к ее толщине (s). При этом если:

$(r/s) > 5$ – деформация металла происходит в условиях линейного изгиба;

$(r/s) < 5$ – учитывается отношение ширины заготовки (b) к ее толщине (s).

В процессе гибки широких или узких полос может быть различное объемное напряженно-деформированное состояние металла.

Плоско-напряженное и объемно-деформированные состояния металла возникают в процессе гибки узких полос ($b < 3s$), имеющих достаточную толщину металла. Объемно-напряженное и плоско-деформированное состояние металла возникает в процессе гибки широких полос ($b > 3s$). Это связано с тем, что в процессе гибки возникает поперечное напряжение (σ_z), возникающие из-за того, что в процессе гибки широких полос поперечная деформация вдоль линии изгиба является затруднительной.

Зачастую, чтобы четко оформить угол, используется калибрующий удар. В результате такого удара напряженное состояние деформированного металла резко изменяется. В этом случае места, которые находятся под давлением пуансона, имеют напряженное состояние всестороннего неравномерного сжатия.

Е. Д. Пискунова

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **И. В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ПРОГРАММЕ BLENDER НА ПРИМЕРЕ МОЛЕКУЛЫ ДНК

Для создания 3D модели молекулы ДНК использована программа Blender (версия 2.90.1) – профессиональное свободное и открытое программное обеспечение для создания трёхмерной компьютерной графики, включающее в себя средства моделирования, скульптинга,

анимации, симуляции, рендеринга, постобработки и монтажа видео со звуком, компоновки с помощью «узлов», а также создания 2D анимации.

Выбрана именно эта программа для моделирования, так как она многофункциональная, бесплатная, при хорошем знании английского языка достаточно хорошо интуитивно понятна, написана на современных языках программирования (C, C++, Python), а также, при необходимости, предоставляет возможность написания своих скриптов.

Интерфейс программы с проектом модели ДНК показан на рисунке 1.

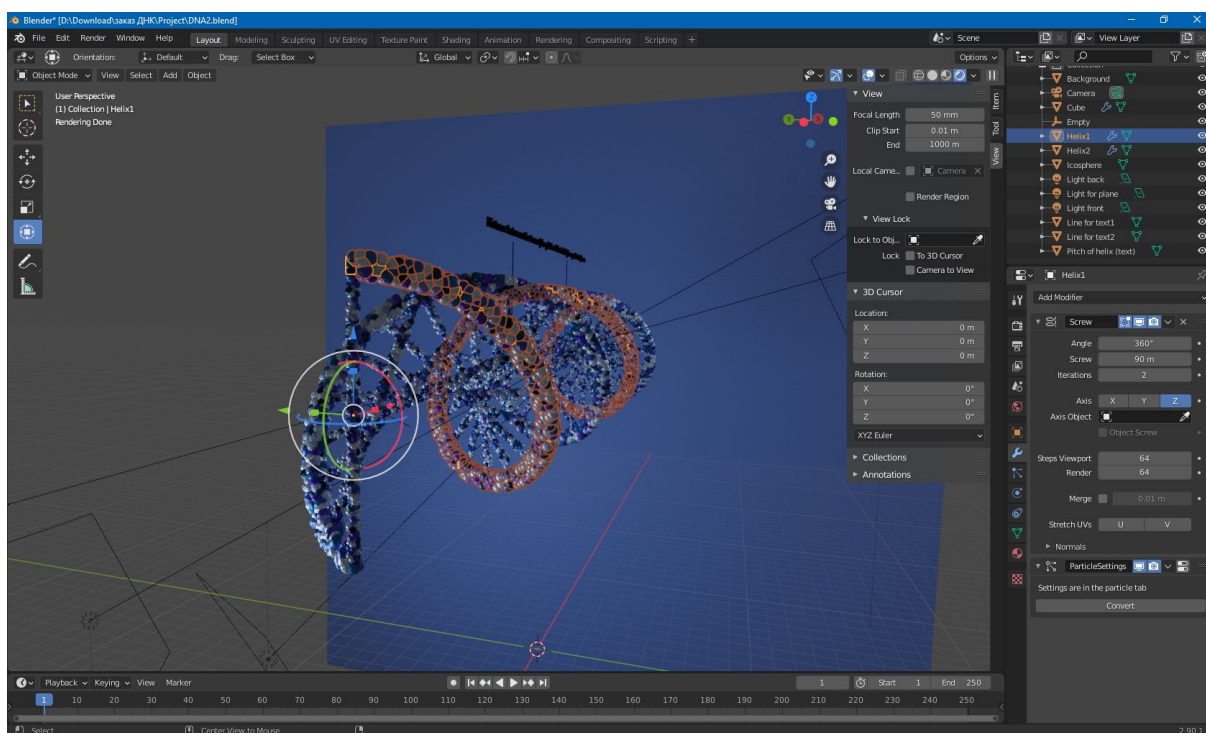


Рисунок 1 – Интерфейс программы Blender

В программе есть много различного функционала, кнопок, упрощающих работу с моделями. Огромное количество функций скрыто под отдельными разделами в панели управления на экране сверху, также полезны сочетания клавиш (Modeling, Sculpting, UV Editing, Texture Paint, Shading, Animation, Compositing, Scripting).

Справа на экране в программе можно увидеть столбец значков-кнопок. При нажатии на любой из них открываются определённые виды свойств и характеристик, которые можно применять к различным объектам, от создания окружающего пространства (мира) и постановки света, до работы с частицами.

В Blender также можно совмещать структуры и материалы с созданными моделями и их частями (в разделе Shading), а также придавать им физические свойства.

Чтобы максимально точно воссоздать реальную физическую модель молекулы ДНК, при создании 3D модели была использована большая часть этого функционала (рисунок 2).

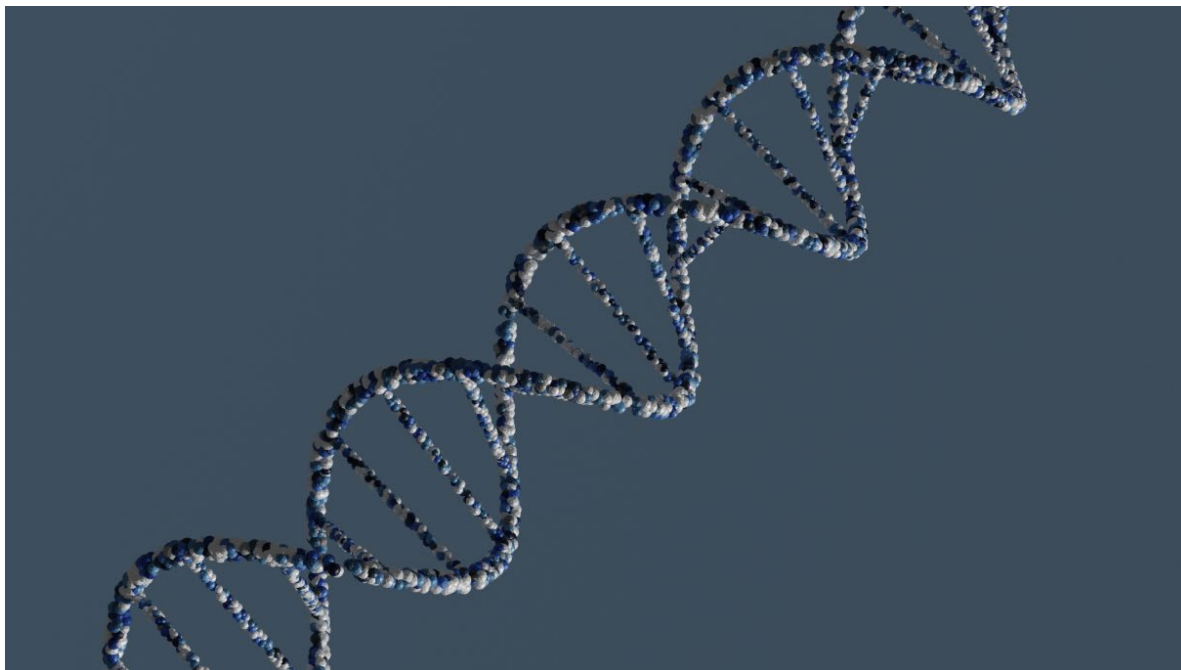


Рисунок 2 – 3D модель двойной спирали молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), спроектированной в программе Blender

Данная модель молекулы ДНК может быть использована при проектировании различных физических и биологических процессов, таких как: репликация молекулы (расщепление молекулы на две дочерние), образование связей между азотистыми основаниями, повреждение молекулы, суперскрученность спиралевидной молекулы, добавление или удаление различных образований, контроль последовательности соединений нуклеотидов, генетическая рекомбинация и др.

Программа Blender может быть применена для создания любой модели или объекта и дальнейшего её внедрения в проекты различной сложности. Возможно использование программы для моделирования процесса идеального компьютерного эксперимента определенной сложности, применения компьютерных моделей на производствах различного типа, от медицины до авиастроения и астрофизики.

М. В. Ритарева

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ В ПАКЕТЕ GEANT4

Более 30 лет тому назад было обнаружено значительное превышение выхода прямых мягких (менее 50 МэВ) фотонов в адронных и ядерных взаимодействиях на ускорителях в широком энергетическом интервале. До сих пор не существует исчерпывающего объяснения и понимания этого явления. Для изучения этого феномена, загадки повышенного выхода мягких фотонов, в ЛФВЭ предложена большая физическая программа, для выполнения которой необходимо изготовить специальный электромагнитный калориметр с низким порогом регистрации.

Целью проекта является разработка на базе пакета GEANT4 модели электромагнитного калориметра методом Монте-Карло типа «шашлык» с заменой кристалла ГаГГ на LYSO с такой же конфигурации калориметра для изучения прохождения мягких фотонов через вещество калориметра и последующей регистрации их энерговыделения.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. на базе программного модуля GEANT4 создать компьютерную модель гетерогенного калориметра;
2. спроектировать и собрать электромагнитного калориметра типа «шашлык»;
3. провести обработку полученных данных.

В данной работе выполнено МК моделирование процессов электромагнитного взаимодействия элементарных частиц в калориметре для определения энергетического разрешения при регистрации мягких фотонов.

Компьютерная модель калориметра включает в себя:

1. пучок мягких фотонов с энергией меньше 50 МэВ;
2. мишень, состоящая из чередующихся кристаллов и поглотителя;
3. детектор, который измеряет энерговыделение мягких фотонов.

Первичные фотоны взаимодействуют с мишенью. В результате электромагнитных взаимодействий в калориметре они создают при прохождении LYSO (сцинтиллятора) электромагнитный ливень, теряя

при этом энергию в виде излучения. Собирая фотоумножителями часть световой энергии, можно оценить энергию падающего фотона.

ПО содержит счетчики, которые собирают эту энергию и измеряют длину пробега в этом калориметре. Многократные испытания, разыгрываемые случайным образом, позволяют накопить необходимую статистику и выполнить анализ данного эксперимента.

Для данной компьютерной модели в качестве материала для калориметра был выбран кристалл LYSO. В таблице 1 представлены характеристики кристалла.

Таблица 1 – Сравнение свойств сцинтиллятора

Характеристики	BGO	LYSO
Световыход, фотон/кэВ(%)	8-10(20)	32(75)
Температурный коэффициент световыхода, %/°C	-1,2	0,04
Плотность, г/см ³	7,13	7,1
Радиационная длина, см	1,12	1,1
Постоянная времени спада, нс	300	41
Коэффициент преломления в максимуме спектра эмиссии, нм	2,15	1,81
Энергетическое разрешение на линии 622 кэВ, %	9,5-12	7-11

Мы использовали для «шашлыка» 28 пластин LYSO (100Ч100Ч3мм³) и 27 пластин поглотителя 2-мм с одинаковым соотношением компонентов W / Cu и одинаковым поперечным сечением самой пластины. Чередуя пластины кристалла и поглотителя, общая толщина прототипа составила 111 мм.

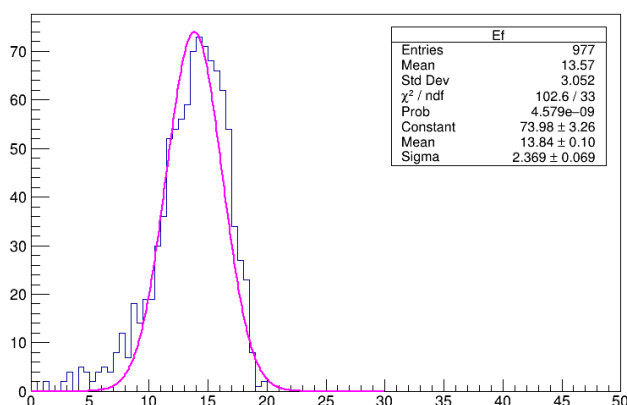


Рисунок 1 – Распределение по энергосодержанию в кристаллах LYSO при прохождении через калориметр фотонов с E=20 MeV

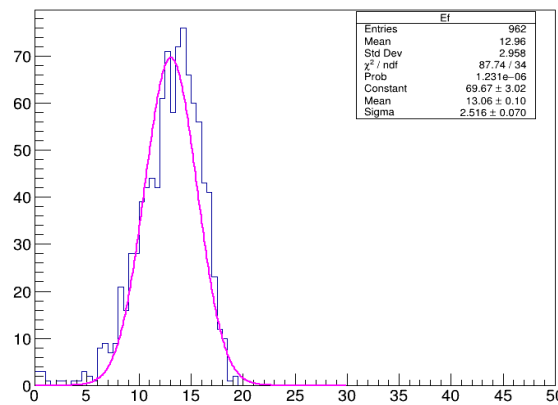


Рисунок 2 – Распределение по энергосодержанию в кристаллах ГаГГ при прохождении через калориметр фотонов с E=20 MeV

Для 1000 частиц мы рассмотрим энергоразрешение кристалла при разных энергиях.

В результате проделанной работы был изучен процесс моделирования в пакете Geant4 на Linux; изучены правила оформления и процесс построения модели; разработана геометрическая модель и взаимодействие с ней элементарных частиц; построены графики распределения по энергосодержанию в кристаллах LYSO(ГаГГ) при прохождении через калориметр фотонов с $E < 50$ MeV; вычислено энергетическое разрешение для кристаллов при разных энергиях.

Таблица 2 – Энергетическое разрешение для кристаллов при разных энергиях

Кристалл	E, MeV	Энергетическое разрешение
LYSO	20	11,84
	30	11,44
	40	9,66
	50	8,33
ГаГГ	20	12,58
	30	10,71
	40	8,95
	50	8,81

Литература

1. Geant4 software licence [Electronic recourse] : – Mode of access: <http://geant4.web.cern.ch/geant4/license/LICENSE.html>, – Date of access: 20.02.2021.

2. Geant4 : A toolkit for the simulation of the passage of particles through matter [Electronic recourse] : – Mode of access: <http://geant4.cern.ch>. – Date of access: 22.02.2021.

3. Демичев, М. Компьютерное моделирование физических процессов в детекторах с использованием пакета Geant4 [Текст] : тез. лекции / М. Демичев, А. Жемчугов; Дубна: ОИЯИ, 2008 г.

4. Physics Reference Manual [Текст] : руководство / Geant4 Collaboration; 2007 г.

5. Geant4 [Electronic recourse]: – Mode of access: <http://GEANT4.cern.ch/> - Date of access: 01.02.2021.

6. Geant4 - a simulation toolkit/ S. Agostinelli et al. / Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 2003. – A 506. – 250-303.

7. Introduction to Geant4 [Electronic resource] – Mode of access: <http://geant4userdoc.web.cern.ch/geant4userdoc/UsersGuides/IntroductionToGeant4/html/index.html>. --Date of access:01.02.2021.

8. Geant4 User's Guide for application developers [Electronic resource]. – URL: <https://mirror.yandex.ru/gentoodistfiles/distfiles/BookForAppliDev-4.10.0.pdf>. – Date of access: 01.02.2021.

9. Full working example on Geant4 with visualization [Electronic resource] – URL: <https://dev.asifmoda.com/geant4/rabochij-primer>. – Date of access: 04.02.2021.

А. А. Садовский

(ГГУ имени Ф. Скорины, ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук.: **А. А. Панков**, д-р физ.-мат. наук, профессор,

А. А. Бабич, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЭКСТРЕМУМЫ ФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДАЕМЫХ ВЕЛИЧИН В ПРОЦЕССЕ АННИГИЛЯЦИОННОГО РОЖДЕНИЯ МЮОННЫХ ПАР

Исследованы энергетические зависимости двух физических наблюдаемых величин – сечения рассеяния и асимметрии вперед-назад, в процессе аннигиляционного рождения мюонных пар в области энергии исходных электрон-позитронных пучков, достижимых на будущем циркулярном коллайдере FCC-ee. Впервые получены точные аналитические выражения для экстремумов физических наблюдаемых величин в окрестности резонансного пика стандартного Z-бозона. Показано, что количественные расчеты энергетических поведений, наблюдаемых в точности, воссоздают их аналитические предсказания. Кроме того, показано, что экспериментальное исследование экстремумов в энергетическом поведении наблюдаемых на коллайдере FCC-ee позволит не только осуществить прецизионную проверку Стандартной модели элементарных частиц (СМ), но и получить указания на существование «новой» физики, обобщающей Стандартную модель.

Дифференциальное эффективное сечение электрон-позитронной аннигиляции в пару фермионов $e^+e^- \rightarrow ff$ для неполяризованных начальных пучков может быть записано в борновском приближении:

$$\frac{d\sigma_{ff}}{d\cos\theta} = \frac{\pi\alpha_{e.m.}^2}{2s} \left[(1 + \cos^2\theta) F_1 + 2\cos\theta F_2 \right]. \quad (1)$$

где θ – угол рассеяния между направлением движения начального электрона и вылетающего фермиона f . Кроме того, функция F_1 в СМ зависит от констант связи и пропагатора Z -бозона.

Полное сечение рассеяния и асимметрия вперед–назад определяются следующим образом [1–3]:

$$\sigma_{\mu\mu} = \int_{-1}^1 \frac{d\sigma_{\mu\mu}}{d\cos\theta} d\cos\theta = \sigma_{pt} F_1, \quad (2)$$

где $\sigma_{pt} \equiv \sigma(e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow \mu^+\mu^-) = (4\pi\alpha_{e.m.}^2)/(3s)$.

$$A_{FB} = \frac{\sigma_{FB}}{\sigma_{\mu\mu}} \equiv \frac{\sigma_{\mu\mu}^F - \sigma_{\mu\mu}^B}{\sigma_{\mu\mu}} = 3F_2/4F_1, \quad (3)$$

Энергетическое поведение асимметрии вперед-назад A_{FB} и относительного сечения $R^\mu (=F_1)$ в СМ представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

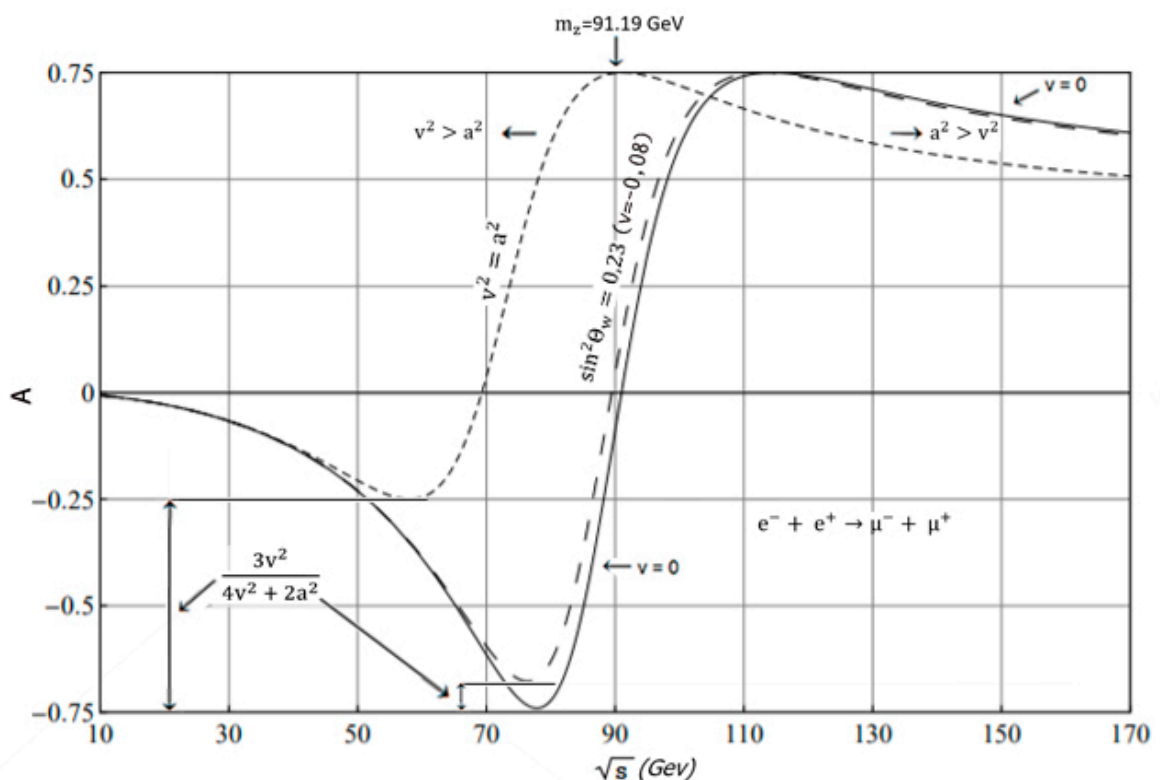


Рисунок 1 – Энергетическое поведение асимметрии вперед-назад A_{FB} в процессе аннигиляционного рождения мюонных пар. Указаны различные возможные комбинации констант связи Z -бозона с лептонами – как в СМ, при $v=a=1$ и $v=0$

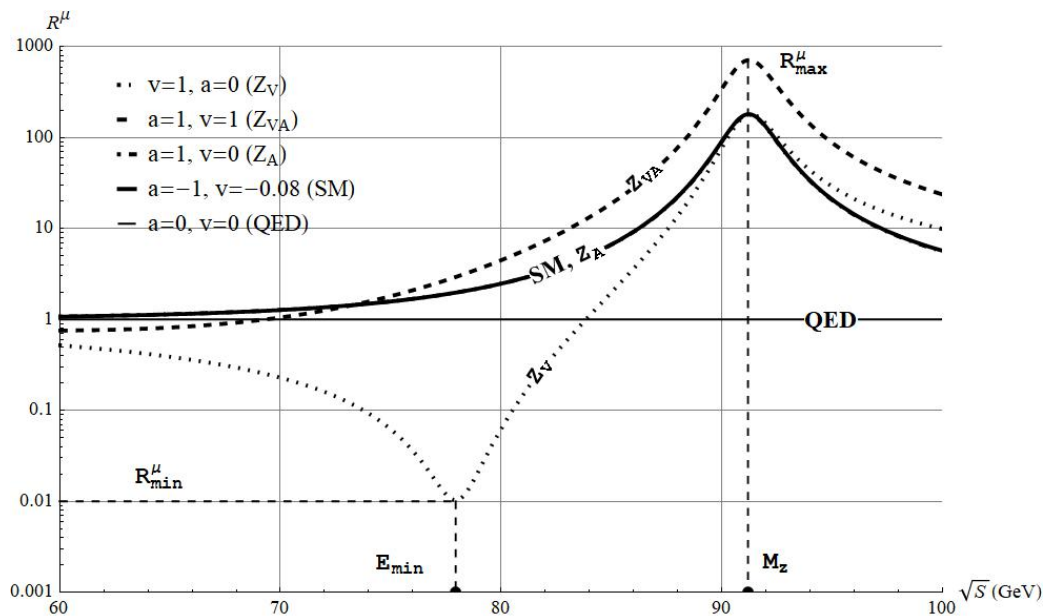


Рисунок 2 – Тоже, что на рисунке 1, но для относительного сечения R^μ

Литература

1. Osland, P. Z-prime interference effects from TRISTAN to LEP-2/, P. Osland, A. A. Pankov // Phys. Lett. B. – 1997. – 403. – pp.93–100.
2. Babich, A. A. New physics signatures at a linear collider: Model independent analysis from conventional polarized observables/ A. A. Babich, P. Osland, A. A. Pankov, N. Paver // Phys. Lett. B. – 2001. – 518. – pp.128–136.
3. Pankov, A. A. High-precision limits on W–W' and Z–Z' mixing from diboson production using the full LHC Run 2 ATLAS data set / A. A. Pankov, P. Osland, I. A. Serenkova, V. A. Bednyakov // Eur. Phys. J. C. – 2020. – 80. – no.6, – pp.503–525.

Н. С. Селивёрстов

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Д. Г. Кроль**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ВОЛНЫ ВОЗМУЩЕНИЯ ЛИНИИ РОСТА ДЕНДРИТА В ПЕРЕОХЛАЖДЕННОМ РАСПЛАВЕ

В данной работе рассматриваются теплофизические аспекты проблемы высокоскоростной кристаллизации глубоко переохлажденного

расплава чистого металла. Современное состояние экспериментальных и теоретических исследований этого вопроса представлены в книге [1]. Здесь мы изучаем дендритный рост кристалла и процессы возмущения фазовой границы кристаллизации (ФГК), основываясь на уравнении роста, полученных в [2]. Уравнение, определяющее эволюцию малых возмущений линии роста $x = F(y, t)$ имеет вид:

$$\partial^2 f / \partial y^2 = B_1(\partial f / \partial y) + B_2(\partial f / \partial t), \quad (1)$$

$$B_1 = 2\varphi A_1 A_2 < 0, \quad B_2 = (1 + A_2^2)\varphi > 0,$$

Координата x направлена вдоль оси симметрии в сторону твердой фазы; y – поперечная декартова координата. Это уравнение есть результат линеаризации $[F(y, t) = F^0(y, t) + f(y, t)]$ на точном решении вида

$$F^0 = A_1 t + A_2 y, \quad A_1 = -\mu B / (1 + A_2^2) < 0, \quad B \equiv \text{const},$$

где A_2 – произвольная положительная постоянная; угол θ_1 заострения линии роста определяется формулой $A_2 = 1/(\tan(\theta_1))$. Фазовая граница движется вдоль оси x влево, ее скорость равна $N = A_1 \sin(\theta_1)$, рисунок 1.

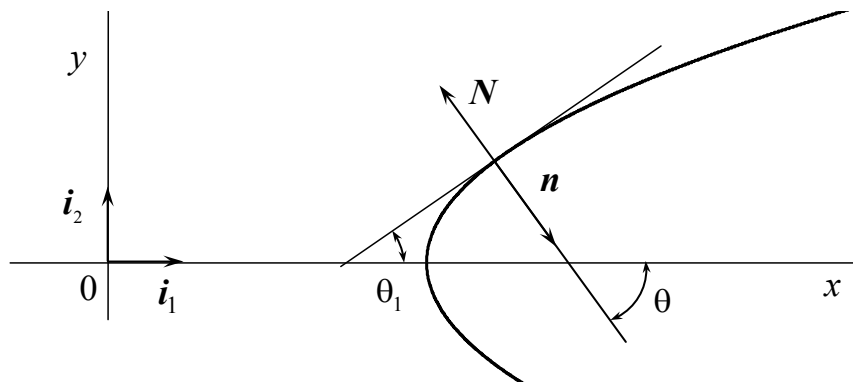


Рисунок 1 – Угол θ_1 заострения линии роста

Уравнение (1) имеет следующее точное решение:

$$f(y, t) = f_1 \exp(ky) \sin(k_1 y + rt), \quad (2)$$

$$2k = B_1 - (B_1^2 + 4k_1^2)^{1/2} < 0, \quad r = -k_1 (B_1^2 + 4k_1^2)^{1/2} / B_2 < 0.$$

Данное решение – ограниченное при $y \geq 0$, $t \geq 0$; выбором произвольной константы f_1 его можно сделать сколь угодно малым. При каждом фиксированном y граница гармонически колеблется по t . По отношению к координате y имеем режим затухающих колебаний с частотой $(-k_1) > 0$. Решение (2) описывает возмущение линии роста за волной $k_1 y + rt = (\pi/2)$. Скорость перемещения волны равна

$$V = dy/dt = (B_1^2 + 4k_1^2)^{1/2} / B_2 > 0.$$

Фон перед волной представляет собой аperiodическое по координате y возмущение вида

$$f_0(y) = f_1 \exp(ky), \quad k < 0, \quad y \geq 0, \quad (3)$$

где k – параметр пространственной неоднородности возмущения. Характерную ширину неоднородного слоя определим как

$$|f_0(y)| / |df_0(y)/dy| = (-1/k) > 0.$$

В решении (2) волновое число равно k_1 , а круговая частота есть величина $(-r) > 0$. Нетрудно видеть, что $k_1^2 = k(k - B_1) > 0$ при $k < B_1$. Для определенности берем $k_1 > 0$. Чем сильнее выражена неоднородность фона (3), тем больше квадрат k_1^2 волнового числа:

$$d(k_1^2)/d(-k) = B_1 - 2k > 0.$$

Простые расчеты показывают:

$$d(V^2)/d(-B_1) = 2(2k - B_1)/B_2^2 < 0 \quad \text{при} \quad k < B_1 < 0.$$

Эта устойчивая волна существует при $k_1^2 > 0$, т.е. при $k < B_1 < 0$. Следовательно, критическое значение параметра неоднородности равно $k_* = B_1 = 2\varphi A_1 A_2$. Соответственно критический размер зоны неоднородности фона есть $y_* = 1/(-k_*)$:

$$y_* = (\sin \theta_1 \operatorname{tg} \theta_1) / (2\varphi(-N)).$$

Для устойчивого варианта получены аналитические оценки теплового потока на ФГК. На рисунке 2 показан на примере никеля типичный пространственно-временной портрет (2) линии роста при пространственно аperiodическом состоянии ФГК (3). Если размер зоны неоднородности больше критического, т.е. $[1/(-k)] > y_*$, то $k_1^2 < 0$, и решение неустойчивое: оно неограниченно растет при $t \rightarrow \infty$ для каждого фиксированного конечного $y > 0$.

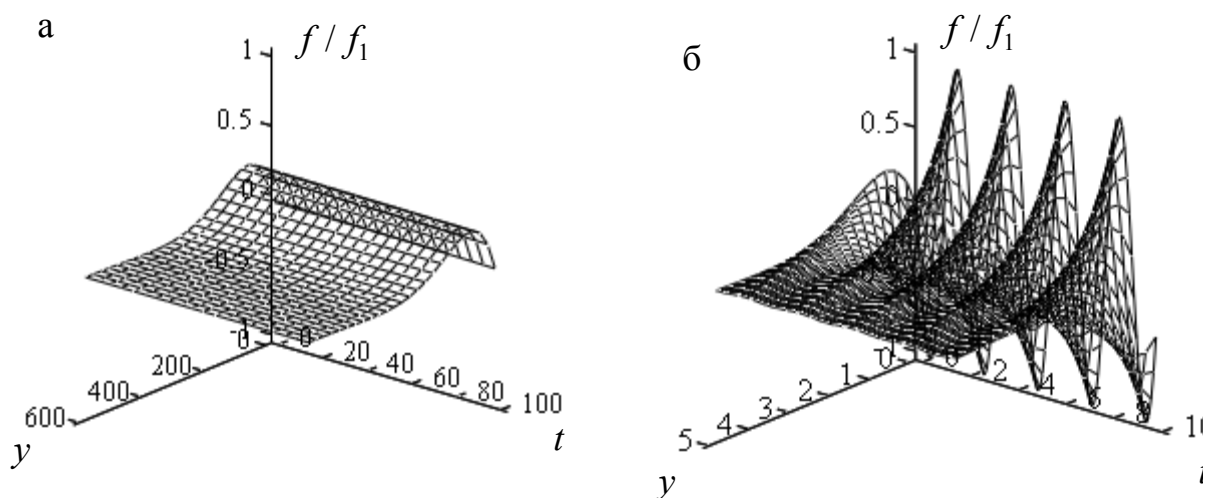


Рисунок 2 – Никель: пространственно-временной портрет линии роста
(а – $k = -0.01$; $A_2 = 10^{-7}$; б – $k = -1$; $A_2 = 2 \cdot 10^{-5}$)

Вывод: условие $[1/(-k)] > y_*$ является предвестником возникновения боковой ветви дендрита. Критический размер y_* проявляет сильную чувствительность к изменению параметров задачи.

Данная работа выполнена в рамках НИР «Кинетика неравновесных фазовых границ и неклассические тепловые структуры при высокоскоростной кристаллизации чистых веществ» ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии», подпрограмма 1.2 «Энергетические процессы и технологии». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.

Литература

1. Herlach, D. M. Metastable Solids from Undercooled Melts / D. M. Herlach, P. Galenko, D. Holland-Moritz –Oxford: Pergamon, 2007. – 448 p.

2. Шабловский О. Н. Морфологические свойства линии роста двухмерного дендрита в переохлажденном расплаве // Прикладная физика. 2012., №4. – С. 40-46.

И. О. Слепенчук

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Л. Самофалов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ В ПРОГРАММЕ ANSYS HFSS

Метаматериалы – это композитные (состоящие из нескольких компонентов) материалы, электромагнитные и акустические свойства которых не встречаются в природе и сложнодостижимы технологически. Структурные элементы метаматериала могут иметь различную форму (S, U, Ω и др.) и обладать следующими свойствами: отрицательными значениями диэлектрической и магнитной проницаемости, киральными свойствами, периодически изменять коэффициент преломления, управлять параметрами среды в результате внешних воздействий (изменять размеры, форму и период решетки мета атома). Различные виды метаматериалов показаны на рисунке 1.

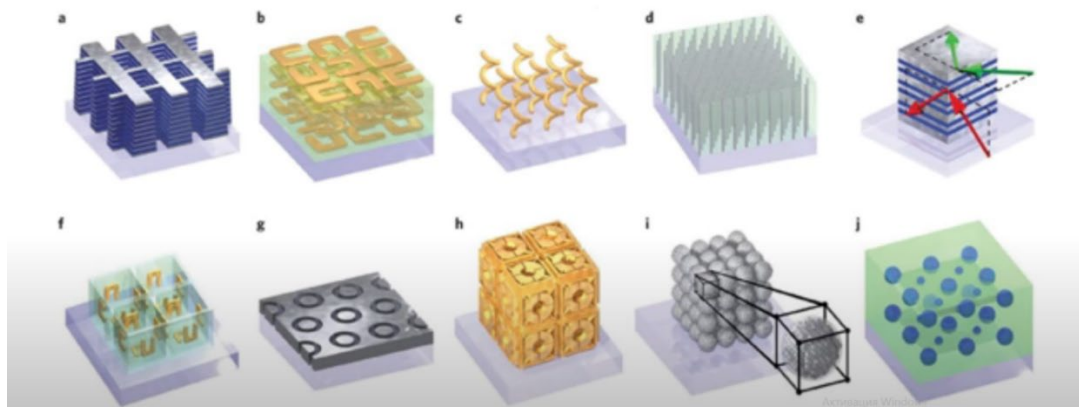


Рисунок 1 – Виды мета материалов

Для разработки метаматериала, с заданными свойствами, необходимо провести предварительное моделирование. Одной из программ широко применяемой для этих целей является Ansys HFSS.

Ansys HFSS – программное обеспечение для моделирования электромагнитных полей, используемое для анализа беспроводных

устройств, печатных плат, элементов силовой электроники. Данная программа позволяет провести компьютерные вычисления и моделирование как отдельного мета атома, так и всего метаматериала. HFSS использует для решения уравнений электродинамики метод конечных элементов, задача которого заключается в нахождении единственно возможного распределения электромагнитного поля в заданной расчетной области при указанных граничных условиях и заданном источнике возбуждения. Данный метод включает адаптивное генерирование и деление ячеек.

Алгоритм работы программы Ansys HFSS включает в себя несколько этапов (рисунок 2): начало → тип решения задачи → создание модели → создание источника возбуждения → задание граничных условий → настройка решателя → цикл решателя → представление результатов (2D/3D графика, поля) → конец.

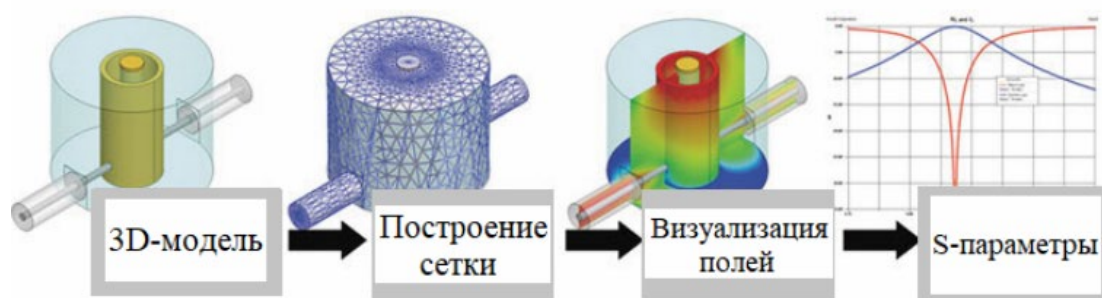


Рисунок 2 – Этапы работы в программе Ansys HFSS

Ansys HFSS имеет возможность вычисления распределения электромагнитного поля в трехмерной системе на заданной рабочей частоте; для открытых задач – расчет полей в ближней и дальней зонах излучения (диаграммы направленности излучателя); расчет характеристического импеданса и постоянных распространения для портов системы (подводящих волноводов); расчет S-параметров (матрицы рассеивания) для трехмерной электромагнитной системы. В результате программных расчетов можно получить амплитудно-частотные характеристики заданной структуры (метаматериала). Важным результатом моделирования метаматериалов как раз и является определение S – параметров.

Ansys HFSS это программа, которая постоянно обновляется и имеет множество преимуществ: результаты моделирования в высокой степени совпадают с результатами экспериментальных исследований.

HFSS прост в применении и обладает интуитивно понятным мультифункциональным интерфейсом.

Литература

1. Банков, С. Е. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS / С. Е. Банков, Э. М. Гутцайт, А. А. Курушин. – М.: ООО «Оркада», 2012. – 250 с.

2. Семченко, И. В. Электромагнитные волны в метаматериалах и спиральных структурах / И. В. Семченко, С. А. Хахомов. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 279 с.

А. И. Толкачѳв

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ПОЛЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ–СУММАРНОЙ ЧАСТОТЫ В ТОНКОМ СФЕРИЧЕСКОМ СЛОЕ ДЛЯ ВОЛН ОДИНАКОВОЙ ЭЛЛИПТИЧНОСТИ

Введение. В настоящее время нелинейные оптические явления, такие как генерация второй гармоники (ГВГ) и генерация суммарной частоты, используются для изучения границ раздела диэлектриков. В частности, это поверхности диэлектрических нано- и микрочастиц. Экспериментальные исследования показывают, что регистрируемый сигнал является слабым [1]. Для его усиления исследуемые частицы покрывают оптически нелинейными веществами. В качестве дополнительного метода усиления сигнала мы предлагаем использовать два когерентных источника исходного излучения. При этом одновременно происходят явления ГВГ каждой из волн и генерации суммарной частоты в поверхностных слоях исследуемых частиц. Так как данные поля имеют одинаковую частоту и когерентны, то результирующее поле определяется методом суперпозиции. Нелинейную генерацию такого вида назовем генерацией второй гармоники–суммарной частоты (ГВГ–СЧ).

Постановка задачи. Рассмотрим падение двух когерентных плоских эллиптически поляризованных электромагнитных волн на диэлектрическую сферическую частицу радиуса a , покрытую тонким

слоем оптически нелинейного вещества. Напряженности электрических полей источников задаются следующим образом:

$$\mathbf{E}^{(\alpha)}(\mathbf{x}, t) = E_{\alpha} \mathbf{e}^{(\alpha)} \exp(i\mathbf{k}^{(\alpha)} \mathbf{x} - i\omega t), \quad (9)$$

где E_{α} – комплексная амплитуда волны, $\mathbf{e}^{(\alpha)}$ – единичный комплексный вектор поляризации, $\mathbf{k}^{(\alpha)}$ – волновой вектор ($k_{\omega} = |\mathbf{k}^{(\alpha)}|$), ω – циклическая частота. Индекс α показывает принадлежность величины к соответствующему источнику и принимает значения 1 или 2.

Тензор нелинейной диэлектрической восприимчивости второго порядка для данной задачи имеет четыре независимые компоненты $\chi_{1-4}^{(2)}$, входящие в него в следующем виде:

$$\chi_{ijk}^{(2)} = \chi_1^{(2)} n_i n_j n_k + \chi_2^{(2)} n_i \delta_{jk} + \chi_3^{(2)} (n_j \delta_{ki} + n_k \delta_{ij}) + \chi_4^{(2)} n_m (n_k \varepsilon_{ijm} - n_j \varepsilon_{imk}). \quad (10)$$

Нахождение явного вида напряженности электрического поля второй гармоники–суммарной частоты (ВГ–СЧ) $\mathbf{E}^{(2\omega)}$ приведено в работе [2]. В дальней зоне интенсивность излучения удвоенной частоты может быть записана в форме

$$S_{\text{norm}}^{(2\omega)} = \frac{c}{8\pi} \frac{n_{2\omega}}{\mu_{2\omega}} \left| \frac{\mathbf{E}^{(2\omega)}}{1 + |\eta|^2} \right|^2, \quad (11)$$

где $\eta = E_2/E_1$. В данном выражении произведена нормировка напряженности $\mathbf{E}^{(2\omega)}$ на множитель $(1 + |\eta|^2)$ для того, чтобы суммарная мощность падающих волн была неизменной.

Оптимизация плотности мощности ГВГ–СЧ. Проведем численную максимизацию плотности генерируемой мощности ВГ–СЧ для следующих фиксированных параметров задачи: размер частицы $k_{\omega} a = 0,1$, показатель дисперсии $\xi = 1,34/1,33$. Остальные параметры являются варьируемыми: направление наблюдения θ , φ , угол γ между векторами $\mathbf{k}^{(1)}$ и $\mathbf{k}^{(2)}$, отношение комплексных амплитуд падающих волн η , их азимуты поляризации $\varphi_{\text{in}}^{(\alpha)}$ и эллиптичности σ_{α} . Для объективности сравнения эффективности ГВГ–СЧ и ГВГ рассмотрим случай одинаковых эллиптичностей падающих волн ($\sigma_1 = \sigma_2$). Оптимизацию будем проводить отдельно для четырех типов анизотропии $\chi_{1-4}^{(2)}$

(под типом анизотропии $\chi_i^{(2)}$ подразумеваются значения независимых компонент тензора $\chi_{ijk}^{(2)}$: $\chi_i^{(2)} = 1$, $\chi_j^{(2)}|_{j \neq i} = 0$) и для тензора (2), соответствующего малахитовому зеленому (МЗ, $\chi_1^{(2)} = -0,627$, $\chi_2^{(2)} = 0,778$, $\chi_3^{(2)} = -0,021$, $\chi_4^{(2)} = 0$). Результаты максимизации плотности мощности $S_{\text{norm, max}}^{\text{ГВГ-СЧ}}$ представлены в первой строке таблицы 1, где использована вспомогательная величина $S_0 = 2\pi c \frac{\mu_{2\omega}}{n_{2\omega}^3} \frac{d_0^2}{r^2} (k_{2\omega} a)^4 |E_1|^4$.

Таблица 1 – Значения оптимизированной плотности мощности ГВГ–СЧ и максимальной плотности мощности при ГВГ

Вычисляемая величина	Тип анизотропии				
	$\chi_1^{(2)}$	$\chi_2^{(2)}$	$\chi_3^{(2)}$	$\chi_4^{(2)}$	МЗ
$S_{\text{norm, max}}^{\text{ГВГ-СЧ}} / (10^{-3} S_0)$	2,20	17,5	21,8	0,193	8,74
$S_{\text{norm, max}}^{\text{ГВГ}} / (10^{-3} S_0)$	0,551	4,37	4,49	0,0481	2,19

На рисунке 1, а) представлены графики зависимости оптимизированной плотности мощности ГВГ–СЧ от эллиптичности падающих волн для указанных выше форм тензора $\chi_{ijk}^{(2)}$.

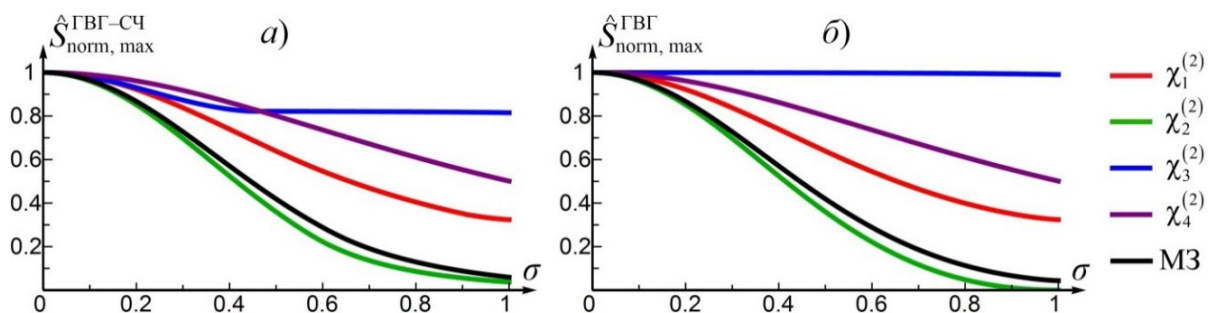


Рисунок 1 – Нормированные зависимости максимальной плотности мощности от эллиптичности падающих волн для явлений: а) ГВГ–СЧ, б) ГВГ

Для удобства сравнения различных типов анизотропии данные зависимости нормированы на значения интенсивностей, соответствующие указанным в строке 1 таблицы 1. Отметим, что глобальный максимум $S_{\text{norm}}^{\text{ГВГ-СЧ}}$ для всех типов анизотропии наблюдается при линейно поляризованных исходных волнах ($\sigma_\alpha = 0$). Отклонение от данного

значения приводит к монотонному уменьшению оптимальной плотности мощности. Для типа анизотропии $\chi_3^{(2)}$ в области $\sigma \in [0,46; 1]$ максимальная плотность мощности не изменяется.

Анализ плотности мощности ГВГ. Рассмотрим падение одной плоской электромагнитной волны на сферическую диэлектрическую частицу, покрытую тонким слоем оптически нелинейного вещества. В данном слое будет происходить явление ГВГ. Формулы, описывающие данное явление, аналогичны приведенным выше, если положить $\eta = 0$.

Построим графики зависимости максимальной генерируемой плотности мощности второй гармоники от эллиптичности исходного излучения для типов анизотропии $\chi_{1-4}^{(2)}$ и МЗ (рисунок 1, б). Данные зависимости нормированы таким образом, чтобы функции $S_{\text{norm, max}}^{\text{ГВГ}}$ не превышали единицу. Нормирующие множители соответствуют приведенным в строке 2 таблицы 1. Для типов анизотропии $\chi_{1,2,4}^{(2)}$ и МЗ указанные зависимости – это монотонно убывающие кривые с максимумом при линейной поляризации падающей волны ($\sigma = 0$). Для типа анизотропии $\chi_3^{(2)}$ максимальная генерируемая плотность мощности не изменяется во всем возможном диапазоне изменения эллиптичности. В работе [3] аналитически показано, что при ГВГ в тонком сферическом слое, обладающем типом анизотропии $\chi_2^{(2)}$, мощность генерируемого излучения пропорциональна величине $\left(\frac{1-\sigma^2}{1+\sigma^2}\right)^2$. Нормированный график указанной зависимости совпадает с графиком для данного типа анизотропии, приведенном на рисунке 1, б. При падении циркулярно поляризованной волны ГВГ не происходит для типа анизотропии $\chi_2^{(2)}$, что видно из приведенной формулы и графика.

При падении циркулярно поляризованной волны ГВГ не происходит для типа анизотропии $\chi_2^{(2)}$, что видно из приведенной формулы и графика.

Сравнение эффективности ГВГ–СЧ и ГВГ. Под эффективностью плотности мощности поля ВГ–СЧ будем понимать отношение оптимизированной плотности мощности ВГ–СЧ к генерируемой плотности мощности при использовании одного источника (ГВГ) аналогичной эллиптичности ($S_{\text{norm, max}}^{\text{ГВГ–СЧ}} / S_{\text{norm, max}}^{\text{ГВГ}}$ при $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$). Графики зависимости эффективности ГВГ–СЧ от эллиптичности возбуждающего излучения приведены на рисунке 2.

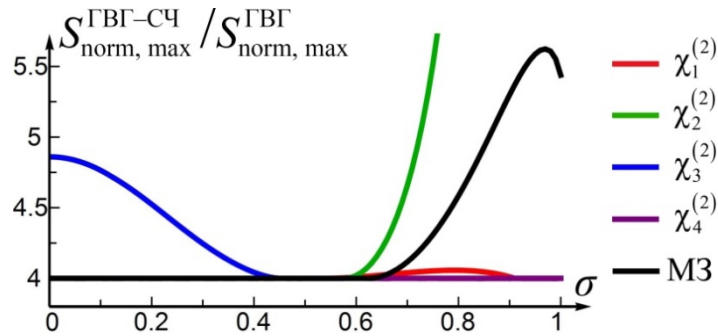


Рисунок 2 – Зависимость эффективности плотности мощности ГВГ–СЧ от эллиптичности падающих волн

Общим для всех рассмотренных форм тензора (2) является наличие областей с эффективностью равной четырем, при этом исходные волны сонаправлены, имеют одинаковые напряженности электрического поля, фазы и ориентации эллипсов поляризации. В областях, где эффективность ГВГ–СЧ больше четырех, оптимальные параметры отличаются от указанных выше и зависят от эллиптичности. Укажем области эллиптичности с эффективностью больше четырех: для типа анизотропии $\chi_1^{(2)}$ это $\sigma \in [0,53; 0,93]$, для $\chi_2^{(2)}$ – $\sigma \in [0,58; 1]$, для $\chi_3^{(2)}$ – $\sigma \in [0; 0,45]$, для МЗ – $\sigma \in [0,63; 1]$. Для типа анизотропии $\chi_2^{(2)}$ в области $\sigma \in [0,58; 1]$ происходит монотонное возрастание эффективности от четырех до бесконечности. Для типа анизотропии $\chi_4^{(2)}$ во всем рассматриваемом диапазоне эллиптичности оптимальная плотность мощности ГВГ–СЧ в четыре раза больше максимальной плотности мощности при ГВГ.

При сравнении максимально возможной генерируемой плотности мощности ВГ–СЧ с учетом варьирования эллиптичности падающих волн с аналогичной величиной при ГВГ (строки 1 и 2 таблицы 1) можно заключить, что эффективность ГВГ–СЧ для типов анизотропии $\chi_{1,2,4}^{(2)}$ и МЗ равна четырем, а для типа анизотропии $\chi_3^{(2)}$ – 4,86.

Заключение. В данной работе проведена оптимизация плотности мощности ГВГ–СЧ в тонком сферическом слое малого радиуса при падении двух электромагнитных волн одинаковой эллиптичности. Обнаружено, что максимальная плотность мощности генерируется при использовании линейно поляризованных волн. Увеличение эллиптичности исходного излучения приводит к уменьшению интенсивности генерируемого излучения. При рассмотрении явления ГВГ в

малом сферическом слое установлено, что для типа анизотропии $\chi_3^{(2)}$ максимальная генерируемая плотность мощности не зависит от эллиптичности падающей волны. Анализ эффективности ГВГ–СЧ и ГВГ показал, что использование двух когерентных источников позволяет увеличить интенсивность генерируемого излучения в четыре раза и более по сравнению с использованием одного источника.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ (проект Ф20М–011).

Литература

1. Viarbitskaya, S. Size dependence of second harmonic generation at the surface of microspheres / S. Viarbitskaya [et al.] // Phys. Rev. A. – 2010. – Vol. 81, № 5. – P. 053850.

2. Толкачѳв, А. И. Генерация второй гармоники от тонкого сферического слоя при наличии двух источников / А. И. Толкачѳв, В. Н. Капшай // Актуальные вопросы физики и техники: материалы VII Респ. научной конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 25 апреля 2018 г. : в 3 ч. / ГГУ им. Ф. Скорины, редкол.: Д. Л. Коваленко [и др.]. – Гомель, 2018. – Ч. 1. – С. 287–290.

3. Шамына, А.А. Генерация второй гармоники и излучения суммарной частоты в поверхностном слое диэлектрических частиц сферической и цилиндрической формы : дис. канд. физ.-мат. наук / А. А. Шамына. – Гомель, 2020. – 182 с.

В. О. Хулуп

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАСЧЕТ ВОЛНОВЫХ ФУНКЦИЙ ПОЛЕЙ В РАМКАХ КЛАССА МОДЕЛЕЙ С ОБЪЕДИНЕННЫМ КАЛИБРОВОЧНЫМ И ХИГГСОВСКИМ СЕКТОРАМИ

Выполнен расчет волновых функций бозонных полей в рамках класса моделей с объединенным калибровочным и хиггсовским секторами (КХО модели). Идея вложения в один мультиплет представления калибровочной группы калибровочных и хиггсовских полей позволяет естественным образом защитить массы скалярных полей от больших радиационных поправок («проблема натуральности» в Стан-

дартной Модели) [1–2]. Реализация этой идеи связана с расширением пространства Минковского до пятимерного пространства-времени с метрикой Рэндалл-Сандрама [3]:

$$ds^2 = e^{-2kR\varphi} \eta_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu - R^2 d\varphi^2, \quad (1)$$

где $\mu = \overline{1,4}$, $\eta_{\mu\nu}$ – метрический тензор Минковского, R – радиус компактифицированного пятого измерения с параметром φ ($0 \leq \varphi \leq \pi$). Рассмотрен вариант модели с калибровочной группой $U(1)$, в которой скалярное поле H вложено в мультиплет A_M , представляющий собой квинтет бозонных полей $\{A_\mu, H\}$. Уравнение движения объединенного мультиплета в искривленном пятимерном пространстве записывается как [2]:

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \partial_M (\sqrt{g} g^{MN} g^{RS} F_{NS}) - M^2 g^{RS} A_S = 0. \quad (2)$$

Здесь $M, N = (\mu, \varphi)$ – пятимерные индексы, $g = \det g_{MN}$, g_{MN} – метрический тензор Рэндалл-Сандрама, F_{MN} – тензор напряженности калибровочного квинтета, а M – фундаментальная масса, соответствующая массе Планка в эффективном четырехмерном пространстве. Для калибровочного поля A_μ из (2) находим

$$\left[\eta^{\rho\nu} \partial_\rho \partial_\nu + \frac{1}{R^2} \partial_\varphi (e^{-2kR\varphi} \partial_\varphi) - e^{-2kR\varphi} M^2 \right] A_\mu = 0. \quad (3)$$

Структура КХО моделей существенно зависит от поведения полей на границе пятимерного слоя, топология которой совпадает с топологией орбиолда S_1/Z_2 . В рассматриваемом варианте моделей граничные условия должны просто гарантировать непрерывность полей и их производных в точках $\varphi = 0$ и $\varphi = \pi$.

Будем искать решение краевой задачи в виде разложения

$$A_\mu(x^\nu, \varphi) = \sum_n A_\mu^{(n)}(x^\nu) \frac{f_n(\varphi)}{\sqrt{R}}. \quad (4)$$

После подстановки этого представления в уравнение (3) и разделения переменных получаем следующую систему уравнений для конфигурационных функций $A_\mu^{(n)}(x^\nu)$ и $f_n(\varphi)$:

$$A_\mu^{(n)}(x^\nu) = m_n^2 A_\mu^{(n)}, \quad (5)$$

$$\left[-\frac{1}{R^2} \partial_\varphi (e^{-2kR\varphi} \partial_\varphi) + e^{-2kR\varphi} M^2 \right] f_n = m_n^2 f_n. \quad (6)$$

Здесь m_n – массы калуца-клейновских (КК) состояний $A_\mu^{(n)}$. Уравнения (5) есть обычные волновые уравнения для КК мод. Уравнения (6) представляют собой уравнения Бесселя, и вместе с граничными условиями $f_n(\varphi) = f_n(-\varphi)$ составляют стандартную задачу Штурма-Лиувилля. Решение этой задачи имеет вид

$$f_n = \frac{e^{kR\varphi}}{N_n} \left[J_\alpha \left(\frac{m_n}{k} e^{kR\varphi} \right) + b_\alpha(m_n) Y_\alpha \left(\frac{m_n}{k} e^{kR\varphi} \right) \right], \quad (7)$$

где J_α и Y_α – функции Бесселя первого и второго рода, соответственно, порядка $\alpha = \sqrt{1 + M^2/k^2}$. Коэффициенты $b_\alpha(m_n)$ и N_n , а также спектр масс КК состояний определяются из граничных условий и условия нормировки:

$$b_\alpha(m_n) = b_\alpha(m_n e^{kR\varphi}), \quad (8)$$

$$\int_0^\pi f_n^2 d\varphi = 1. \quad (9)$$

В приближении $kR \gg 1$ для нормировочных констант находим

$$N_n^2 \approx \frac{e^{kR\varphi\pi}}{2kR} J_\alpha^2 \left(\frac{m_n}{k} e^{kR\varphi} \right) \approx \frac{e^{kR\pi}}{\pi R m_n}. \quad (10)$$

Определение явного вида волновых функций калибровочных полей позволяет изучить структуру эффективной четырехмерной теории, в частности, вычислить эффективные четырехмерные константы электрослабых взаимодействий и основные наблюдаемые (сечения, асимметрии), а также провести феноменологический анализ по поиску новых физических эффектов, предсказываемых КХО моделями [4].

Литература

1. Hosotani, Y. Dynamical mass generation by compact extra dimensions / Y. Hosotani // Phys. Lett. B. – 1983. – 126. – P. 309–313.
2. Hall, L. Gauge Higgs unification in higher dimensions / L. J. Hall, Y. Nomura, D. Tucker-Smith // Nucl. Phys. B. – 2002. – 639. – P.307–330.

3. Randall, L. A large mass hierarchy from a small extra dimension / L. Randall, R. Sundrum // Phys. Rev. Lett. – 1999. – 83. – P. 3370–3373.

4. Carena, M. Collider phenomenology of gauge-Higgs unification scenarios in warped extra dimensions / M. Carena, A. D. Medina, B. Panes // Phys. Rev. D. – 2008. – 77. – P. 076003.

Е. А. Чудаков

(МГУ имени А. А. Кулешова, Могилев)

Науч. рук. **А. Б. Сотский**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ЗАДАЧА МНОГОУГЛОВОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ ПРИ ДИФфуЗНОМ РАССЕЯНИИ ЭЛЕКТРОНОВ НА ЕЕ ГРАНИЦАХ

Как известно, корректное описание отражения света от металлических пленок возможно в рамках модели аномального скин-эффекта, учитывающей пространственную нелокальность связи напряженности электрического поля и плотности тока [1]. Реализация этой модели зависит от выбора граничных условий для неравновесной функции распределения электронов в μ пространстве [1]. В большинстве случаев современные технологии нанесения металлических пленок на подложки не обеспечивают атомарной гладкости поверхностей пленок. Такой ситуации адекватно так называемое диффузное приближение, в котором вероятность зеркального отражения электронов от границ металлической пленки принимается равной нулю [2, 3].

В настоящей работе рассмотрена теория аномального скин-эффекта при отражении наклонно падающих на металлическую пленку волн ТЕ, либо ТМ поляризации, основанная на названном диффузном приближении для поверхностного рассеяния электронов. Анализ проведен применительно к многоугловой эллипсометрии металлических пленок, теория которой в условиях аномального скин-эффекта до сих пор не была разработана. Результаты получены за счет сведения интегро-дифференциальных уравнений аномального скин-эффекта, связывающих плотность тока и напряженность электрического поля в металлической пленке, к более простым интегральным уравнениям Фредгольма второго рода относительно компонент электрического поля. Численное решение интегральных уравнений выполнено методом квадратур.

Исследованы золотые и алюминиевые пленки, расположенные на кремниевой подложке. Выбрана длина световой волны 800нм, на которой показатель преломления кремния $n_s = 3.695 - i0.0066$, показатель преломления окисного слоя на поверхности алюминия $n_{ox} = 1.7601$. При решении прямой задачи эллипсометрии использованы литературные данные для констант металлов, приведенные в таблице 1. Здесь τ -время релаксации, n_0 – концентрация свободных электронов, n_m и k_m – вещественная и мнимая части показателя преломления материала.

Таблица 1 – Константы металлов

металл	τ , фс	$n_0 \cdot 10^{-28}$, м ⁻³	n_m	k_m
Au	27,1	5,9	0,153	4,908
Al	7,2	18,07	2,767	8,354

Рисунок 1 иллюстрирует влияние аномального скин-эффекта на зависимости функций поляризационных углов $\text{tg}\psi$ и $\cos\Delta$ от угла падения света на пленку γ .

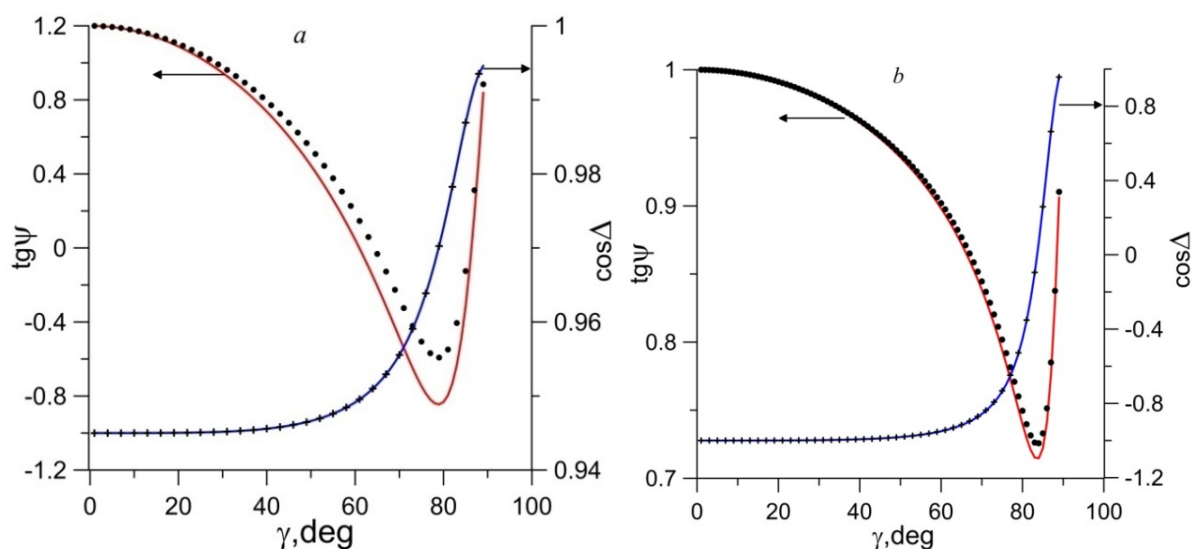


Рисунок 1 – Угловые зависимости функций поляризационных углов для золотой (а) и алюминиевой (б) пленок толщиной 60нм. Сплошные кривые – теория аномального скин-эффекта, дискретные значки – приближение нормального скин-эффекта.

Согласно рисунку 1, расхождение результатов приближений аномального и нормального скин-эффектов наблюдается главным образом для функции $\text{tg}\psi(\gamma)$.

О погрешностях стандартного алгоритма решения обратной задачи многоугловой эллипсометрии позволяет судить таблица 2. Здесь d_m и d_{ox} – точные толщины металлической пленки и окисного слоя; $d_m^{(r)}$, $n_m^{(r)}$, $k_m^{(r)}$, $d_{ox}^{(r)}$, $n_{ox}^{(r)}$ - восстановленные толщина, показатель преломления, показатель поглощения металлической пленки, толщина и показатель преломления окисного слоя. В качестве «экспериментальных» использованы угловые зависимости функций поляризационных углов, рассчитанные по теории аномального скин-эффекта. Их обработка осуществлена методом наименьших квадратов, в котором целевая функция задавалась на основании модели нормального скин-эффекта.

Таблица 2 – Решение обратной задачи многоугловой эллипсометрии в приближении нормального скин-эффекта.

Пленка	d_m , нм	d_{ox} , нм	$d_m^{(r)}$, нм	$n_m^{(r)}$	$k_m^{(r)}$	$d_{ox}^{(r)}$, нм	$n_{ox}^{(r)}$
Au	60	0	60,04	0,190	4,906	0	-
	10	0	10,00	0,235	4,896	0	-
Al	60	0	54,03	2,897	8,336	0	-
	10	0	10,07	2,972	8,347	0	-
Al	60	2	59,61	2,881	8,317	1,92	1,7635
	10	2	10,03	2,925	8,355	1,95	1,6860

Из таблицы 2 видно, что основным дефект использования стандартной модели нормального скин-эффекта при решении обратных задач эллипсометрии металлических пленок состоит в нестабильности значений $n_m^{(r)}$, относящихся к пленкам разной толщины, что объясняет ряд экспериментальных наблюдений.

Работа выполнена в рамках ГПНИ РБ «Фотоника и электроника для инноваций».

Литература

1. Соколов, А. В. Оптические свойства металлов // А. В. Соколов. – М: ГИФМЛ, 1961. – 464 с.
2. Bennett, H. E. Verification of the anomalous skin-effect theory for silver in the infrared / H. E. Bennett, J. M. Bennett, E. J. Ashley, R. J. Motyka // Physical review. – 1968. – Vol. 165, No. 3. – P. 755–765.
3. Dingle, R. B. The anomalous skin effect and the reflectivity of metals: comparison between theoretical and experimental optical properties / R. B. Dingle // Physica. – 1953 – Vol. 19, Issues 1 – 12. – P. 348 – 364.

Е. В. Шаршуков
(БГУ, Минск)

Науч. рук. **С. В. Василевич**, канд. техн. наук, доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ ГАЗА ПРИ ОБТЕКАНИИ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время в мире ежегодный прирост ветроэнергетики составляет в среднем около 10% [1]. На сегодняшний день наиболее важной задачей, стоящей перед инженерами-ветроэнергетиками, является снижение удельной стоимости ВЭУ и обеспечение совместной работы ВЭУ с накопителями энергии.

Для решения данной задачи в первую очередь необходима разработка методов моделирования поведения ветротурбин для проверки и оценки их характеристик и перспективности дальнейшей реализации в виде опытных и промышленных образцов.

Для предварительного исследования свойств и моделирования поведения ветротурбин могут использоваться различные программные комплексы. Одним из них является конечно-элементный программный комплекс ANSYS CFX.

Авторами была разработана методика компьютерного моделирования работы ветровой установки при обдуве её воздушным потоком в программном комплексе ANSYS CFX [2].

Объект моделирования представляет собой осевую ветроустановку с одним ветроколесом. Внешние аэродинамические обводы представлены 11 изогнутыми лопастями, расположенными на вертикальной оси ротора. Геометрические параметры исследуемого ветроколеса: длина – 230 мм, диаметр – 250 мм, радиус закругления лопасти – 90 мм.

Для решения задач компьютерного моделирования численно интегрировались трёхмерные осреднённые по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса. Для замыкания уравнений движения была взята модель турбулентности SST (Shear Stress Transport), в качестве рабочей среды использовался вязкий несжимаемый газ (воздух) плотностью $1,25 \text{ кг/м}^3$.

На рисунке 1 приведены примеры компьютерных визуализаций для ветроколеса с указанными геометрическими параметрами (скорость потока задавалась равной 11 м/с).

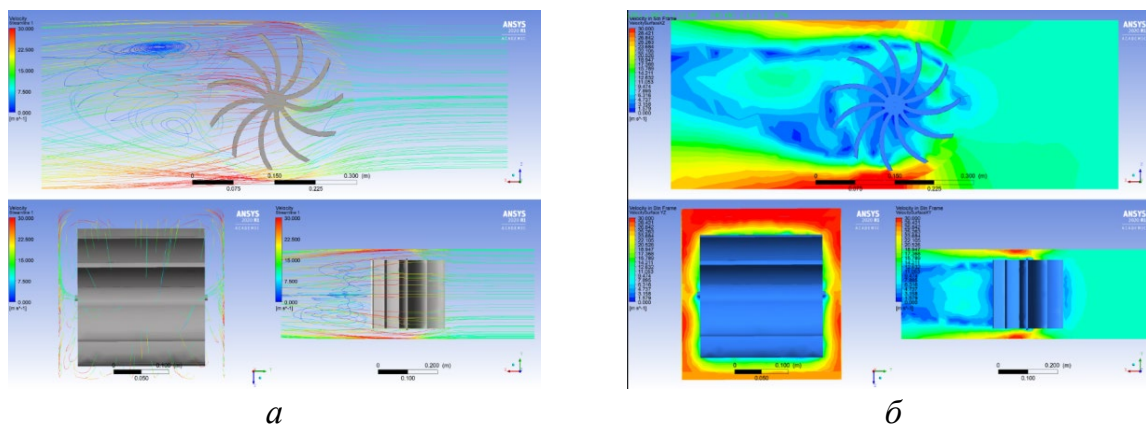


Рисунок 1 – Визуализация линий тока (а) и поля скоростей (б) при движении через вращающийся домен

Как видно из рисунка 1а, происходит образование нескольких турбулентных потоков в области за ветроколесом, которые сохраняются на протяжении всего эксперимента. Из рисунка 1б можно сделать вывод, что в области за ветроколесом наблюдается пространство со скоростью большей, нежели скорость вокруг него. Это объясняется наличием турбулентных потоков в этой области.

Для проверки адекватности модели были проведены эксперименты на аэродинамической трубе открытого типа, оснащённой вентилятором типа АХС 560-6/26-2 (рисунок 2). В ходе экспериментов измерялись значения скоростей воздушного потока слева и справа от оси вращения ветроколеса на различных высотах относительно горизонтальной оси симметрии колеса.



Рисунок 2 – Общий вид аэродинамической трубы

Были проведены сравнения экспериментальных данных с расчётными. На рисунке 3 представлены примеры графиков зависимости расчётных (линии) и экспериментальных (символы) значений скоростей потока воздуха от высоты относительно оси симметрии ветроколеса.

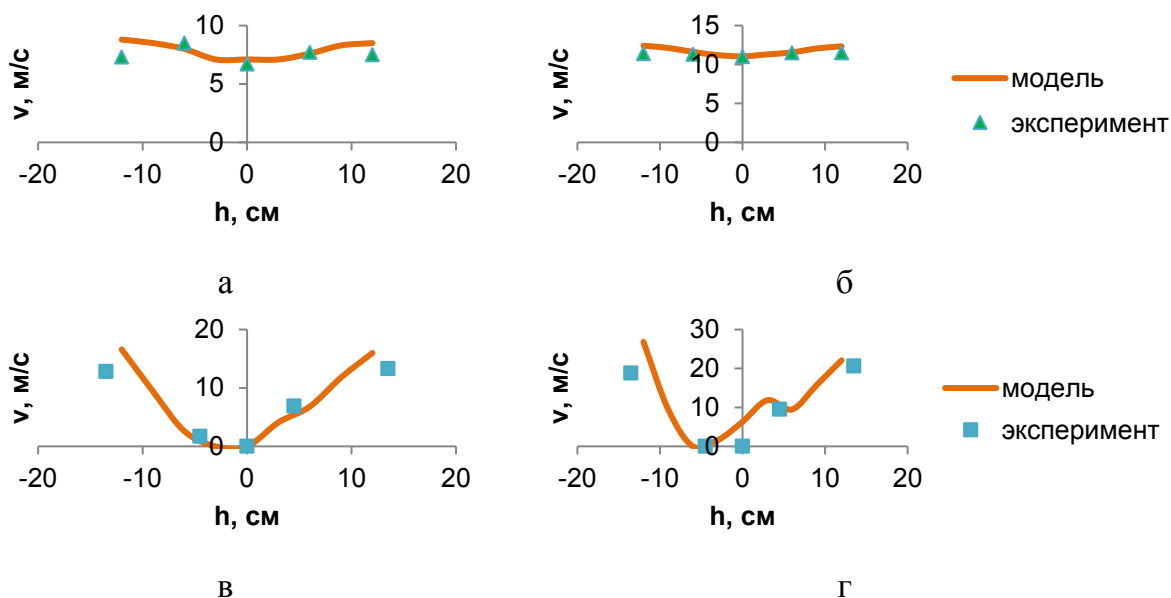


Рисунок 3 – Графики зависимости расчётных (линии) и экспериментальных (символы) значений скоростей потока воздуха от высоты относительно оси симметрии ветроколеса: слева от ветроколеса при средней скорости потока воздуха на входе в тестовую зону 7 м/с (а) и 11 м/с (б); справа при средней скорости потока воздуха на входе в тестовую зону 7 м/с (в) и 11 м/с (г)

Оценка полученных результатов показала, что среднее отклонение не превышает 5%. Это позволяет утверждать, что выбранная модель достаточно хорошо описывает рассматриваемый авторами процесс.

Результатом моделирования в программном комплексе ANSYS CFX также являются зависимости средних значений механической мощности и средних значений коэффициента использования энергии ветра от скорости воздушного потока, которые позволяют сделать предварительные выводы об эффективности ВЭУ.

Литература

1. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable capacity statistics 2020 / International Renewable Energy Agency (IRENA). – Abu Dhabi, 2020. – 66 p.

2. ANSYS CFX [Электронный ресурс] / CAE Expert. – Режим доступа: <https://cae-expert.ru/product/ansys-cfx>. – Дата доступа: 18.04.2020.

В. В. Шекелевский, К. Т. Логунов
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. Д. А. Котов, канд. техн. наук, доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В современном промышленном производстве изделий микро-, нано- и оптоэлектроники одним из самых распространенных методов нанесения тонкопленочных покрытий является магнетронное распыление [1]. Несмотря на то, что метод используется уже много десятилетий, в настоящее время все еще является актуальной разработкой методик расчета и количественной оценки явлений и процессов магнетронного распыления и конденсации на подложке. В связи с чем для расчета тлеющего разряда в магнетронной системе используются различные программные комплексы для физического моделирования. Основным требованием для таких комплексов является возможность рассчитывать электрические и магнитные поля, определяющие количественные и качественные параметры разряда. На сегодня одним из самых распространенных методов расчета различных полей является метод конечных элементов, который используется во многих коммерческих и бесплатных программах для мультифизического моделирования. Среди которых Comsol Multiphysics, Ansys, Elcut и другие.

Основным недостатком этих программ для расчета тлеющего разряда является сам метод конечных элементов [2], который не позволяет получать непрерывные значения полей вдоль определенной прямой, что приводит к трудностям в решении дифференциальных уравнений методами Monte-Carlo (MC), Particle-in-Cell (PIC) [3], Particle-in-Cell Monte-Carlo (PIC-MC) и других.

Альтернативой могут являться языки программирования, на которых имеется возможность реализации решения аналитических уравнений для электро- и магнитостатики [4]. Примером может служить

бесплатная библиотека Magpylib, реализованная на языке программирования Python [5].

Эта библиотека использовалась нами для расчета магнитных полей в используемой нами магнетронной системе, а для оценки правильности расчета программный комплекс Comsol Multiphysics, хорошо зарекомендовавший себя в научно-технических расчетах.

Вначале для расчета воссоздается 3D модель магнитной системы магнетрона. В библиотеке Magpylib эта задача решается путем задания координат встроенным простым трехмерным объектам (куб, сфера, цилиндр) и их размещением с заданием остаточной индукции магнитного поля реальных. Визуализация линий магнитной индукции осуществляется с помощью бесплатной библиотеки для вывода данных в графическом виде Matplotlib. Пример расчета показан на рисунке 1 для сечения плоскостью, проходящей через ось магнетрона.

Для расчета той же магнитной системы с помощью Comsol Multiphysics использовалась трехмерная модель, разработанная в Autodesk Inventor. Результат расчета показан на рисунке 2.

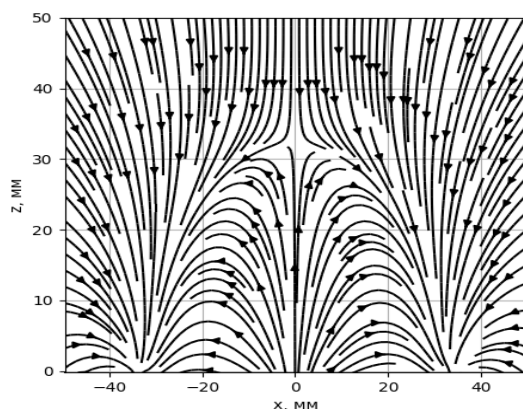


Рисунок 1 – Визуализации линий индукции магнитного поля в разработанной нами программе с помощью библиотеки Magpylib

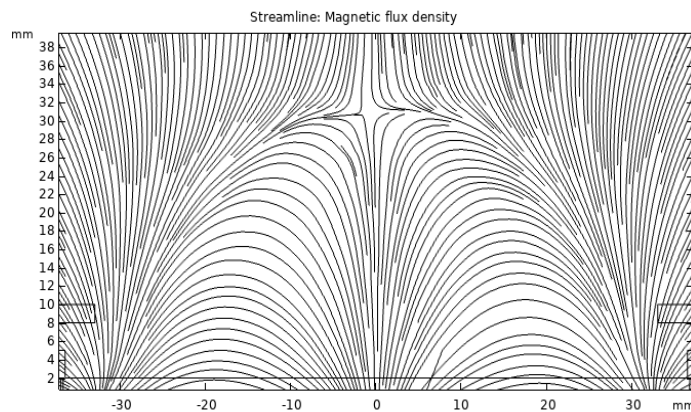


Рисунок 2 – Расчет магнитного поля над поверхностью используемого плоского магнетрона в программе Comsol Multiphysics

Сравнение полученных результатов показывает, что при одинаковых начальных условиях значения индукции магнитного поля совпадают с погрешностью на размер разбиения сетки в Comsol Multiphysics. Графики, полученные в Comsol имеют ступенчатый вид, связанный с недостатком метода конечных элементов, а в Python гладкий, в связи с решением аналитических уравнений. В данном случае при решении уравнений движения заряженных частиц в скрещенных и электрических полях методом Monte-Carlo предпочтительнее использовать Magpylib.

Литература

1. Кузьмичев, А. И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления / А. И. Кузьмичёв. – Киев. : Аверс, 2008. – 244 с.
2. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. Версия 5.1. С-Пб. : Производственный кооператив ТОР, 2003. – 252 с.
3. Kondo, S. A self-consistent numerical analysis of a planar dc magnetron discharge by the particle-in-cell/Monte Carlo method / S. Kondo, K. Nanbu // J. Phys. D : Appl. Phys. – 1999. – Vol. 32. – P. 1142-1152.
4. Norman, D. Cylindrical magnets and ideal solenoids / Norman Derby, Stanislaw Olbert // Am. J. Phys. – 2010. – Vol. 78. – №3. – P. 229-235.
5. Magpylib [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://magpylib.readthedocs.io/>. – Дата доступа: 20.02.2021.

Секция 3 «Автоматизация исследований»

Председатели:

Левчук Виктор Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент.

Воруев Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент.

И. А. Аверков

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. А. Мурашко**, д-р техн. наук, профессор

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ПРОСТОЯ АВТОМОБИЛЯ НА СВЕТОФОРАХ

Актуальность. В связи с увеличением общего количества личного транспорта во всем мире растет автомобильный трафик, особенно в крупных городах. В часы пик на дорогах интенсивность движения резко возрастает из-за того, что большинство людей добираются на работу почти в одно и то же время. Особенно остро это проявляется на перекрестках. Следовательно, существует потребность в моделировании и оптимизации алгоритмов управления движением.

Светофор – это устройство, предназначенное для последовательного включения на заданное время определенных световых сигналов. Светофор управляется контроллером или вычислительным устройством. Обычный светофор контролирует движение машин, не обращая внимания на обстановку на перекрестке.

Наиболее распространенный способ управления светофорами – использование статистически фиксированных фаз. Однако такой подход испытывает значительные трудности из-за нестабильности транспортных потоков, которые меняются не только в течение дня, но и в более короткие промежутки времени. Именно поэтому в наши дни активно развиваются различные системы, позволяющие адаптивно учитывать изменение транспортных потоков. То есть системы, которые адаптируются к изменяющимся условиям движения [1].

Управление светофором – задача не из простых, довольно много алгоритмов используется для оптимизации работы светофора, таких как эволюционные алгоритмы, алгоритмы нечеткой логики, интеллектуальные алгоритмы и обучение с использованием (Q-Learning).

Q-Learning (Q-обучение) – это метод, используемый в искусственном интеллекте с агентным подходом. Агент обучается через взаимо-

действие с окружающей средой. Данное взаимодействие происходит через вознаграждения или наказания, получаемые агентом, как реакция на его действия.

Зеленая волна – это система регулирования светофоров, в которой их переключение на соседних перекрестках происходит так, что водитель, приближаясь к следующему перекрестку, видит перед собой зеленый сигнал светофора [2]. Этот метод управления светофорами довольно широко используется во многих странах. Опыт использования «зеленой волны» показал, что ее использование на автомагистралях увеличивает среднюю скорость более чем на 30%, приблизительно на столько же сокращаются задержки транспортных средств на перекрестках, а количество наездов пешеходов сокращается на 20%. Система получает информацию о дорожной обстановке через специальные датчики.

Существует широкий набор платформ, подходящих для моделирования транспортных систем, и этот набор постоянно становится больше. Моделирование в VISSIM и Transmodeler предоставляет много возможностей, но часто является необоснованно сложным и недоступным для специалистов в предметной области, поскольку требует глубоких знаний технологий моделирования. Некоторые инструменты (SIDRA Intersection и другие) позволяют моделировать только определенные типы объектов транспортной инфраструктуры.

Среда для моделирования транспортной системы создана на платформе AnyLogic 6, за основу взят агентный подход. Широкие возможности AnyLogic 6 по визуализации обеспечивают наглядность как на этапе создания модели, так и во время самих экспериментов.

Топология дорожной сети задается с помощью обычных презентационных форм AnyLogic – дуг и линий.

Объект RoadNetwork определяет дорожную сеть на основе нарисованной пользователем графики, проверяет сеть и анимирует дорожную сеть во время выполнения.

Объект CarSource запускает диаграмму потока трафика. CarSource создает автомобили, размещает их на одной из дорог и вставляет заказ типа Car в диаграмму процесса, определяющую автотрафик.

В этом случае максимальная вместимость автомобилей – одна тысяча. Затем они следуют по маршруту, заданному объектом CarMoveTo. Объект SelectOutput направляет входящие объекты на один из двух портов вывода. Таким образом, если машина поймает зеленый сигнал светофора, то она направит машины прямо, вправо или влево.

Относительные скорости движения транспортных средств и интервалы переключения светофоров взяты исходя из реальных данных (однако пропорционально увеличены – для получения результатов работы модели).

На реальных перекрестках, как правило, предусмотрены особые режимы проезда пешеходов. В текущей модели их нет. Поэтому количество проезжающего через перекрестки транспорта было несколько выше – до полутора раз.

Эксперименты показали, что лучший эффект многоагентного управления (в сравнении с обычным фиксированным переключением) достигается при изменении выделенных направлений нагрузки в сети пересечения. Благодаря гибкой перестройке режима работы удалось сократить среднее общее время ожидания на перекрестках одновременно примерно в 4 раза по сравнению с перекрестками без кооперативного режима работы (без «зеленых волн»). среднее общее время ожидания уменьшилось примерно в 3 раза.

Литература

1. Повышение пропускной способности городской дорожной сети [Электронный ресурс]. – Минск: Вестник ХНАДУ, 2016. – вып. 50.
2. «Зеленая волна»: как поймать и не потерять [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.autonews.ru/>. – Дата доступа: 19.03.2021.

В. С. Акулич

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **А. Т. Бельский**, канд. техн. наук, доцент

ЗАМЕНЯЮЩИЙ МЕХАНИЗМ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ РАСЧЕТЕ НА КОНТАКТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Кулачковые механизмы нашли применения в станках для подачи заготовок, в конвейерах и транспортерах для управления механизмами дозаторов, в двигателях внутреннего сгорания для перемещения выпускных и впускных клапаны.

К существенному недостатку кулачкового механизма относится наличие значительных контактных напряжений на поверхностях со-

прикасающихся звеньев, что приводит к повышенному износу трущихся поверхностей и уменьшению долговечности механизма.

Данная работа посвящена применению заменяющего механизма для определения контактных напряжений в зоне контакта толкателя с кулачком.

Для определения контактного напряжения σ_H в месте соприкосновения кулачка с коромыслом (рисунок 1) используем формулу Герца:

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{E_{\text{пр}} N}{b \rho}},$$

где $E_{\text{пр}}$ – приведенный модуль упругости;

N – нормальное давление в месте контакта;

b – ширина кулачка;

ρ – радиус кривизны профиля в точке соприкосновения.

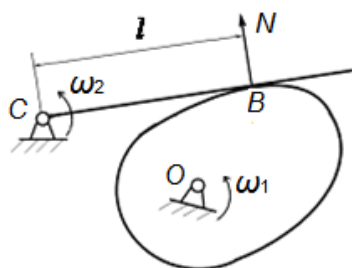


Рисунок 1 – Кулачковый механизм с плоским толкателем

Нормальную силу N , действующую в месте контакта, можно определить по зависимости:

$$N = \frac{\Sigma M_c}{l},$$

где ΣM_c – сумма моментов всех сил, действующих на коромысло за исключением нормальной силы N , относительно шарнира C .

l – длина коромысла до точки контакта.

С учетом значения нормального давления N зависимость для определения контактного напряжения принимает вид:

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{E_{\text{пр}} \Sigma M_c}{b \rho l}}.$$

Анализируя данную зависимость видно, что контактные напряжения могут быть определены только при известных значениях ρ и l в точке контакта. Для определения этих величин воспользуемся заменяющим механизмом, для которого строим повернутый план скоростей в масштабе $\mu_V = \omega_1$ (рисунок 2) и план ускорений в масштабе $\mu_a = \omega_1^2$ (рисунок 3).

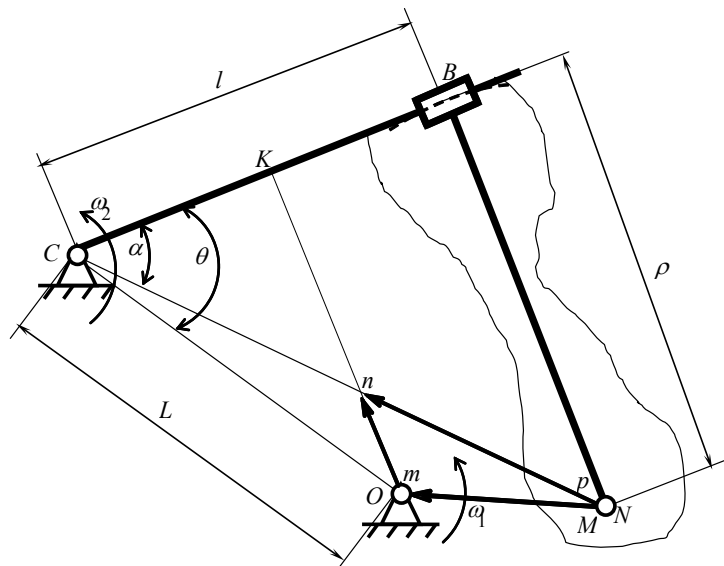


Рисунок 2 – Заменяющий механизм с планом скоростей

Из плана скоростей абсолютная скорость точки N коромысла определяется по зависимости:

$$V_N = \rho n \cdot \mu_V.$$

С другой стороны, абсолютная скорость точки N может быть найдена как

$$V_N = \omega \cdot l.$$

Приравнивая правые части этих уравнений нетрудно получить зависимость для определения длины коромысла до точки контакта

$$l = L \frac{\cos \theta}{1 - \frac{d\psi}{d\varphi}}.$$

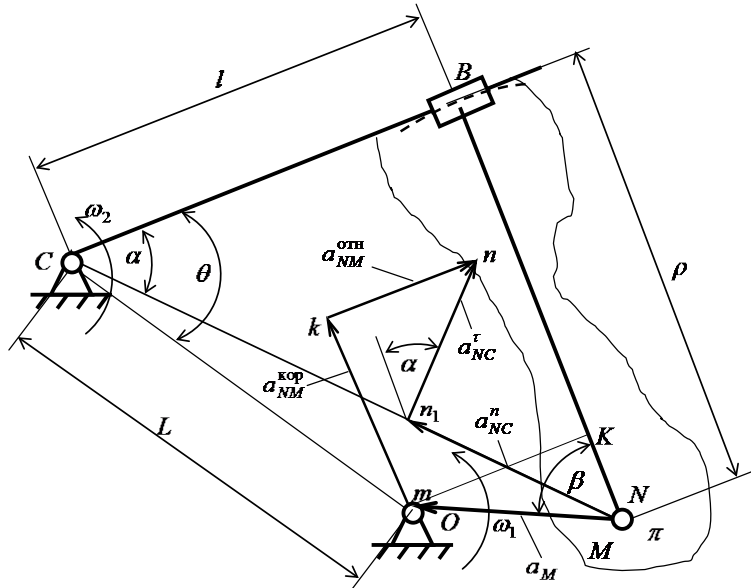


Рисунок 3 – Заменяющий механизм с планом ускорений

План ускорений для заменяющего механизма построим в соответствии следующего векторного уравнения

$$\vec{a}_N = \vec{a}_M + \vec{a}_{NM}^{\text{кор}} + \vec{a}_{NM}^{\text{отн}} = \vec{a}_N^n + \vec{a}_{NM}^\tau.$$

Учитывая, что $a_M = OM \cdot \omega_1^2$, $a_{NM}^{\text{кор}} = 2V_{NM} \cdot \omega_2$, $a_N^n = CN \cdot \omega_2^2$ и $a_N^\tau = CN \cdot \varepsilon_2$, после преобразований получили зависимость для определения радиуса кривизны ρ

$$\rho = L \frac{\frac{d^2\psi}{d\varphi^2} \cos \theta + \left(1 - \frac{d\psi}{d\varphi}\right) \left(1 - 2 \frac{d\psi}{d\varphi}\right) \sin \theta}{\left(1 - \frac{d\psi}{d\varphi}\right)^3}.$$

Используя заменяющий механизм, получены выражения для определения величин l и ρ в зависимости от закона движения толкателя необходимые для расчета контактных напряжений.

В. А. Андреев

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РЕАЛИЗАЦИЯ КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ МОДУЛЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАКАЗОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОЙКАМИ

Чтобы клиенты автомобильной мойки могли отслеживать готовность своего заказа в зале ожидания, был разработан модуль по мониторингу готовых заказов с использованием фреймворка Angular.

Основными частями модуля является секция, отвечающая за аудио-визуальное оповещение и секция, которая занимается логикой вывода на экран поступающих в очередь заказов.

При разработке первой секции использовался Web Audio API. Он предоставляет разработчикам возможность управлять источниками аудио внутри JavaScript, не используя никаких внешних проигрывателей. В случае описываемого приложения данный API использовался для проигрывания определённого аудио-файла. Для этого создаётся экземпляр класса `Audio`, параметром в конструкторе задаётся имя аудио-файла. Для проигрывания этого аудио необходимо у экземпляра класса вызвать метод `play()`.

В качестве фона на мониторе предусмотрено использование как графического изображения, так и проигрывание видео-потока с помощью YouTube API. Чтобы использовать безопасно такой источник видеоряда внутри `src`-атрибута соответствующего HTML-тега, в контроллере Angular необходимо передавать ссылку на поток видео в функцию `$sce.trustAsResourceUrl`. Настройка этих параметров производится пользователем на странице установок для модуля мониторинга заказов во всплывающем окне.

Вторая секция, отвечающая за логику построения очереди, отвечает за размещение объявления о готовности заказа в порядке очереди. При реализации необходимо учитывать проблему синхронизации с сервером. Для избегания проблемы дублированных данных используется функция сравнения очередей заказов: первая очередь – это поступающая с сервера через определённый интервал времени, вторая очередь – это та, которая уже находится в обработке на клиенте. С помощью функции `reservationQueuesDiff (newQueue, oldQueue)` происходит их сравнение по определённым заданным признакам. Таким

образом, при обновлении данных и наличии различий при сравнении, новый заказ будет добавлен в очередь для объявления.

А. В. Антоненко

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ «ИГРЫ ММО» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКА MERN

Web-приложение «Игры ММО», целью которого является отображение каталога игр, было разработано с помощью стека MERN.

Стек MERN – это JavaScript-стек, разработанный для упрощения процесса разработки. MERN включает в себя четыре компонента с открытым исходным кодом: MongoDB, Express, React и Node.js. Эти компоненты обеспечивают комплексную среду для работы разработчиков.

MongoDBNoSQL это нереляционная документно-ориентированная база данных. MongoDB не требует схем, в то время как традиционные реляционные базы данных имеют типичный дизайн схемы, основанный на столбцах и таблицах.

Express является базовой платформой web-приложений, структурой web-приложения для Node.js. Чтобы упростить задачу написания кода сервера, используются Express, вместо того, чтобы писать полный код web-сервера вручную на Node.js.

React – это библиотека JavaScript для создания пользовательских интерфейсов. React использует язык программирования JavaScript для создания повторяющихся или условных элементов DOM.

Node.js – это кроссплатформенная среда выполнения JavaScript. Он построен на движке Chrome V8 JavaScript. Node.js предназначен для создания масштабируемых сетевых приложений и может выполнять код JavaScript вне браузера.

Данное приложение было разработано с целью отображение каталога игр. В нем существует разграничение прав доступа к данным: администратор может добавлять, изменять и удалять игры, а обычные пользователи не имеют к этому функционалу доступа.

Пользователи без привилегий могут воспользоваться поиском игры, по таким параметрам как, жанру, стилистике, региону, модели оплаты, типу игры, году выпуска, читать ее описание, смотреть

скриншоты и видео из игры, и знакомиться с системными требованиями. Так же существует возможность следить за новостями игры, добавив ее в «Избранные».

С. Д. Бандарик
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **Б. А. Тонконогов**, канд. техн. наук, доцент

ОПТИМИЗАЦИЯ ШАГА ПОВОРОТНОГО МЕХАНИЗМА ФОТОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Системы ориентации фотоэлектрических модулей позволяют увеличить количество собираемой энергии. Однако неэффективное использование поворотного механизма приводит к потерям энергии. Так при слишком малом шаге поворотного механизма возникает значительный расход энергии на его функционирование, а также уменьшается срок службы самого механизма. При слишком большом шаге возникают потери в собираемой энергии.

Задачей поворотного механизма является поддержание оптимального угла между вектором нормали к фотоэлектрическому модулю и вектором падающего солнечного излучения. Прямой поток солнечного излучения S_r на поверхность, расположенную под углом β к данному потоку, рассчитывается по формуле [1]:

$$S_r = S_{r\max} * K * \cos \beta, \quad (1)$$

где $S_{r\max}$ – количество поступающей солнечной радиации; K – коэффициент поправки на воздушную массу.

Из формулы видно, что поток солнечного излучения зависит от нескольких факторов, однако в данном случае нас интересует косинус угла. На рисунке 1 приведена диаграмма, показывающая как меняется количество приходящей солнечной энергии в зависимости от угла.

Из графика можно сделать вывод, что отклонение угла падения солнечных лучей от нормали к фотоэлектрическому модулю на 5° приводит к потере 0,4% мощности, а отклонение в 10° приводит к потере 1,5% мощности, что является приемлемым. Тогда для эффективного ориентирования фотоэлектрических модулей угол между вектором солнечных лучей и вектором нормали к фотоэлектрическим модулям должен быть не более 10° .

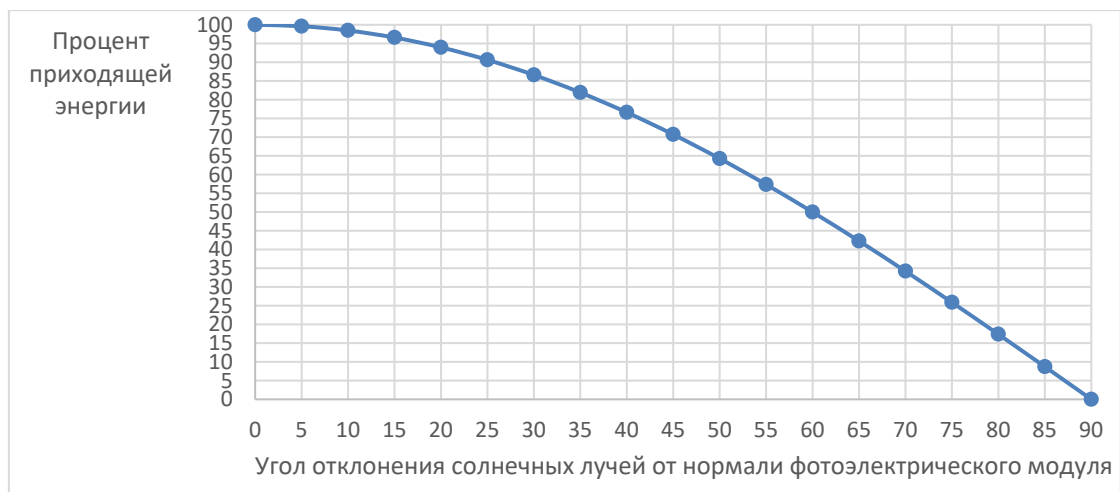


Рисунок 1 – Приходящая энергия от угла отклонения солнечных лучей

Проведя математическое моделирование работы фотоэлектрической станции, было установлено, что угол меньше 10° достигается при интервале ориентации в 30–40 минут.

Результаты данной работы могут использоваться при создании фотоэлектрических станций с системой ориентирования.

Литература

1. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / В. И. Виссарионова [и др.]; под общ. ред. В. И. Виссарионова. – Москва: МЭИ, 2008. – 320 с.

С. Д. Бандарик
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **Б. А. Тонконогов**, канд. техн. наук, доцент

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ НА ARDUINO

Для увеличения получаемой энергии многие фотоэлектрические станции используют системы слежения за солнцем. Для эффективной ориентации солнечных панелей используют датчики освещенности. Однако это не всегда удобно, так как датчики выходят из строя, загрязняются и усложняют конструкцию станции. Альтернативой может стать пассивная система на основе алгоритма, определяющего положение солнца в течении суток.

Для ориентации солнечных панелей необходимо знать положение солнца, которое определяется высотой и азимутом. Расчет данных параметров возможно произвести, используя алгоритм, приведенный Жаном Миусом в книге «Астрономические алгоритмы» для определения положения планет [1]. Оптимизировав этот алгоритм под положение Солнца, можно получить высоту и азимут Солнца в любой момент времени. Для этого необходимо вычислить долготу перигелия(w), эксцентриситет(e), среднюю аномалию(M):

$$w = 282.9404 + 4.70935 \cdot 10^{-5} \cdot d; \quad (1)$$

$$e = 0.016709 - 1.151 \cdot 10^{-9} \cdot d; \quad (2)$$

$$M = 356.047 + 0.9856002585 \cdot d, \quad (3)$$

где $d = \text{JD} - 2451543,5$ – номер года, а JD юлианская дата.

Необходимо вычислить наклон эклиптики (obl) и среднюю долготу Солнца (L):

$$obl = 23.4393 - 3.563 \cdot 10^{-7} \cdot d; \quad (4)$$

$$L = w + M. \quad (5)$$

Далее необходимо вычислить вспомогательный угол эксцентрической аномалии в первом приближении:

$$E = M + e \cdot \sin M \cdot (1 + e \cdot \cos M) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (6)$$

Вычисляем прямоугольные координаты Солнца с направлением оси X в сторону перигелия:

$$x = \cos E - e; \quad (7)$$

$$y = \sin E \cdot \sqrt{1 - e^2}. \quad (8)$$

Вычисляем долготу солнца:

$$\text{lon}_c = v + w, \quad (9)$$

где $v = \arctg(y/x)$ – истинная аномалия.

Далее вычисляем эклиптические прямоугольные координаты Солнца:

$$x_{\text{eclip}} = r \cdot \cos(\text{lon}_C); \quad (10)$$

$$y_{\text{eclip}} = r \cdot \sin(\text{lon}_C); \quad (11)$$

$$z_{\text{eclip}} = 0. \quad (12)$$

Поворачиваем эклиптические координаты в экваториальные:

$$x_{\text{equat}} = x_{\text{eclip}}; \quad (13)$$

$$y_{\text{equat}} = y_{\text{eclip}} \cdot \cos(\text{obl}) - z_{\text{eclip}} \cdot \sin(\text{obl}); \quad (14)$$

$$z_{\text{equat}} = y_{\text{eclip}} \cdot \sin(\text{obl}) + z_{\text{eclip}} \cdot \cos(\text{obl}). \quad (15)$$

Далее находим прямое восхождение(RA) и склонение(Decl):

$$\text{RA} = \text{arctg} \frac{y_{\text{equat}}}{x_{\text{equat}}}; \quad (16)$$

$$\text{Decl} = \text{arctg} \frac{z_{\text{equat}}}{\sqrt{x_{\text{equat}}^2 + y_{\text{equat}}^2}}. \quad (17)$$

Для вычисления высоты и азимута, необходимо определить положение Солнца в прямоугольных горизонтальных, а для этого необходимо вычислить часовой угол HA:

$$\text{HA} = \text{GMST0} + \text{UT} + \text{lon}_h - \text{RA}, \quad (18)$$

где GMST0=L+12 – звездное время на гринвичском меридиане в 00:00; UT – всемирное время; lon_h – земная долгота в часовой форме.

Теперь преобразуем часовой угол (HA) и склонение (Decl) Солнца в прямоугольную систему координат, где ось X указывает на небесный экватор на юге, ось Y – на горизонт на западе, а ось Z – на северный небесный полюс, расстояние устанавливается r = 1:

$$x = \cos(\text{HA}) \cdot \cos(\text{Decl}); \quad (19)$$

$$y = \sin(\text{HA}) \cdot \cos(\text{Decl}); \quad (20)$$

$$z = \sin(\text{Decl}). \quad (21)$$

Далее поворачиваем эту систему x, y, z вдоль оси, идущей с востока на запад. Северный полюс мира находится в зените и из этого следует, что угол вращения будет равен нулю. На других широтах угол поворота будет (90-lat). Это дает:

$$x_{\text{hor}} = x \cdot \cos(90 - \text{lat}) - z \cdot \sin(90 - \text{lat}); \quad (22)$$

$$y_{\text{hor}} = y; \quad (23)$$

$$z_{\text{hor}} = x \cdot \sin(90 - \text{lat}) + z \cdot \cos(90 - \text{lat}), \quad (24)$$

где lat – широта.

Для получения азимута и высоты солнца, преобразуем его в сферические координаты ($r = 1$):

$$\text{azimuth} = \text{arctg} \frac{y_{\text{hor}}}{x_{\text{hor}}}; \quad (25)$$

$$\text{altitude} = \arcsin(z_{\text{hor}}) = \text{arctg} \frac{z_{\text{hor}}}{\sqrt{x_{\text{hor}}^2 + y_{\text{hor}}^2}}. \quad (26)$$

На основе вычислений высоты и азимута солнца не составляет проблем определить оптимальное положение солнечных панелей. Оптимальным положением является то, при котором солнечные лучи перпендикулярны фотоэлектрическому модулю.

Для управления работой ориентации фотоэлектрической станции была написана программа для Arduino Uno, которая регулирует положение фотоэлектрических модулей в зависимости от положения Солнца. Для работы программы необходимо указать долготу и широту, а также подключить и настроить часы реального времени. Программный модуль разрабатывался в среде программирования Microsoft Visual Studio на языке C++.

Литература

1. Meeus, J. *Astronomical Algorithms* / Jean Meeus. – Richmond: Willmann-Bell, 1998. – 477 p. – ISBN 978-0943396613.

П. К. Банза

(ГГТУ имени П. О. Сухого)

Науч. рук. **В. В. Комраков**, канд. техн. наук, доцент

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ МОДУЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МАШИНЫ ТРЕНИЯ

Известно, что для повышения эффективности какого-либо вида деятельности человека, необходима его автоматизация. При этом

очень важно проводить автоматизацию не только опасной для человека деятельности, но также рутинных операций, например проведения трибологических исследований различных материалов.

В работе [1] проведен анализ существующих схем трибологических испытаний [2]. Были выявлены элементарные вращательное и поступательное движения.

На основании этого в работе [1] был предложен модульный принцип построения машины трения. С этой целью было предложено создать два типа модулей:

1. модуль вращательного движения;
2. модуль поступательного движения.

В данной работе рассматривается программное обеспечение для управления работой модуля вращательного движения машины трения, который состоит из шагового двигателя (NEMA17), на вал которого установлен образец цилиндрической формы. Один или два модуля вращательного движения могут реализовать различные схемы трибологических испытаний.

В качестве аппаратной платформы для управления модулем применялась плата Arduino 2560 с платой расширения Ramps 1.4 с установкой на последней драйверов шаговых двигателей DRV8825 и подключением дисплея LCD 12864. Схема подключения приведена на рисунке 1.

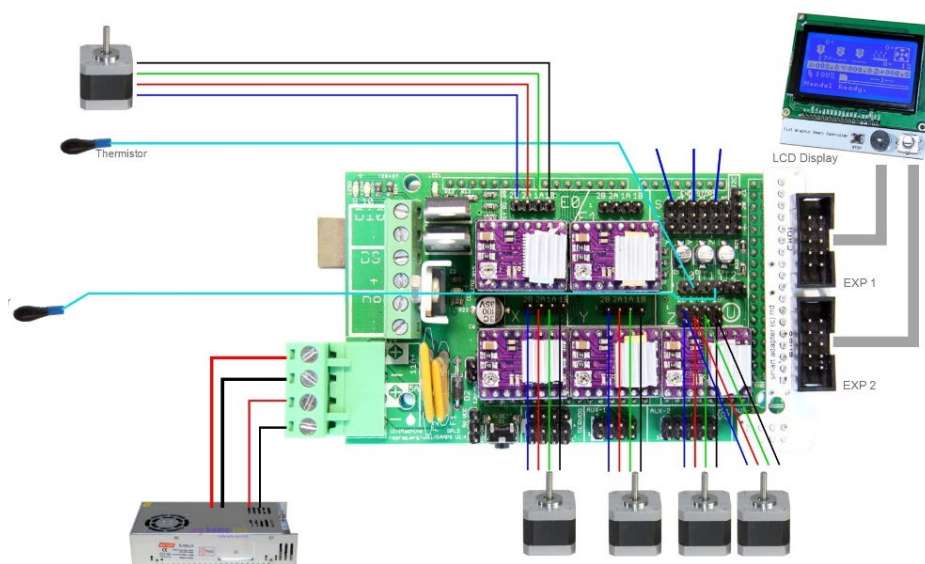


Рисунок 1 – Схема подключения

Для управления шаговым двигателем в Arduino применялась стандартная библиотека Stepper. С ее помощью устанавливается

скорость вращения шагового двигателя, а также устанавливается число шагов. Это позволяет вращаться двигателю определенное число оборотов на заранее установленной скорости.

Для работы с дисплеем LCD 12864 применяли библиотеку U8glib. При этом на дисплей выводится текстовая информация об установленных параметрах вращения шаговых двигателей.

Плата Arduino 2560 подключается к порту USB компьютера.

Для управления работой двух модулей вращательного движения было создано программное обеспечение на языке высокого уровня Python. Средой разработки являлась PyCharm Community IDE.

Программное обеспечение имеет графический интерфейс, который реализован с помощью библиотеки PyQt5. Для разработки шаблона интерфейса применялась среда Qt Designer. На данный момент программное обеспечение обеспечивает ввод частоты вращения двух двигателей и время их работы, а также передает эти данные в Arduino 2560 через Serial-порт. Для работы с этим портом необходима установка в PyCharm библиотеки PySerial. Программное обеспечение дополнительно обеспечивает сканирование имеющихся в системе Serial-портов с возможностью выбора одного из них для подключения и установкой скорости передачи данных.

Для получения данных платой Arduino 2560 применяется набор функций Serial. Для передачи данных используются цифровые порты ввода/вывода 0 и 1, а также USB-порт.

В качестве примера на рисунке 2 приведена реализации схемы «два вращающихся вала». При этом два модуля вращательного движения установлены на кронштейнах и неподвижно закреплены при помощи винтов.

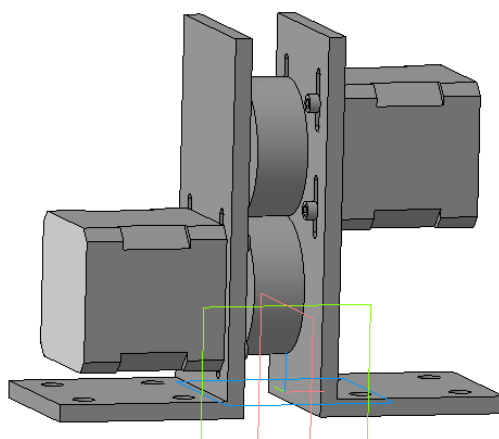


Рисунок 2 – Схема установки для реализации схемы испытаний «два вращающихся вала»

Модульный принцип построения машины трения позволит провести реализацию трибологических испытаний не только по рассмотренным выше схемам трения, но и добавить новые элементы, реализующие другие схемы трения, а также проводить дальнейшие работы по автоматизации машины трения.

Литература

1. Банза П. К. Роботехнический комплекс для проведения трибологических испытаний // Современные проблемы математики и вычислительной техники: сборник материалов XI Республиканской научной конференции молодых учёных и студентов. – 2019. – С. 7–9.
2. Технические характеристики. Испытательная машина 2070 СМТ-1. 2012 г. – Электрон. данные. URL: <https://zapadpribor.com/2070-smt-1/>. – Дата обращения 04.08.2020.

М. С. Березовский

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

О ТЕСТИРОВАНИИ РАЗРАБОТАННОГО ИГРОВОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «SPACESHIP»

В современном программировании на равном уровне с разработкой программного продукта стоит его качество. Хорошей практикой для обеспечения качества разработанного продукта является создание сценариев различного рода использования приложения, а также покрытие исходного кода программы тестами.

Для покрытия исходного кода разработанного игрового приложения «Spaceship» был создан отдельный проект, предназначенный для хранения и запуска тестов. В данном проекте были созданы блочные тесты. Основное назначение блочных тестов – тестирование каждого блока (модуля) исходного кода программы вне зависимости от других модулей. Для корректного функционирования данных тестов был использован фреймворк, позволяющий предоставлять «поддельные» данные модулю, тестирование которого производится вместо данных, которые должен был предоставлять другой модуль.

Для тестирования и проверки логики приложения были написаны интеграционные тесты, которые позволяют тестировать модули вместе, а также взаимодействия между ними.

Предпринятые выше меры по контролю качества, имеют важное значение в дальнейшей разработке приложения. При внесении нового функционала может быть затронута уже разработанная функциональность, и, запустив тесты, можно достаточно просто убедиться, повлекло ли изменение ошибки, если да, то достаточно просто определяются места, в которых они находятся.

Для тестирования приложения был так же использован подход со стороны пользователя, то есть, были созданы различные ситуации, которые могут возникнуть в процессе использования. После чего, на рабочем экземпляре приложения, они были проверены.

Применение всех вышеперечисленных подходов позволило выявить несколько ошибок в игровом приложении. После их выявления они были исправлены.

При разработке серверной части приложения, был использован язык программирования C# и платформа ASP.NET Core. Игровое приложение работает под операционной системой Windows без установки специализированных дистрибутивов.

В. В. Брель

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. М. Березовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ МЕНЕДЖЕРА АГЕНТСТВА НЕДВИЖИМОСТИ

Разрабатываемый программный продукт предназначен для автоматизации работы менеджера агентства недвижимости. Приложение позволяет хранить данные о продаваемой недвижимости, штате сотрудников и клиентах агентства, что в свою очередь ускоряет многие действия, такие как: поиск необходимой информации, оформление при покупке, добавление/изменение имеющейся информации.

Предлагаемое десктопное приложение по автоматизации работы менеджера агентства недвижимости содержит следующий минимально необходимый для работы функционал:

- Отображение списка записей;
- Добавление новых записей;

- Изменение записей;
- Удаление записей;
- Поиск среди записей;
- Создание отчета;
- Сортировка среди записей.

При запуске приложения открывается форма авторизации, требующая ввода личного логина и пароля. После успешного ввода будет осуществлен переход на главную форму программы, а при некорректно введенных данных будет выведено информационное сообщение об этом. На полях ввода стоит защита от ошибок ввода и проверка на корректность введенных данных.

На главной форме, приведенной ниже, находится основная информация о недвижимости и существующем функционале.

Приложение имеет интуитивно понятный интерфейс, т.е. для пользования разработанной программой не требуется специальное обучение и инструкции, присущие программам, работающим под управлением операционной системы Windows, что позволяет использовать разработку широкому кругу людей, работающих в данной сфере.

id	oblast	adress
5	Гомельская область	Ветковский район, ул. Садоводческое товарищество Мечта, дом 5
9	Гомельская область	Ветковский район, деревня Хальч
16	Гомельская область	г. Мозырь, ул. Пушкина, дом 23
18	Гомельская область	г. Речица, ул. 40 лет Октября, дом 60
21	Гомельская область	г. Речица, ул. Молодёжная, дом 5
24	Гомельская область	г. Хойники

Оформить док. на покупку
 Электричество
 Интернет
 Мебель
 Обустроенная ванная ком.

Горячая вода
 Газ
 Телефон
 Обустроенная кухня

Для работы программного продукта потребуется подключение базы данных к MS SQL Server, который может быть установлен на сервере, либо на определенном компьютере и файл для запуска в виде «АРМ Агентство Недвижимости.exe». В случае подключения базы данных к серверу, вход в программу возможен с любого компьютера подключенного к сети заданного сервера, а также будет доступна возможность работы в многопоточном режиме.

Разработанное приложение реализовано на языке программирования в Delphi и является бизнес актуальным.

Н. С. Буйновец

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЧАМИ

Управление задачами – это область деятельности, в ходе которой определяются и достигаются чёткие цели проекта при балансировании между объёмом работ, ресурсами, временем, качеством и рисками. Ключевым фактором успеха проектного управления является наличие заранее определённого чёткого плана, минимизации рисков, эффективного управления изменениями и отклонений от плана.

Методология Scrum [1] – это процессный фреймворк, основанный на теории эмпирического управления, в рамках которого самоуправляемая команда разрабатывает продукт, следуя итеративно-инкрементальному подходу. По итогам каждого, ограниченного во времени, спринта разрабатывается инкремент продукта, потенциально готовый к релизу. Scrum-доска отлично подходит для того, чтобы отследить статус каждого этапа проекта. Каждый участник может в любое время получить доступ к Scrum-доске, где становится понятно, что требуется на данном этапе. Методология управления проектами Scrum построена на принципах тайм-менеджмента. Scrum доска помогает организовать работу командам, планирующим работу с помощью спринтов. То есть за определенный период времени команда создаёт версию продукта, потенциально готовую к выпуску.

Данная работа посвящена созданию программного средства для управления задачами посредством Scrum-доски. В бэклоге находится список задач, из которого при планировании спринта будут переноситься задачи. Задачи на доске располагаются в соответствии со статусом. При выполнении задачи, пользователь обновляет прогресс и статус задачи, передвигая её по доске. Для отслеживания прогресса выполнения задач текущего спринта используется диаграмма. Она обновляется каждый день и после выполнения каждого задания кривая падает и отображает оставшуюся трудоёмкость.

При создании приложения в качестве среды разработки использовался Visual Studio Code. В качестве СУБД используется MySQL. Информация из базы данных передаётся посредством REST-сервиса.

Литература

1 Сазерленд, Д. Scrum. Революционный метод управления проектами / Д. Сазерлен. – МИИФ, 2015. – 288 с.

А. Е. Булай, С. Б. Протосовицкая

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. М. Кадан**, канд. техн. наук, доцент

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ГОЛОСОВЫХ ПОМОЩНИКОВ НА ПРИМЕРЕ НАВЫКОВ УМНОЙ КОЛОНКИ ЯНДЕКС АЛИСА

Технологии развились до того уровня, когда у большинства людей в кармане находится средство управления огромным количеством информации и инструмент, способный решать задачи огромных масштабов – телефон. Люди не задумываясь пользуются поиском, онлайн-сервисами, слушают музыку и смотрят фильмы. Но на бытовом уровне люди все же привыкли общаться голосом, разговаривать. С этой идеей был создан голосовой помощник.

Темп и динамика жизни приводят к тому, что у людей нет времени читать длинные сообщения, у них даже нет времени писать текст. Поэтому все чаще пользуются голосовыми помощниками (иначе их называют голосовыми ассистентами).

«Яндекс Алиса» – виртуальный голосовой помощник, который уникален своей человечностью. С ним, точнее с ней, можно общаться, она распознает речь, поддерживает диалог, шутит, иногда вольничает и острит, дает ответы на вопросы и, благодаря запрограммированным навыкам, решает простые прикладные задачи.

Что происходит, когда Алисе задают вопрос? Сначала помощник распознает голос пользователя и превращает его в текст. Эта технология называется SpeechKit. В Алисе собрано более миллиарда сообщений с разными голосами, произношениями и акцентами. После распознавания, Алиса проецирует фразу в семантическое пространство широкой размерности. В этом пространстве находится множество точек. Каждая точка этого пространства – это высказывание, которое имеет свою тему. Далее голосовой помощник находит необходимое место и сравнивает запрос с подходящим ответом. Предугадать, что она ответит невозможно. Когда ответ выбран, Алиса его произносит с помо-

щью технологии Text-to-Speech и нейросети, что придает голосу натуральности.

Возможности голосового помощника огромны. Алиса знает сказки, заказывает такси, играет в викторины и многое другое. Что самое важное, голосовой помощник могут обучать сами пользователи путем создания своих ботов, добавления своих сервисов, то есть навыков. Например, учить английский язык или решать математические задачи.

В работе рассматривается задача программирования навыков для голосового ассистента Алиса. Под навыком будем понимать сервис, реализующий диалог, который запускается некоторой командой и расширяет возможности голосового ассистента.

Разработка навыков для Алисы сводится к созданию веб-сервисов на платформе Яндекс.Диалоги. Веб-сервис можно разрабатывать на любом языке программирования (например, Python, PHP и др.) или использовать для этого веб-фреймворки и визуальные конструкторы (Aimylogic, Dialogflow, Verter, AlfaBot, AlicePro или PipeBot и др.). Функционально навык ожидает активационную команду пользователя и должен корректно реагировать на нее.

В работе рассматривались методы создания навыков, связанных с задачей цифровизации работы организаций. Создавались навыки двух типов. Навыки общего типа, для обработки запросов, связанных с доступом к базам данных учебного процесса, - поиск в расписании занятий, учебных планах, поиск сотрудников, студентов и свободных аудиторий. А также навыки умного дома, связанные с управлением умными устройствами для поддержки экологии аудиторий и кафедр.

Ко всей полезности и красоте технологии, существуют пару недостатков:

- Что касается платформы Яндекс.Диалоги, бывает, что добавленный навык не проходит модерацию. Причиной может служить слишком общее имя навыка, например, «погода в Гродно», что схоже с «погода в Минске»;
- Документация платформы Яндекс.Диалоги не всегда соответствует действительности, так как платформа развивается слишком быстро;
- Конфиденциальность.

Последний пункт хочется выделить особенно: Алиса не слышит пользователя до момента ее активации голосом с помощью уникального слова для ее включения или кнопкой. Помимо этого, вся информация, которую сообщают Алисе, проходит сложное и надежное

шифрование. Однако, при использовании голосовых помощников или умных колонок рекомендуется ограничить действия, которые они могут совершать, а также избавиться от случайной активации путем определения уникального слова для его включения.

Голосовые помощники облегчают повседневную жизнь людей, помогают людям с ограниченными возможностями, дают ресурсы для реализации потребностей своих пользователей. Однако, следует не забывать про внимательное отношение к своим данным.

В. Ю. Бурикин

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

ОДИН ПОДХОД К ИЗВЛЕЧЕНИЮ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ С СЕРВЕРА WHO

Наступило время, когда организации, научно-исследовательские центры, социальные сети начинают использовать большие данные. Для некоторых это могут быть сотни гигабайт данных, а для других – сотни терабайт. По мере совершенствования средств для работы с большими наборами данных, изменяется и значение больших данных. Зачастую этот термин связан со значением, которое можно извлечь из наборов данных с помощью расширенной аналитики, а не исключительно с размером данных. Хотя в этих случаях они обычно достаточно большие.

В данной работе рассматривается один из подходов, который может использоваться для извлечения больших данных, предлагаются варианты хранения, обработки, анализа и сортировки данных. Для приобретения практических навыков работы с большими данными рассматривались преимущества и недостатки разных методов решения поставленной задачи: получения, обработки и систематизации данных с сайта WHO (World Health Organization). Для реализации поставленной цели были выбран программный инструмент StreamSets и Microsoft SQL Server Management Studio.

В результате были разработаны средства автоматизации, позволяющие извлекать, хранить, обрабатывать, фильтровать и анализировать неструктурированные данные, полученные с сайта WHO в формате csv (годовая смертность в разных странах от 10 болезней). Для

работы с ними в StreamSets был создан пайплайн и в него были добавлены необходимые инструменты (рисунок 1).

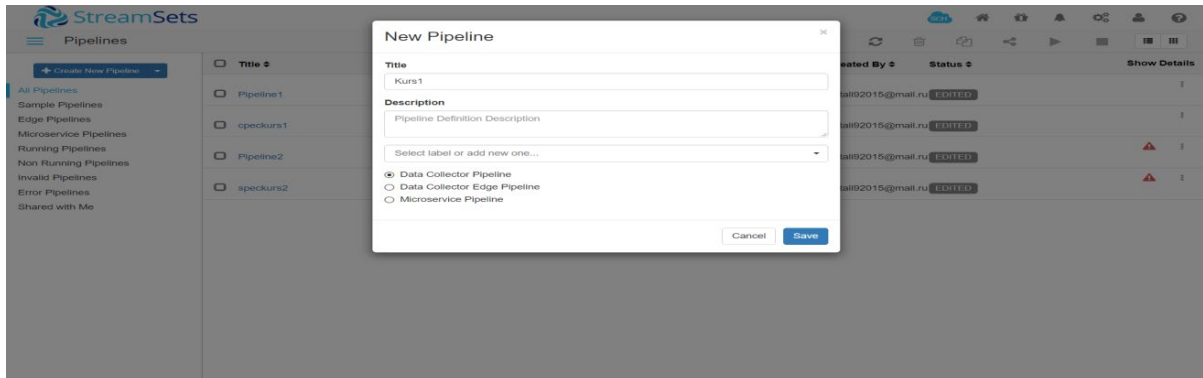


Рисунок 1 – Окно для создания пайплайна в StreamSets

Directory – для указания откуда берутся данные и определения их формата. В поле Header Line выбираем With Header Line. Это позволит использовать верхнюю строку csv файла в качестве заголовка, а в нашем случае, названия поля (рисунок 2).

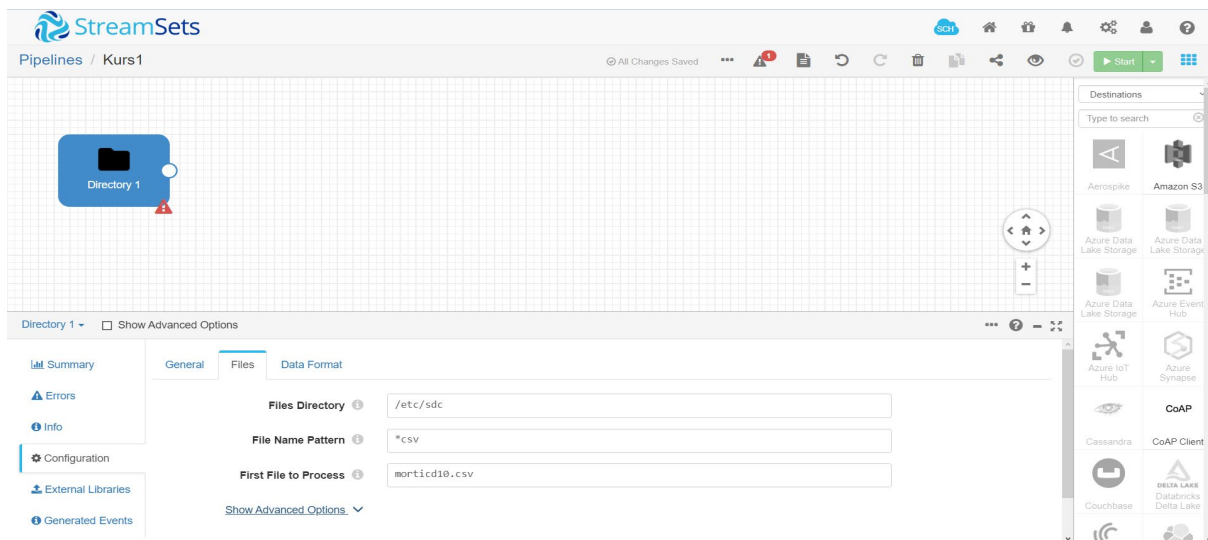


Рисунок 2 – Окно настройки параметров получения данных и определения их формата

С помощью Field Remover происходит фильтрация, выбираем какие именно данные из исходного файла мы хотим получить, посредством выбора нужных нам столбцов. Обрабатываем наши данные, Field Type Converter – конвертирует выбранные поля в нужный нам тип данных (рисунок 3).

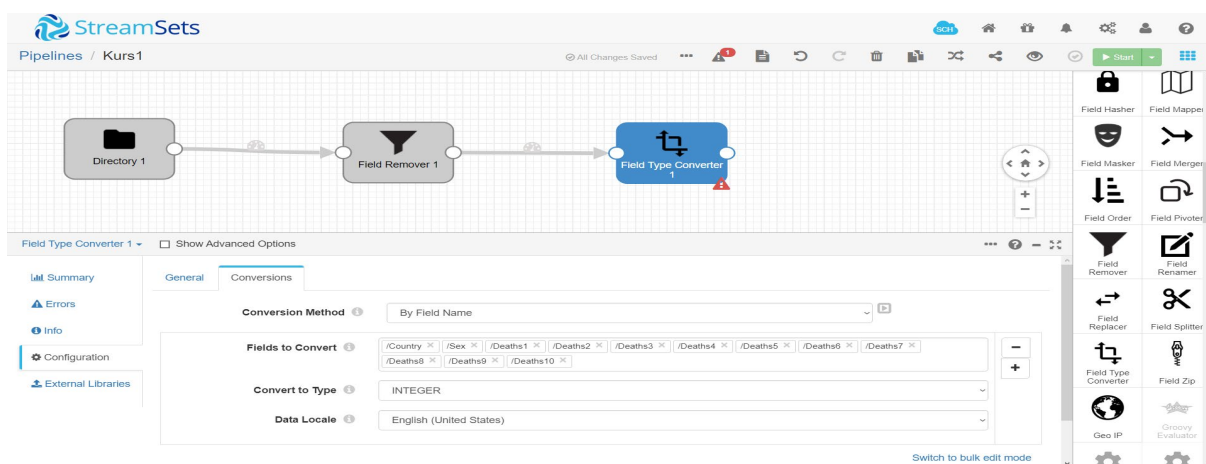


Рисунок 3 – Окно настройки параметров фильтрации и преобразования типа к нужному формату

/Code	/Country	/Admin1	/SubDiv	/Year	/List	/Cause	/Sex	/Frmate	/IM_Frmate (Show More... Show All...)	/Country	/Year	/Sex	/Deaths1	/Deaths2	/Deaths3	/Deaths4	/Deaths5	/Deaths6	/Deaths7 (Show More... Show All...)
"1"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1000"	"1"	"01"	"08"	4012	2001	1	23725	769	349	203	114	74	285
"2"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1000"	"2"	"01"	"08"	4012	2001	2	21559	613	300	163	81	68	221
"3"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1001"	"1"	"01"	"08"	4012	2001	1	1069	75	41	8	13	3	7
"4"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1001"	"2"	"01"	"08"	4012	2001	2	463	74	36	9	3	2	16
"5"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1002"	"1"	"01"	"08"	4012	2001	1	0	0	0	0	0	0	0
"6"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1002"	"2"	"01"	"08"	4012	2001	2	0	0	0	0	0	0	0
"7"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1003"	"1"	"01"	"08"	4012	2001	1	80	51	25	2	1	0	0
"8"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1003"	"2"	"01"	"08"	4012	2001	2	87	50	27	1	1	1	4
"9"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1004"	"1"	"01"	"08"	4012	2001	1	30	3	3	3	5	0	2
"10"	"4012"	"	"	"2001"	"101"	"1004"	"2"	"01"	"08"	4012	2001	2	21	4	1	3	0	0	1

Рисунок 4 – Окно с полученными и преобразованными данными

Далее с помощью Microsoft SQL Server Management Studio информация, оформленная в виде базы данных, может быть отсортирована по нужным критериям, отредактирована и пополнена новыми данными (рисунок 5).

Излагаемый в докладе подход является новым и ещё только начинает развиваться, что позволяет говорить об его актуальности и перспективности.

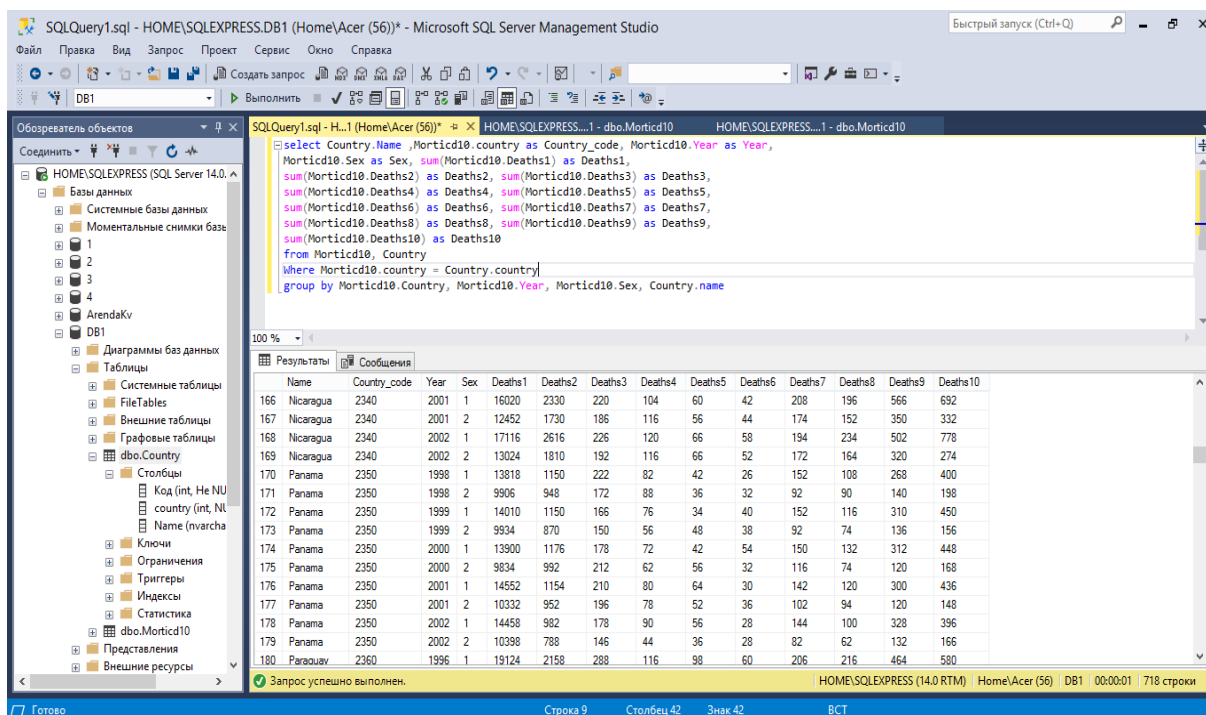


Рисунок 5 – Окно преобразования и упорядочения данных

А. А. Буторин

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

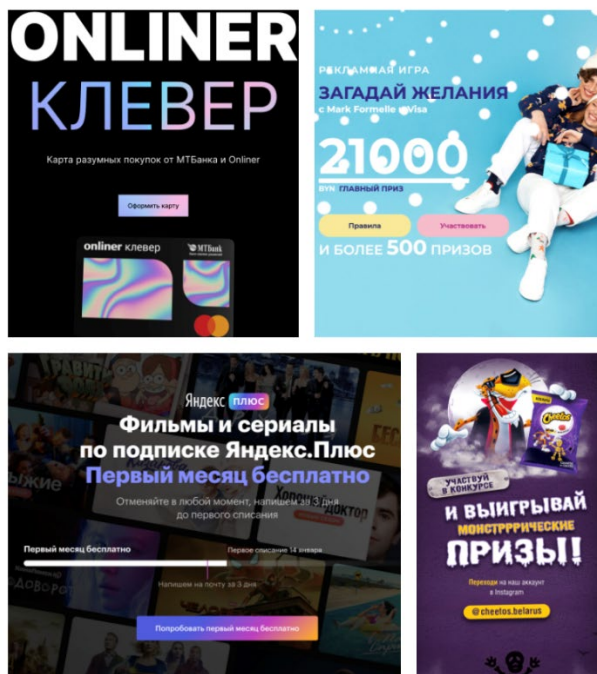
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА WEB-САЙТА «РЕКЛАМНЫЕ ИГРЫ И АКЦИИ В БЕЛАРУСИ»

В настоящее время огромное количество людей ищет информацию о различных акциях. Предлагаемый web-сайт ориентирован в данном направлении. Оформление сайта сделано в достаточно простом стиле. На главной странице, представленной на рисунке, содержатся текущие рекламные игры и акции в виде плиток. Если пользователь хочет узнать об акции подробнее, он нажимает на рекламную плитку и попадает на отдельную страницу, посвященную данной акции с кратким описанием всех требований и возможностью перейти к основной странице акции на сайт компании, предоставляющей эту акцию.

Результатом работы стал готовый к работе web-сайт. При разработке сайта были использованы языки JavaScript, HTML и PHP.

Актуальные акционные объявления
на текущий месяц.



С. В. Василенко, Б. А. Корбут
(БГУ, Минск)

Науч. рук. С. Н. Семенович, канд. техн. наук

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КАЛИБРОВКИ ДАТЧИКА НАПРАВЛЕНИЯ НА СОЛНЦЕ

Калибровка – стандартная процедура в производстве датчиков которая производится для повышения их точностных характеристик. В данной работе представлен разработанный программно-аппаратный комплекс (АПК) для автоматизированной калибровки цифровых датчиков направления на Солнце университетского наноспутника БГУ – BSUSAT-2. Комплекс состоит из управляемого моторизованного двухосевого поворотного станда, управляющего программного обеспечения (ПО), интерфейсного модуля для подключения датчика к компьютеру. Автоматизация процесса позволит существенно сократить человеческие трудовые и временные затраты, обеспечить повторяемость и повысить точность процедуры.

Разработанный стенд (рисунок 1) обеспечивает калибровку датчика в диапазоне $\pm 80^\circ$ по зенитному и 360° по азимутальному углам. Конструкция стенда не препятствует световому потоку имитатора излучения Солнца, направляемому на датчик.

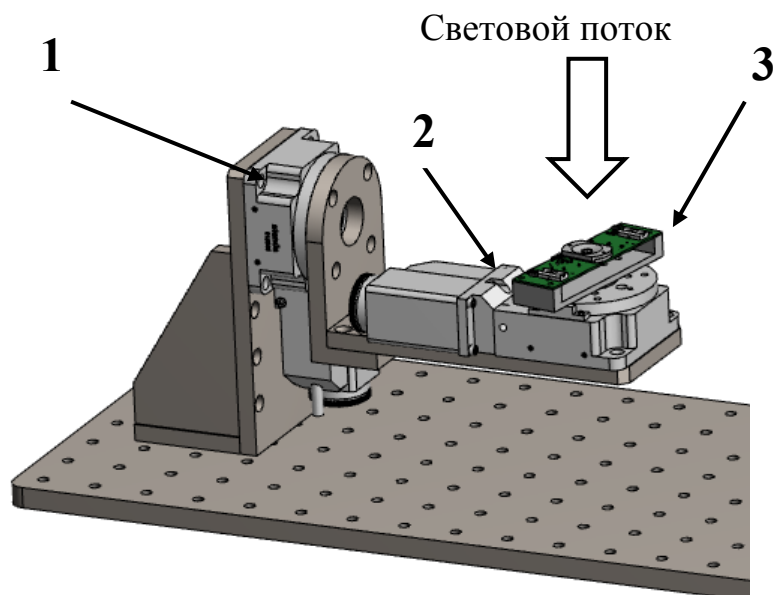


Рисунок 1 – Внешний вид калибровочного стенда
1, 2 – двигатели вращения по зенитному и азимутальному углам,
3 – плата солнечного датчика

Искусственные имитаторы Солнца, как правило, имеют весьма ограниченную область однородности интенсивности излучения и параллельности лучей. Поскольку изменения параметров светового потока во время калибровки сказывается на показаниях датчика, то чувствительная область сенсора была размещена на пересечении поворотных осей двигателей, и это позволило минимизировать амплитуду паразитных пространственных перемещений датчика во время калибровки.

Перемещение датчика реализовано с помощью двух моторизованных поворотных платформ 8MR151-MEn1 производства компании Standa [1]. Эти шаговые двигатели с разрешением шага 0.6 угловых минуты поддерживают микрошаговый режим – $1/256$ полного шага. Управление двигателями обеспечивает двухосевой контроллер 8SMC5-USB-B9-2. Производитель контролера предоставляет программную библиотеку для управления двигателями через виртуальные последовательные порты (VCP) операционной системы ПК.

Плата солнечного датчика подключается к системной плате наноспутника по интерфейсу I2C. Для получения данных с датчика во

время калибровки был создан дополнительный интерфейсный модуль I2C ↔ USB на основе микроконтроллера STM32F103. Аппаратный блок USB микроконтроллера был настроен на работу в режиме класса коммуникационных устройств (CDC).

Датчик направления на Солнце построен на основе двумерного позиционно-чувствительного оптического сенсора HAMAMATSU S5990, первичной выходной величиной которого являются четыре канала фототоков. Углы ориентации рассчитывается на основе соотношения токов и конструктивных параметров датчика.

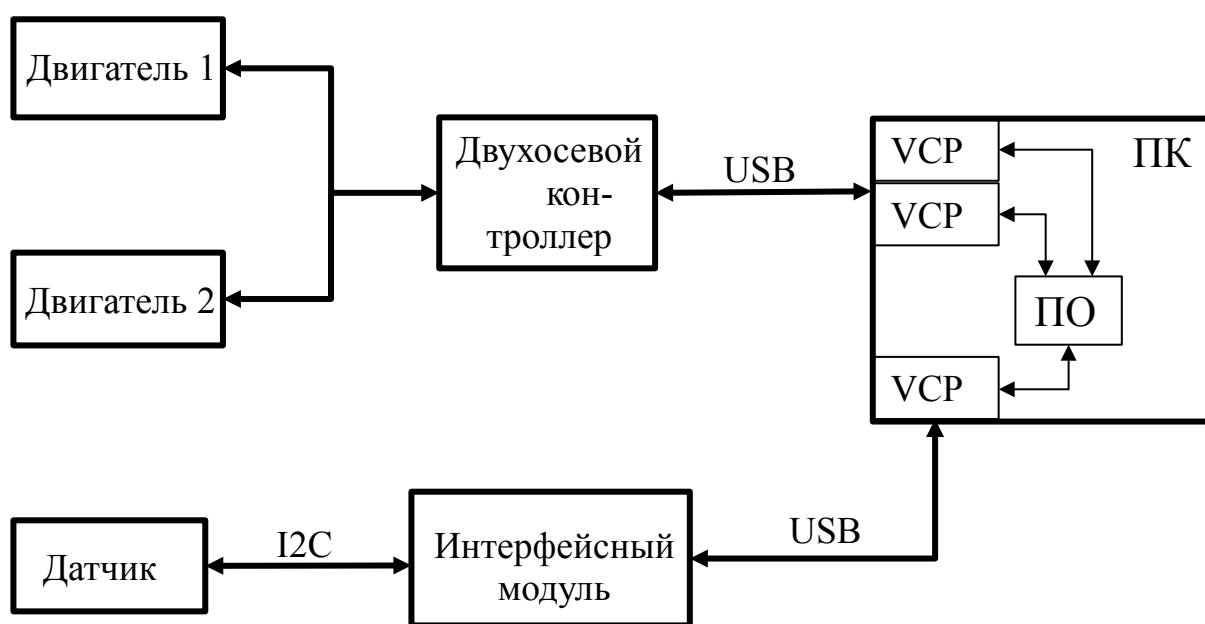


Рисунок 2 – Структурная схема АПК

Программа управления комплекса и ее графический интерфейс (рисунок 3) реализованы в среде Matlab. В программе определяются СОМ-порты контролера двигателей и интерфейсного модуля платы датчика, название выходного файла для сохранения измерительных данных, уникальный I2C-адрес датчика. Предусмотрена возможность ручного управления двигателями для начальной установки датчика перпендикулярно направлению световых лучей автоколлимационным методом [2]. По обеим осям вращения настраиваются начальные и конечные углы, угловой шаг. Задаётся количество и интервал измерений. Предусмотрены кнопка мгновенной остановки процесса, вывод информации о текущем положении стенда, строка состояния.

Выходной файл генерируется в формате csv и содержит 7 столбцов: время измерения в мс, зенитный, азимутальный углы ориентации стенда и соответствующие им показания 4-х токовых каналов датчи-

ка. Калибровочная функция рассчитывается на основе экспериментальных данных.

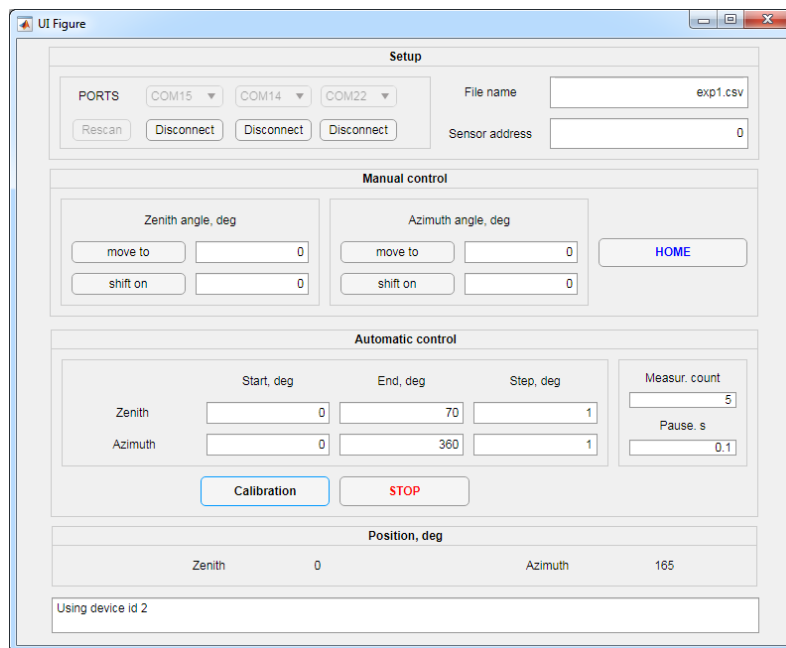


Рисунок 3 – Графический интерфейс программы управления

Литература

1. 8MR151 – Motorized Rotation Stages [Electronic resource] // Standa. LTD, – Mode of access: http://www.standa.lt/products/catalog/motorised_positioners?item=9. – Date of access: 28.03.2021
2. Афанасьев, В. А. Автоколлимационный приборы / В. А. Афанасьев, А. М. Жилкин, В. С. Усов. – М.: Недра, 1982. – 144 с.

А. В. Веренчикова
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. А. А. Зайцев, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПИСАТЕЛЕЙ

Проблематика. Написание текстов — занятие не из лёгких. Создание текста состоит из уймы этапов, включающих сбор идей, выбор нужных инструментов для написания и технические моменты вроде

вычитки и редактирования. Нередко процесс проработки мира произведения, хронологической ленты, локаций и идейных акцентов быстро становится запутанным или даже начинает казаться безнадежным.

Цель работы. Задачи курсового проекта включают в себя изучение особенностей предметной области, определяющей тему курсового проекта, изучение методов концептуального, логического и физического проектирования реляционных баз данных, создание программного приложения с оригинальным дизайном.

Полученные результаты: было разработано клиент-серверное приложение для писателей, позволяющее автоматизировать и локализовать процесс создания произведения. С помощью данного приложения пользователь имеет возможность подробно прорабатывать характеры персонажей, сюжетные вехи, а также – локации происходящих событий. Был придуман оригинальный дизайн всех использовавшихся в оформлении деталей: логотип приложения, дизайн экранов, таблиц и баннеров. Создана база данных, позволяющая хранить разнообразную информацию о книге, персонажах и локациях. Приложение интуитивно понятно и содержит в себе возможность хранить материалы из нескольких сервисов в одном: от маленькой заметки и до отрывка из текста произведения.

А. Н. Гайдук, А. Судан

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Скаскевич**, канд. техн. наук, доцент

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА ШАРОВОГО КРАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Шаровые краны ДУ 25 применяют в качестве элементов трубопроводной арматуры в разных отраслях народного хозяйства при транспортировке различных сред: воды, масла, пара, природного газа и других сред, которые не оказывают агрессивного воздействия на материалы деталей крана. Герметизация подвижного уплотнения реализуется за счет применения пары седел, выполненных из политетрафторэтилена марки Ф-4, или ее аналогов, рабочая поверхность которых повторяет радиус кривизны сопрягаемого шара. Такое конструкторское решение усложняет процесс изготовления седел шаровых кранов. Упрощение конструкции уплотнительного седла крана

позволило бы сократить затраты на его изготовление. Для реализации поставленной задачи необходимо изменить конструкцию корпусных деталей шарового крана. Процессы оптимизации машиностроительных деталей предполагают создание их прототипов путем построения трёхмерных моделей с помощью программных продуктов по автоматическому проектированию. Отечественный инструментарий для автоматического проектирования включает программный продукт «КОМПАС–3D», предназначенный для создания трехмерных моделей и сборочных единиц на основе оригинальных и стандартизованных конструктивных элементов.

Целью данной работы было оптимизировать конструкцию корпуса шарового крана ДУ 25, производства УП «Цветлит» (г.Гродно), выпускаемую по литейной технологии из латунного сплава. При этом необходимо было обеспечить сохранение эксплуатационной надежности конструкции корпуса, с повышением технологичности процессов сборки изделия.

Анализ деталей, построенных методом конечных элементов, заключается в аппроксимации сплошной среды с бесконечно большими числами степеней свободы совокупностью элементов (подобластей), имеющих конечные числа степеней свободы. Между этими элементами устанавливается взаимосвязь. Для полученных прототипов методом конечных элементов проведена оценка напряженно – деформированного состояния конструкторских решений в составе корпуса и крышки шарового крана ДУ 25 [2, 3]. Результаты анализа указывают на отсутствие областей с критическими значениями внутренних напряжений, что свидетельствует о возможности применения предложенного конструкторского решения (рисунок 1).

Для получения 3-прототипа данных деталей использовали 3D-принтер, основанный на FDM-печати путем послойного наплавления. Управление процессом FDM-печати осуществляется с помощью программ-слайсеров, создающих G-код, управляющий процессом печати. Печать прототипа оптимизированного корпуса шарового крана осуществляли с параметрами, рекомендованными производителем филамента (температура печати – 220°C, скорость печати – 40 мм/сек, толщина слоя печати – 0,1 мм).

На принтере Flashforge Dreamer были распечатаны трёхмерные модели крышки и корпуса шарового крана ДУ 25, которые представлены на рисунке 2.

Изменение конструкции корпуса и крышки позволили снизить массу седла шарового крана на 40 %. Кроме уменьшения массы доро-

гостящего полимерного сырья обеспечено сокращение объема отходов механической обработки по формированию сферической поверхности седла. Указанные факты обеспечивают экономическую эффективность данного решения.

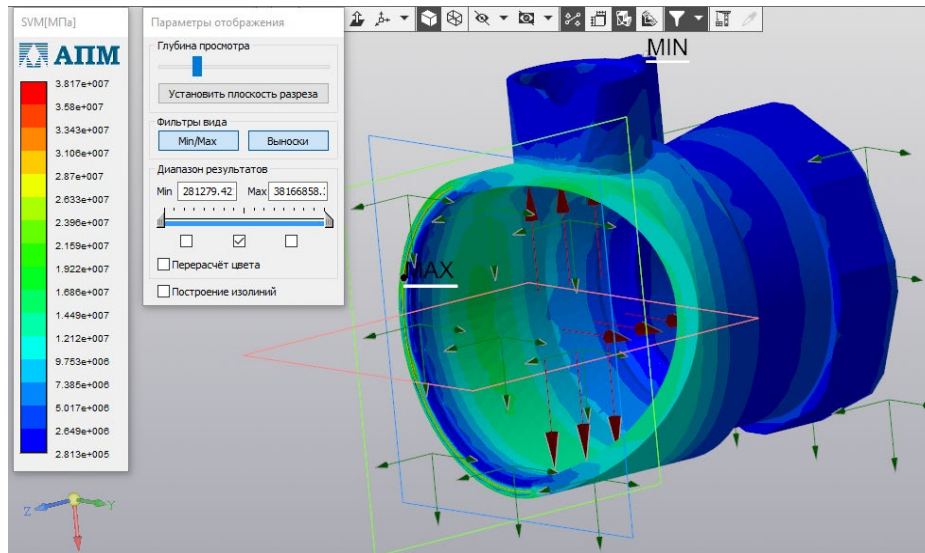


Рисунок 1 – Анализ напряженно-деформированного состояния корпуса шарового крана Д25

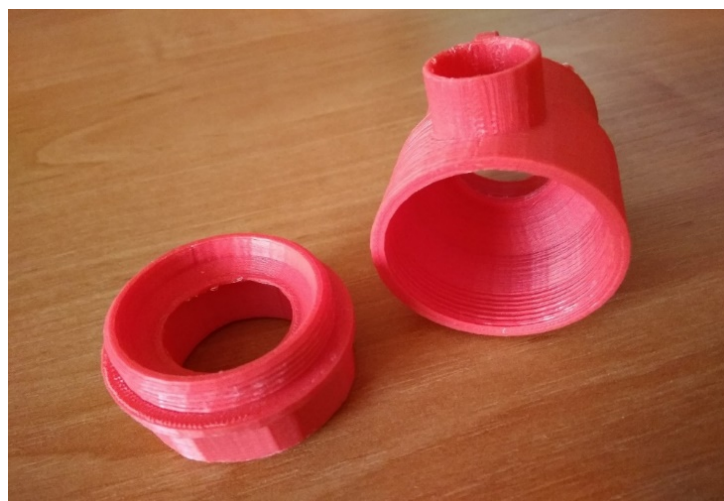


Рисунок 2 – Прототипы деталей крышки и корпуса шарового крана ДУ 25

Таким образом, применение прототипов сборочных единиц шарового крана позволяет при минимальных материальных и временных затратах дать оценку эффективности реализованным конструкторским решениям в части отсутствия ошибок проектирования и корректной сборки сложных сборочных узлов [3].

Литература

1. Антонова, В. С., Осовская, И. И. Аддитивные технологии: учебное пособие / В. С. Антонова, И. И. Осовская // Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна : Санкт – Петербург, 2017. – 30 с.

2. Метод конечных элементов и его применение [Электронный ресурс] / SYL.ru/ - Москва, 2013. – Режим доступа: https://www.syl.ru/article/210075/new_metod-konechnyih-elementov-i-ego-primenenie. – Дата доступа: 10.03.2021 г.

3. Skaskevich, A. A. Influence of technological parameters of FDM-print on the strength characteristics of samples of polyamide / A. A. Skaskevich, A. Sudan, D. Dzhendov // Machines. Technologies. Materials. – 2020. – Т. XIV. – № 5. – С. 210-212

Д. А. Галецкий

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА

На сегодняшний день мы находимся на пороге очередной промышленной революции, которая объединяет в себе три сферы глобальных производственных систем: биологическая, физическая и цифровая. Одна из технологий новой революции – это «интернет вещей» (IoT). Internet of Things – концепция вычислительной сети физических предметов, оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Ярким примером IoT является система умный дом, включающая в себя сеть датчиков и центральный процессор, который обрабатывает полученные с датчиков данные.

Проект является дополнением системы «Умный дом» и предлагает возможности контроля условий микроклимата. Разработка представляет собой совокупность датчиков, которые работают под управлением микроконтроллера ESP32. Благодаря своим характеристикам данный микроконтроллер широко используется для разработки умных и мобильных устройств, а также элементов IoT. [1]

Персональная метеостанция может быть, как интегрируемым в уже существующую систему модулем, так и независимым устройством, представляющим собой распределённую аппаратно-программную систему. Физически устройство состоит из двух модулей: выносной и базовый. Выносной модуль содержит датчики влажности и температуры, микроконтроллер ATmega328 и трансивер для приёма-передачи данных на частоте 433МГц. Базовый модуль работает на основе SoC ESP32, принимает данные от выносного модуля и получает данные от датчиков (влажности, температуры, атмосферного давления), подключённых непосредственно к нему. [2] На базовом модуле развернут WEB-сервер, что позволяет интегрировать устройство в существующую систему «Умный дом». [3]

Данные, получаемые системой, хранятся на сменном носителе и могут быть использованы для представления в виде графиков и диаграмм с использованием встроенного web-приложения, а также для прогнозирования микроклиматических условий.

Устройство позволяет считывать данные с точностью до 0,1 градуса для датчика температуры, 0,1% для датчика влажности и до 1 мм ртутного столбца для датчика давления. Настройка, программирование и сборка кода web-сервера производилась с помощью программного обеспечения PlatformIO IDE и на базе программной платформы Node.js. Для разработки клиентского приложения использовался следующий стек технологий: язык разметки HTML, язык программирования JavaScript, формальный язык описания внешнего вида документа CSS.

Устройство может быть интегрировано с клиентским приложением. Клиентское мобильное приложение позволит удаленно осуществлять контроль и наблюдение атмосферных параметров помещения, в котором установлена домашняя метеостанция.

Корпуса базового и выносного устройств проектируется с помощью программного обеспечения Autodesk Fusion 360. Данная САПР позволила быстро и просто создать 3D-модель корпуса с посадочными местами для комплектующих элементов устройства, реализация модели осуществляется с помощью 3D-принтера.

Главным преимуществом данного проекта является его высокая аппаратная и программная вариативность. Аппаратная вариативность предоставляет возможность выбирать тот набор датчиков, который необходим для конкретного пользователя или существующей системы. Причем, для внедрения нового датчика в устройство его нужно лишь физически подключить к существующему интерфейсу, а про-

граммная составляющая автоматически его интегрирует в информационную систему. Программная вариативность подразумевает возможность выбора того стека технологий, который наиболее эффективно позволит решить поставленные задачи.

Литература

1. ESP32 Series Datasheet Version 3.3 // Espressif Systems [Электронный ресурс] URL:https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. – Дата доступа: 15.03.2021.

2. Non-volatile storage library // Espressif Systems (Shanghai). [Электронный ресурс] – URL: https://docs.espressif.com/projects/espidf/en/stable/esp32/api-reference/storage/nvs_flash.html. – Дата доступа: 15.03.2021.

3. Arduino core for the ESP32 [Электронный ресурс] // GitHub – URL: <https://github.com/espressif/arduino-esp32>. – Дата доступа: 15.03.2021.

В. А. Гончаров

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ЭКОСИСТЕМЫ С СОБСТВЕННЫМ КОНТРОЛЕМ И СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА И ПОЧВЫ

Умная теплица – конструкция с внедренными системами автоматизации, призванная упростить процесс выращивания агрокультур и минимизировать использование ручного труда. Этот сельскохозяйственный объект включает в себя микроконтроллеры, датчики и приложения Интернета вещей. [1]

Снижение влияния негативных факторов окружающей среды за счёт выращивания в закрытых грунтах и объемах существенно облегчает решение поставленной задачи. Однако использование замкнутых объемов накладывает некоторые ограничения, связанные с обеспечением условий, нормальных для жизнедеятельности растений. Соответственно для решения проблемы, связанной с необходимостью создания определенных климатических условий служат инструменты мониторинга, контроля и обеспечения задаваемых величин наиболее

значимых параметров, таких как температура, влажность, освещенность. Другими словами, в замкнутом объеме создается микроклимат – необходимые наилучшие условия для нормального развития растений. [2]

За основу устройства взята плата Arduino Nano на базе микроконтроллера ATmega 328P. Программирование контроллера осуществляется с помощью среды разработки Arduino IDE. Работа с Arduino IDE не вызовет каких-либо трудностей. А основным языком программирования в среде служит язык Wiring, который основан на популярных языках C и C++. Среда позволяет разрабатывать свои библиотеки, а также скачивать и использовать сторонние, экспериментировать с функциями, что в итоге позволит достигать отличных результатов и решать даже весьма нестандартные творческие задачи. [3]

В качестве датчика температуры и влажности используется модуль ВМЕ280. Датчику характерна высокая точность измерений, высокий уровень быстродействия интерфейса и низкое потребление. Для подключения используется интерфейс I2C. Также, датчик позволяет измерять атмосферное давление. [4]

Для счета времени в устройстве используется модуль DS3231. Модуль обеспечивает точный счет часами реального времени (RTC), с температурной компенсацией кварцевого генератора и кристалла.

Модуль питается от литиевой батареи, которая обеспечивает бесперебойную работу, в отсутствии основного источника питания устройства. [5]

Эскиз корпуса устройства разработан в программе 3D-моделирования SketchUP. Корпус содержит основной набор компонентов и модулей. Периферийные модули, реле, помпы, и иные элементы подключаются через заранее предусмотренные разъёмы на корпусе устройства. Все трехмерные модели в этой программе создаются на основе простых двумерных фигур – линии, дуги, прямоугольника и т.д. Затем, при помощи инструмента «выталкивания» (Push/Pull), они превращаются в трехмерные. Таким образом, за считанные минуты можно, например, создать модель дома, пристроить к нему веранду и добавить мебель.

Для обеспечения контроля, мониторинга, и поддержания параметров микроклимата в замкнутых объемах необходимо использовать средства автоматического регулирования данных параметров. Информация о контролируемом параметре микроклимата поступает на функциональный блок от преобразователей первичной информации –

датчиков. В соответствии с перечисленными выше контролируемыми параметрами, система обеспечения микроклимата должна комплектоваться следующими типами датчиков: датчик температуры воздуха, датчик температуры почвы, датчик влажности воздуха, датчик влажности почвы, датчик освещенности.

Система обработки данных определяет величину управляющего сигнала для исполнительной системы, которая тем или иным способом изменяет регулируемые параметры микроклимата.

Основными преимуществами проекта, как развития идеи автоматизации теплиц приведены ниже:

- защита от перепадов температуры и экстремальных температур. Поддержание и контроль диапазона температур в тепличной среде имеет решающее значение. Колебания температуры могут повредить или убить растения в течении нескольких часов;

- мониторинг ситуации. Если какое-либо условие выходит за пределы предварительно установленного диапазона, то устройство оповещает владельца или администратора системы;

- профилактика заболеваний в период вегетации. Во время вегетационного периода системы в умных теплицах могут контролировать различные условия окружающей среды.

Литература

1. Умные теплицы / iot.ru // [Электронный ресурс]. – 2010 – URL: <https://iot.ru/selskoe-khozyaystvo/umnye-teplitsy>. – Дата доступа: 25.01.2021.

2. Р. Э. Тигранян, Микроклимат. Электронные системы обеспечения / Р. Э. Тигранян, М.: ИП РадиоСофт. – 2005. – 112 с. – Дата доступа: 26.01.2021.

3. Arduino Nano / wiki.amperka.ru // [Электронный ресурс]. – 2011 – URL: <http://wiki.amperka.ru/продукты:arduino-nano>. – Дата доступа: 27.01.2021.

4. Датчик температуры и влажности воздуха BME280 / robotchip.ru // [Электронный ресурс]. – 2014. – URL: <https://robotchip.ru/bme280-datchik-atmosfernogo-davleniya-vlazhnosti-i-temperatury/>. – Дата доступа: 29.01.2021.

5. Часы реального времени DS3231 / 3d-diy.ru // [Электронный ресурс]. – 2011. – URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/chasy-realnogo-vremeni-ds3231/>. – Дата доступа: 30.01.2021.

А. С. Городков

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ ПРИЛОЖЕНИЯ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА «GAMESHOP»

При разработке серверной части приложения интернет-магазина «Gameshop» использована платформа Node.js и фреймворк Express.

Взаимодействие клиентской и серверной части приложения осуществляется с помощью HTTP-запросов. Сервер отправляет клиенту данные в формате JSON. Серверная часть приложения представляет собой REST API. Он включает в себя конечные точки для управления заказами и товарами. Почти все конечные точки защищены и для доступа к ним у пользователя должно быть определенное разрешение. Неавторизованный пользователь имеет возможность только получать список товаров и категорий, к которым относятся товары.

Серверная часть приложения интегрирована с сервисом Auth0, который упрощает реализацию функций, связанных с аутентификацией и авторизацией пользователей. На стороне сервиса Auth0 были созданы роли для управления товарами и заказами.

Сервис Auth0 использует протокол OAuth 2.0, который позволяет пользователю предоставлять ограниченный доступ к своим ресурсам на одном сайте другому сайту, не раскрывая свои учетные данные.

Клиент передает серверу jwt-токен с помощью специального заголовка запроса Authorization. Одним из преимуществ использования jwt-токена для проверки подлинности является то, что в нем есть возможность хранить дополнительную информацию о пользователях.

Node.js библиотека *express-jwt* использована для интеграции с сервисом Auth0. Функции этой библиотеки были использованы в промежуточном обработчике Express для авторизации запросов к защищенным частям REST API приложения.

Для хранения данных приложения использована система управления базами данных MongoDB. Взаимодействие с базой данных реализовано с помощью фреймворка Mongoose, который имеет встроенную проверку типов данных. Данные приложения хранятся в коллекциях MongoDB. Созданы коллекции для хранения товаров, категорий товаров и заказов. Для каждой коллекции с помощью фреймворка Mongoose добавлена схема, которая определяет метаданные модели.

Конечные точки для получения товаров и заказов поддерживают параметры для поиска, сортировки и фильтрации.

А. С. Городнянская
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А. А. Зайцев**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ПАССАЖИРОВ НА АВИАРЕЙСЫ

Проблематика. В настоящее время большую роль в развитии современных технологий и упрощении различных видов деятельности играют мобильные приложения. Разработка мобильных приложений – это одно из самых перспективных направлений, которое необходимо современному обществу. Мир постоянно меняется и все более становится мобильным.

В современном мире самолеты являются не только самым быстрым видом транспорта, но и самым безопасным, в связи с этим авиаперелеты пользуются весьма высокой популярностью. Вследствие этого продаваемые на рейсы билеты востребованы и с высокой вероятностью найдут своего покупателя, при условии, что авиакомпания обеспечила клиенту полноценный доступ к нужной ему информации. Это и есть задача, решаемая современными автоматизированными информационными системами. Существует множество подобных разработок, позволяющих авиакомпаниям реализовывать авиабилеты, а пользователям приобретать их. Однако, зачастую, функциональность таких систем либо весьма ограничена, либо предоставляет недостаточное количество информации, жертвуя дружелюбностью к пользователю.

В связи с этим было принято решение создать систему, которая позволит упростить и сделать более доступным процесс регистрации пассажиров на авиарейсы.

С помощью данного мобильного приложения можно быстро осуществить регистрацию на любой рейс, в любом городе мира. Также данное приложение позволяет избежать очередей, рутинных процедур, а это является важным аспектом в настоящее время в связи со сложившейся эпидемиологической ситуацией в мире. Еще одна проблема современных приложений – это их платная составляющая и маленькая база данных. Разработанное в данном проекте приложение

не содержит вышеперечисленных недостатков, и является бесплатным, с большой базой данных авиарейсов по всему миру.

Цель работы. Изучить основные недостатки современных мобильных приложений. Изучить основные языки программирования, необходимые для разработки мобильных приложений. Разработать простой и необычный дизайн приложения. Создать актуальную базу данных авиарейсов во всем мире. Разработать и создать мобильное приложение регистрации пассажиров на авиарейсы, при этом используя современные технологии, среду разработки и языки программирования.

Полученные результаты. В ходе выполнения работы был разработан дизайн и интерфейс мобильного приложения для регистрации пассажиров на авиарейсы.

Приложение предоставляет пользователю следующие основные функции: авторизация пользователя, регистрация пользователя, поиск билетов для бронирования, бронирование билета.

Разработана база данных, которая содержит информацию о пользователях, о бронировании и о всех рейсах, осуществляемых по всему миру. Для обработки и хранения данных используется сервер. Была проведена интеграция мобильного приложения под любые версии мобильной системы Android. Было составлено методическое пособие, в котором по шаговому описывается пример регистрации пассажира на авиарейс. В конечном итоге было получено современное бесплатное и доступное мобильное приложение регистрации пассажиров на авиарейсы, которое содержит эксклюзивный и простой дизайн, связь с различными аэропортами мира и простой алгоритм регистрации пассажиров.

Л. Л. Гресько

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ФРИЛАНС ПЛАТФОРМЫ «ARTISTIFY»

Услугами Интернета в настоящее время люди пользуются не только на работе, но и в условиях домашней обстановки. Для удовлетворения возрастающих потребностей человека в различных областях деятельности создаются всевозможные платформы.

Настоящая заметка посвящена разработке модулей для фриланс-платформы «Artistify». Основное назначение таких модулей – это предоставить возможность авторизации и регистрации новым пользователям, а также возможность модерирования приложения администраторами.

Разработанные модули имеют следующий набор функций: возможность авторизации зарегистрированных пользователей; возможность регистрации для новых пользователей; управление пользователями администратором; управление группой пользователей администратором; обратная связь.

Ниже кратко описывается использование разработанных модулей платформы.

После авторизации для администратора показывается панель, на которой он может открыть список пользователей либо добавить нового. При выборе существующего пользователя открывается окно для изменения. После авторизации пользователя модуль вернет два значения, refresh и access токены которые сами по себе представляют JWT с помощью которых пользователю можно предоставить безопасный обмен данными. После создания пользователя он появится в списке пользователей на стороне администратора.

В результате работы изучены принципы разработки модулей и сервисов с помощью Python Django и Django Rest Framework, разработаны и протестированы модуль пользователя и модуль административной части приложения.

При разработке фриланс платформы использовались средства HTML, CSS, JS, Python, административная часть приложения реализована при помощи Django.

И. Л. Громыко, В. О. Белькин
(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Галушко**, канд. техн. наук, доцент

ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Неотъемлемым элементом при централизованном электроснабжении является трансформатор. Выход из строя силового трансформатора может привести к созданию аварийных ситуаций, перебоям

электроснабжения, массовому недоотпуску продукции. Поэтому, контроль состояния трансформатора является важной задачей.

В связи с этим, данная статья посвящена диагностике различных дефектов трансформатора и способам их классификации с помощью нейронных сетей.

Основные неисправности силовых трансформаторов:

1. Межвитковые замыкания. Основными причинами возникновения межвитковых замыканий в трансформаторе являются старение изоляции, перенапряжения или низкая организация производства и эксплуатации.

2. Местное замыкание пластин стали (пожар в стали). Это явление заключается в чрезмерном нагреве вихревыми токами какой-либо части магнитопровода вследствие нарушения изоляции между листами стали или между магнитопроводом и стягивающими его шпильками.

3. Наличие примесей в трансформаторном масле. В масле содержится около 70 % информации о состоянии маслонеполненного оборудования. Это нерастворенные вещества, содержащиеся в масле в виде осадка или во взвешенном состоянии, например, волокна, пыль, продукты растворения. Другие примеси появляются в масле после внутренних повреждений трансформатора, например, электрической дуги, мест перегревов, в виде обуглившихся частиц.

В связи с этим разработан комплексный подход анализа данных с помощью приборного учета в режиме реального времени. В качестве основных параметров выступает: температура, вибрация и задымленность.

В результате эксперимента были получены следующие результаты:

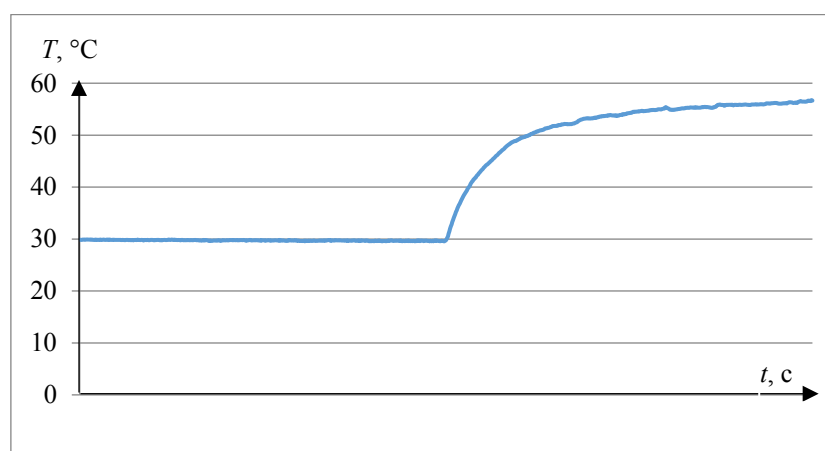


Рисунок 1 – График зависимости температуры при МКЗ

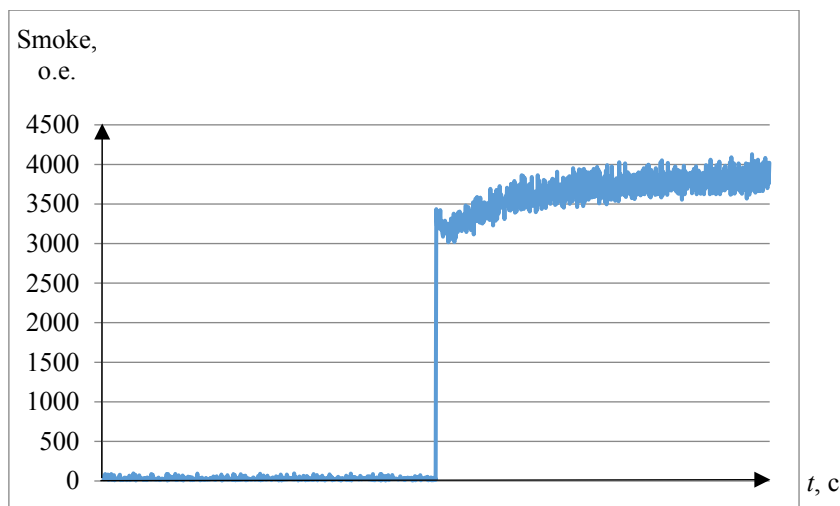


Рисунок 2 – График зависимости концентрации дыма при МКЗ

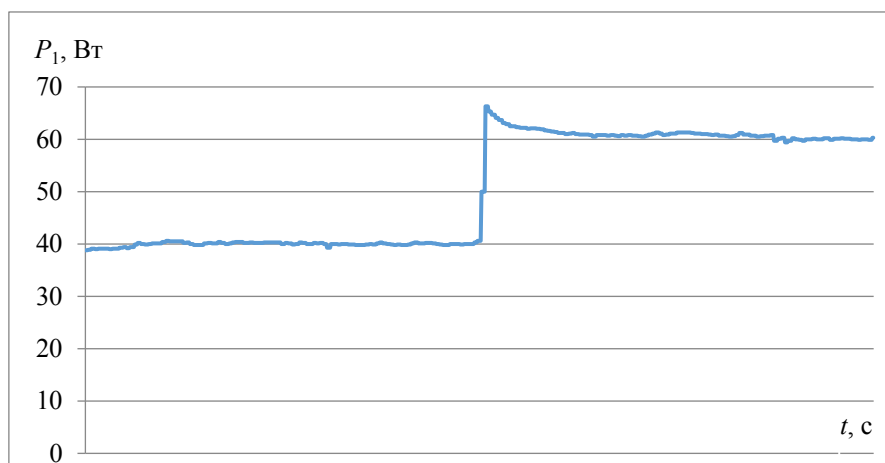


Рисунок 3 – График зависимости активной мощности при МКЗ

В ходе эксперимента результаты опыта показали, что при местном замыкании пластин стали отклонений от нормального режима работы трансформатора, не наблюдалось.

Результаты эксперимента по определению примесей в трансформаторном масле будут представлены в следующем номере.

Научная новизна материала статьи заключается в практическом применении сверточных нейронных сетей, которые в режиме реального времени анализируют информацию не выводя трансформатор из работы, что предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электроснабжения. При этом затраты на внедрение данной технологии нейромоделирования относительно невелики (например, применение одноплатных компьютеров), а эффективность от применения будет существенной.

Практическая значимость заключается в снижении unplanned отказов и заблаговременном предупреждении о развитии повреждения.

Необходимо так же отметить, что практически все существующие измерения дефектов требуют отключения трансформаторов, что представляется более затратным и менее оперативным. Поэтому применение датчиков, соответствующих параметрам трансформатора для нейромодели позволит анализировать данные без отключения и указывать на ранней стадии наличие повреждений. Это снизит количество unplanned отказов, позволит оперативно принять меры для устранения повреждения и укажет на конкретный вид дефекта.

И. Л. Громыко
(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Галушко**, канд. техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕЖВИТКОВОГО ЗАМЫКАНИЯ В ТРАНСФОРМАТОРЕ

Одним из наиболее распространенных следствий ухудшения свойств изоляции являются межвитковые замыкания. При межвитковом замыкании изоляция обмотки нарушается и происходит ее пробой между витками, что впоследствии может привести к выходу из строя трансформатора.

В качестве объекта исследования использовались однофазные трансформаторы малой мощности с воздушным охлаждением. В ходе экспериментов при изменяющейся нагрузке трансформатора выполнялось межвитковое замыкание различного числа витков на одной фазе первичной и вторичной обмоток. Схема экспериментальной установки по исследованию МКЗ трансформатора представлена на рисунке 1.

Отслеживая в режиме реального времени возможные текущие сбои, можно снизить количество unplanned ремонтов и отказов указанного оборудования.

При проведении экспериментальных исследований были предусмотрены следующие мероприятия:

– МКЗ проводились в режиме реального времени на первичной и вторичной обмотках однофазного трансформатора с воздушным охлаждением;

- МКЗ выполнялось на двух-, пяти- и десяти витках;
- осуществлялась регистрация с помощью приборов и датчиков.

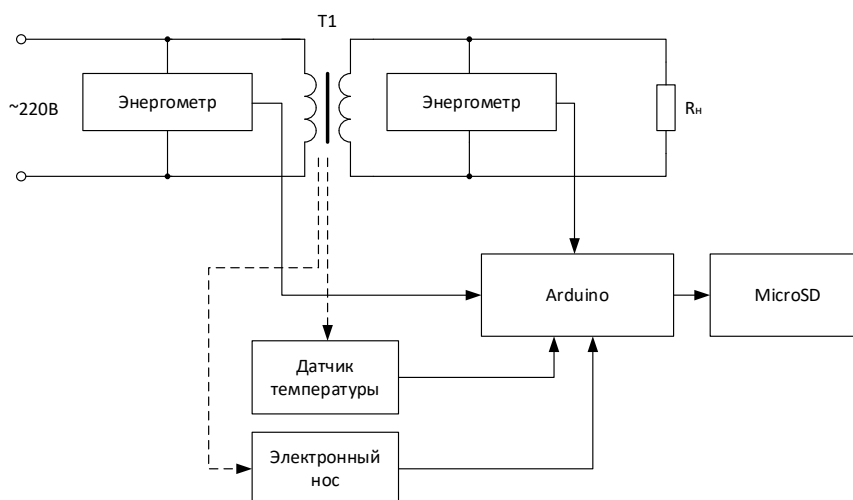


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки по исследованию МКЗ трансформатора

В тоже время проводился анализ информации с использованием следующих данных:

- напряжений и токов первичной и вторичной обмоток;
- активные, реактивные и полные мощности по высокой и низкой стороне трансформатора;
- анализировался состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции с помощью устройства «электронный нос»;
- измерялась температура в зоне КЗ и на удалении 5 см от обмоток;
- проводилось осциллографирование и разложение по гармоникам кривых тока и напряжения;
- выполнено более 500 измерений при нормальном режиме работы и при межвитковом замыкании с интервалом в 1 секунду при 7 различных активных и активно-индуктивных нагрузках;
- получаемые результаты приборного учета (рисунок 3, 4, 5) через аналогово-цифровой преобразователь поступали на вход в программу MATLAB в качестве исходных данных для нейромодели с целью ее обучения и анализа информации и создания математической модели;
- с помощью RLC-метра определялись параметры обмоток трансформатора.

Разработка математического инструментария диагностирования состояния трансформаторов позволит решить следующие задачи:

- анализ процессов для настройки оборудования и аппаратов защиты от исследуемых неисправностей;
- обучение свёрточных нейронных сетей.

Данные датчиков используются в качестве исходных данных для свёрточных нейронных сетей. Самый популярный вариант их использования – это обработка и анализ изображений. В нашем случае они позволяют на основе информации, представленной в виде множества изменяющихся в реальном времени графиков (частично приведенных выше) анализировать данные. Такой вид использования данных позволяет установить множественные взаимосвязи между отдельными факторами и, применяя нормированные данные, использовать их для быстрой настройки к другим силовым трансформаторам.

На рисунках 2 и 3 приведен результат обучения и применения свёрточных нейронных сетей, причем вероятность распознавания составила 99,9%.

```
Training on single CPU.
Initializing input data normalization.
```

Epoch	Iteration	Time Elapsed (hh:mm:ss)	Mini-batch Accuracy	Mini-batch Loss	Base Learning Rate
1	1	00:00:00	38.28%	1.0837	0.0100
9	50	00:00:19	100.00%	0.0054	0.0100
17	100	00:00:38	100.00%	0.0027	0.0100
25	150	00:00:58	100.00%	0.0009	0.0100
30	180	00:01:09	100.00%	0.0008	0.0100

Рисунок 2 – Таблица результатов обучения и применения свёрточных нейронных сетей

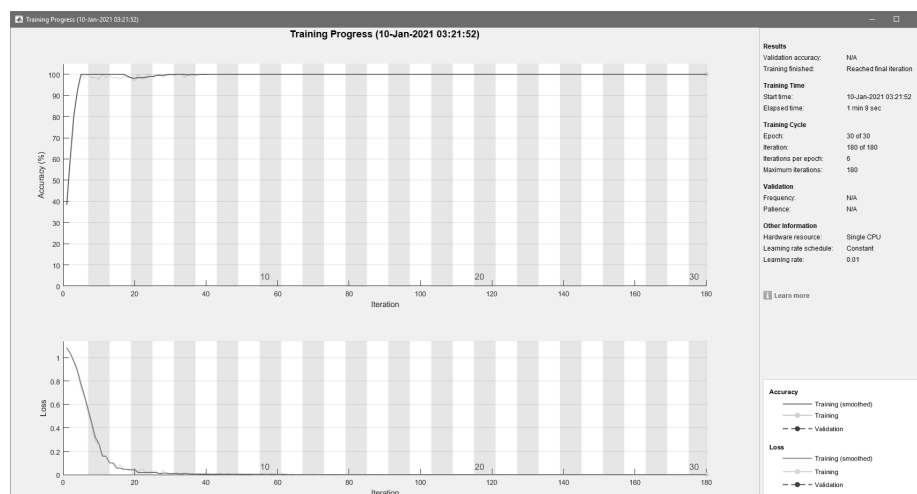


Рисунок 3 – Результаты обучения и применения свёрточных нейронных сетей

Литература

1. Шерьязов, С. К. Классификация факторов, влияющих на витковые замыкания в трансформаторах напряжением 6-10/0,4 кВ/ С. К. Шерьязов, А. В. Пятков // Вестник КрасГАУ – 2014. – №7.

2. Воробьев, В. Е. Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции / В. Е. Воробьев, В. Я. Кучер. – СЗТУ. – Санкт Петербург, 2004. – 56 с.

И. К. Губаревич

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **С. В. Васильев**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РЕГИСТРАЦИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩЕГО ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАЗМЕННОГО ОБЛАКА ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

При воздействии световых потоков на поверхность твёрдого тела большой интерес вызывает изучение закономерностей изменения рельефа твёрдых тел в процессе их облучения импульсным лазерным излучением. Исследование взаимодействия лазерного импульса с образцом включает в себя запись быстропротекающего процесса образования пароплазменного облака вблизи поверхности образца, оценку влияния на него внешних факторов, например электромагнитного поля, изучение рельефа поверхности кратера, образовавшегося на поверхности образца.

Процессы, происходящие во время воздействия на объект лазерного импульса длительностью порядка 1 мс и сразу после него подробно описаны в [1]. Методики исследования формы поверхности образовавшегося на пластине кратера предложены в [2].

При изучении влияния электрических полей различной напряженности (от 0 до 10^6 В/м) на пространственную и временную эволюцию лазерной плазмы, возникающей при воздействии миллисекундных лазерных импульсов на поверхности металлов была использована экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 1. Излучение рубинового лазера ГОР-100М, работавшего в режиме свободной генерации (длительность импульса $\tau \sim 1,2$ мс, длина волны 0,694 мкм), пройдя через фокусирующую систему, направлялось че-

рез отверстие в электроде на образец, который сам являлся вторым электродом. Образец располагался в воздухе при давлении 10^5 Па. Диаметр полученного таким образом пятна излучения с резкими краями варьировался в ходе экспериментов от 1 до 2 мм.

Для изучения пространственной и временной эволюции лазерного факела в ходе воздействия лазерного излучения на образец использовался метод скоростной голографической кинофотосъемки. Межэлектродный промежуток помещался в одно из плеч интерферометра Маха-Цендера. Интерферометр освещался излучением рубинового лазера (длина волны $\lambda=0,694$ мкм), работавшего в режиме свободной генерации. Длительность импульса излучения зондирующего лазера составляла $\tau \sim 400$ мкс. Селекция поперечных мод зондирующего лазера осуществлялась диафрагмой, помещенной внутрь резонатора, а продольных – эталоном Фабри-Перо, использовавшимся в качестве выходного зеркала. Зондирующее излучение направлялось в коллиматор, позволявший получать параллельный световой пучок диаметром до 3 см, что позволило наблюдать за развитием пароплазменного облака.

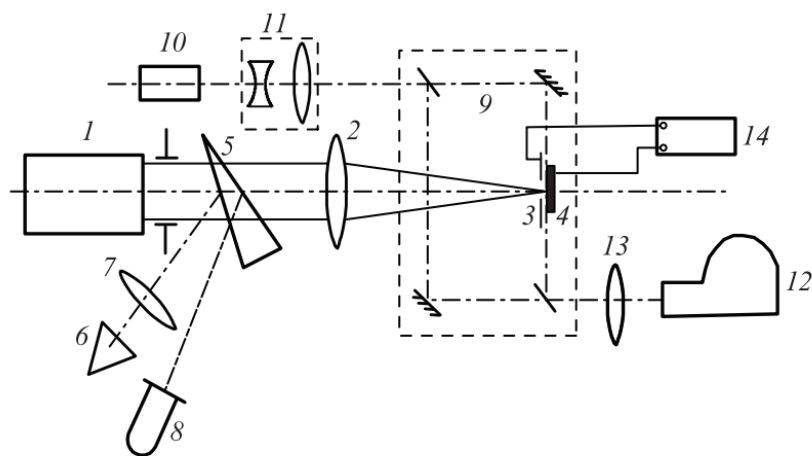


Рисунок 1 – Оптическая схема экспериментальной установки: 1 – рубиновый лазер ГОР-100М ($\lambda = 0.694$ мкм); 2– фокусирующая система; 3,4 – электроды; 4 – исследуемая поверхность образца; 5 – стеклянный клин; 6 – измеритель энергии ИМО-2Н; 7 – объектив; 8 – фотозелемент ФЭК-14; 9 – интерферометр Маха-Цендера; 10 – рубиновый лазер ($\lambda = 0.694$ мкм); 11 – коллиматор; 12 – СФР-1М; 13 – объектив; 14 – высоковольтный источник.

Интерферометр был состыкован со скоростной фоторегистрирующей камерой СФР-1М, плоскость фото пленки в которой была сопряжена с меридиональным сечением воздействующего на образец

лазерного луча при помощи объектива. Скоростная камера работала в режиме лупы времени. Описанная схема позволяла регистрировать развернутые во времени голограммы сфокусированного изображения лазерного факела. Полученные отдельные кадры голограмм обеспечивали временное разрешение не хуже 1 мкс (время экспозиции одного кадра) и пространственное разрешение по полю объекта приблизительно 50 мкм.

Следующими этапами являются вычисление по изображению величины смещения интерференционных полос от невозмущенного состояния, расчет изменения показателя преломления и вычисление требуемых параметров плазмы. Смещение интерференционных полос на интерферограмме и изменение показателя преломления связаны между собой интегральным уравнением Абеля [3]. Для численного решения уравнения Абеля применяется один из наиболее простых и наглядных методов, а именно метод ступенчатой аппроксимации, который часто называют методом Пирса.

Математические расчеты можно автоматизировать, используя возможности пакета MATLAB и его расширения Image Processing Toolbox. Положительный эффект от этого заключается в значительной экономии ресурсов и времени, выделяемых на обработку данных, полученных в ходе эксперимента, а также существенно повысить точность конечного результата [4].

Перспективным является применение методов голографической интерферометрии с использованием цифровых средств регистрации с высоким разрешением, компьютерным анализом полученных опытным путём голографических интерферограмм и построением фазового портрета, позволяющий визуализировать фазовый рельеф проходящих процессов при взаимодействии лазерного импульса с образцом.

Литература

1. Васильев, С. В. Влияние электрического поля на приповерхностные процессы при лазерной обработке материалов / С. В. Васильев, А. Ю. Иванов // Квантовая электроника. – 2012. – Т. 42, № 2. – С. 170-174.
2. Васильев, С. В., Иванов, А. Ю., Ляликов, А. М. Оптическая визуализация топографии кратера, образующегося при действии лазерного импульса на твердый образец // Квантовая электроника. – 1993. – Т. 20, № 6 – С. 616 –618.

3. Jackson, S. L. Abel inversion of a holographic interferogram for determination of the density profile of a sheared-flow Z pinch / S. L. Jackson, U. Shumlak // Review of scientific instruments. – 2006. – Vol. 77, №. 8. – p. 10.

4. Даукша, А. Ю., Григуть, В. В. Автоматизация вычисления смещения интерференционных полос от невозмущенного состояния средствами MATLAB // Физика конденсиро-ванного состояния [Электрон. ресурс] : Матер. XXVI междунар. науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов (Гродно, 18 апр. 2018 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы, физ.-техн. фак. ; 2018. – С. 154-155.

К. Н. Джеббаров

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. М. Березовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА WEB-САЙТА «ИССКУСТВО ДУБАИ»

Стремительное развитие информационных технологий и внедрение их во все сферы жизни человека привело к кардинальному изменению мира. Сегодня информатизация коснулась всех сторон жизни. В нынешнее время многие люди пользуются интернетом в повседневной жизни. В современном мире сегодня миллиарды людей проводят большое количество времени в сети Интернет. Поэтому было решено разработать web-сайт посвященный красотам Дубаи.

Основными этапами процесса web-разработки явились веб-дизайн, вёрстка страниц, программирование на стороне клиента и сервера, а также конфигурирование веб-сервера.

Предлагаемый web-сайт носит информационный характер. Он содержит информацию о красивейших объектах города Дубаи.

На главной странице разработанного web-сайта размещен рекламный баннер с анимированным текстом, который рекламирует красивейшие достопримечательности города Дубаи (рисунок 1).

В основном меню содержатся кнопки для удобной навигации по сайту. На главной странице есть также удобная галерея, в которой реализована фильтрация фотографий.

В ходе разработки сайта были использованы возможности языка HTML5, языка JavaScript, CSS и среда разработки веб-сайтов IDE.

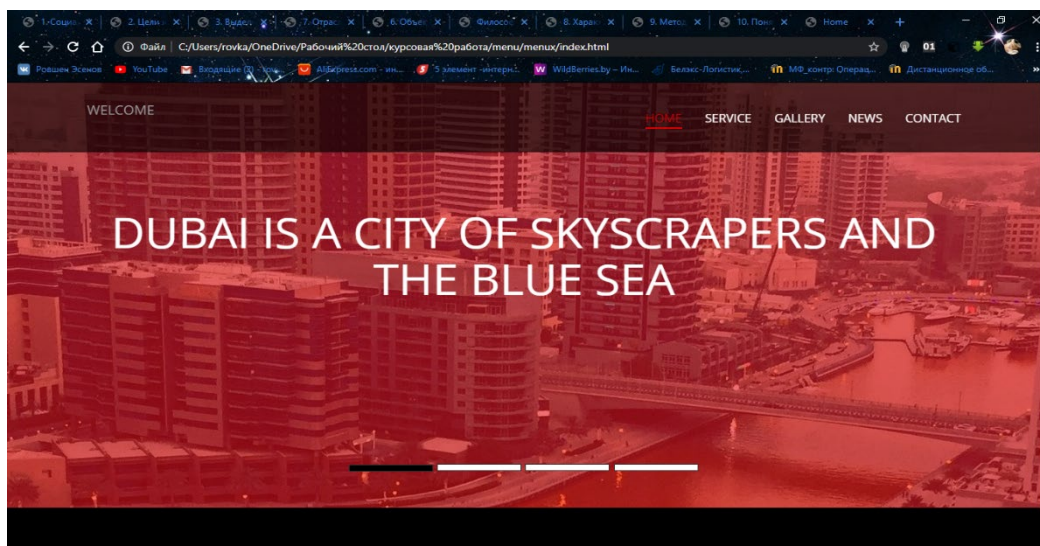


Рисунок 1 – Главная страница web-сайта

И. М. Епишкин

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОПИСАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА И ОБРАБОТКИ ОТЗЫВОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Разработано приложение для систематизированного сбора и обработки отзывов пользователей. Приложение собирает отзывы клиентов через web-каналы и мобильные устройства на протяжении всего цифрового пути, давая возможность принимать более разумные и быстрые бизнес-решения. Может фиксировать обширный контекст, касающийся отзывов, для принятия целенаправленных действий в режиме реального времени. Клиенты могут высказаться на всех этапах своего цифрового взаимодействия, просто нажав на иконический символ обратной связи. Клиенты и сотрудники могут оставлять отзывы в различных точках соприкосновения, в том числе на web-сайтах, мобильных устройствах и на основе местоположения. В приложении формируются отчеты по отзывам, а также есть возможность настройки различных уведомлений, с предоставлением отчетов по отзывам за 15 минут, 1 час, 1 день, 1 неделю или месяц.

Разработаны карточки комментариев, которые открывает OL Web SDK. Они напоминают опросы ForeSee Feedback, но OpinionLab гораздо более настраиваемы с точки зрения стилистики и интеграции. С

точки зрения Web SDK, карточки комментариев OL хороши тем, что нам совсем не нужно ими управлять. Все, что нужно сделать web-SDK – это правильно отформатировать запрос GET или POST для конечной точки карты комментариев OL, и отобразится правильная карта, размещенная в домене. Пока web-SDK передает «customVars» (также известные как пользовательские переменные) в тех запросах, которые ожидает карточка комментариев, пользовательская интеграция и / или поведение на этих карточках могут обрабатывать их соответствующим образом.

Еще одна популярная функция карточек комментариев OL называется «Интеллектуальная поддержка». Если IS активен, то при отправке карточки комментариев пользователю может быть представлено собственное сообщение с благодарностью.

К. М. Заяц

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **О. А. Кравченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ СОЗДАНИЯ АКТУАЛЬНОГО РАСПИСАНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ

На сайте ГГТУ им. П. О. Сухого расписание занятий преподавателя представлено несколькими частями: семестр, факультеты дневного и заочного отделений, работа с иностранными студентами, магистрантами, аспирантами, повышение квалификации, экзамены, консультации. Как правило, преподаватель ведет занятия на разных факультетах, на дневном и заочном отделении, принимает экзамены и т. д. Таким образом, для того, чтобы увидеть свое расписание на конкретный период, преподаватель вынужден заходить на разные страницы официального сайта университета. При этом преподаватель должен помнить свою учебную нагрузку или постоянно сверяться со своим индивидуальным планом.

Разрабатываемое мобильное приложение даст возможность преподавателю просматривать актуальное расписание занятий на любой задаваемый период по одному клику.

Для реализации поставленной задачи потребуется клиентская, серверная части приложения и база данных.

Клиентская часть приложения представляет собой мобильное приложение, которое написано с помощью фреймворка под название

React Native. Мобильное приложение, взаимодействуя с сервером через API, тем самым получает актуальное расписание на семестр. В случае обновления расписания на сервере, пользователь будет получать уведомление об изменении расписания.

Серверная часть написана на языке программирования Java и предназначено для выполнения основных работ с расписанием, а именно: получение актуального расписания для каждого преподавателя университета из базы данных университета и отправка этого расписания на клиентскую часть.

Поставленная задача решается выполнением следующих шагов:

1. Сервер формирует SQL-запрос к базе данных.
2. Результат выполнения запроса направляется из базы данных на сервер.
3. Полученные данные обрабатываются сервером.
4. Обработанные данные отправляются на клиентскую часть приложения.
5. Клиентская часть приложения получает данные с сервера.
6. Отображение данных в требуемой форме на клиентской части приложения.

К функциональным возможностям разрабатываемого мобильного приложения относятся следующие функции:

- предоставление актуального расписания для преподавателя на заданный период с указанием всех видов занятий – лекций, лабораторных и практических занятий, зачётов, консультаций и экзаменов и пр.;
- оповещение о занятии, которое необходимо провести в данный момент времени;
- поддержка личного кабинета пользователя;
- мобильный доступ к системе.

К достоинствам мобильного приложения можно отнести следующие аспекты: кроссплатформенность, простой и удобный интерфейс для всех преподавателей, работа в автономном режиме и персонализация.

Литература

1. Айзенман, Б. Learning React Native: Building Native Mobile Apps with JavaScript / Б. Айзенман – Sebastopol, 2016. – 17 с.
2. Мухаметзянов, Р. Р. Java. Серверные приложения / Р. Р. Мухаметзянов. – М.: СОЛОН-Р, 2010. – 21 с.

3. Дэйт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дэйт – Издательство «Вильямс», 2018. – 30 с.

4. Бэрон, Ш. MySQL по максимуму / Ш. Бэрон, П. Зайцев, В. Ткаченко – СПб.: Питер, 2018. – 100 с.

В. М. Зезюлин

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОИГРЫВАНИЯ АУДИОФАЙЛОВ С ПОМОЩЬЮ XAMARIN

На сегодняшний день существует множество проигрывателей аудиофайлов предоставляющие разный функционал и дизайн интерфейса. Одной из главных проблем создания подобного плеера является стоимость. Так как разрабатывать нужно сразу для нескольких платформ, это занимает больше времени и, следовательно, стоит дороже.

Приложение с использованием Xamarin быстро решает эти проблемы. Созданный плеер будет кроссплатформенным [1]. Благодаря этому свойству процесс разработки может производиться одним человеком, но работать приложение будет на всех устройствах.

При создании этого приложения будет использован язык программирования C# (си шарп). Язык имеет ряд преимуществ перед другими: статическая типизация, удобный синтаксис, большое сообщество разработчиков и так далее [2].

Xamarin.Forms представляет платформу, которая нацелена на создание кроссплатформенных приложений под Android, iOS и Windows 10. Зачем использовать именно данную платформу, какие преимущества она несет? Есть определенные статистические данные, что значительная часть мобильных приложений создается более чем для одной платформы, например, для Android и iOS.

Воспроизведение музыки будет реализовано с помощью MediaPlayer – использование встроенного MediaPlayer класса для воспроизведения аудио, включая локальные звуковые файлы и потоковые аудиофайлы, класс MediaPlayer содержит все необходимые члены класса с помощью которых можно построить базовый полнофункциональный медиапроигрыватель [3].

Более подробную документацию, требуемую для создания, можно найти на официальном сайте Microsoft, а также на форумах и в сообществах опытных C# разработчиков.

Готовый плеер должен быть не только функциональным, но и быстрым. Аудиоплеер поддерживает возможность работы с низкоуровневым API. Это даёт возможность воспроизведения зашифрованных звуковых файлов и потоковую передачу звука.

После написания кода, остаётся только скомпилировать его под разные платформы. Для каждой платформы существует свой компилятор. После завершения этого этапа, приложение можно считать рабочим и запускать его как на IOS платформе, так и на Android.

Предполагаемый результат – рабочий прототип приложения, который может запускаться на разных платформах.

Литература

1. Онлайн википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кроссплатформенность>. – Дата доступа: 27.03.2021.

2. Онлайн википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/C_Sharp. – Дата доступа: 28.03.2021.

3. Документация Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/xamarin/android/app-fundamentals/android-audio>. – Дата доступа: 28.03.2021.

П. Р. Иванова, В. С. Дашко
(БРУ, Могилев)

Науч. рук. **В. А. Ливинская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПЛОЩАДИ ПОД РЕОГРАФИЧЕСКОЙ КРИВОЙ СОВРЕМЕННЫМИ СРЕДСТВАМИ АНАЛИЗА ДАННЫХ

Данное исследование демонстрирует возможность применения метода площадей в анализе результатов клинических исследований.

Основной целью являлось выявление статистически значимых различий в показателях оценки гемодинамики печени с помощью реогепаатографии (РГГ) пациентов, имеющих различные патологии и проходящих лечение в областной больнице г. Могилева [1]. Данная

методика основана на фиксации изменений сопротивления живой ткани в переменном электрическом поле высокой частоты. С использованием программного обеспечения Реоспектр (Нейрософт) были получены определенные физические характеристики реографической кривой (рисунок 1), описывающей динамику сопротивления живой ткани за определенный временной промежуток (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры реографической кривой

Параметр РРГ	Обозначение
время распространения пульсовой волны от сердца	Q_x
время быстрого кровенаполнения	α_1
время медленного кровенаполнения	α_2
время восходящей части волны	α
время общей систолы	$T_{\text{общ}}$
длительность катакроты	$T_{\text{кат}}$
амплитуды артериальной части волны	$A_{\text{арт}}$
Систолический максимум. реограммы	$A_{\text{сист}}$

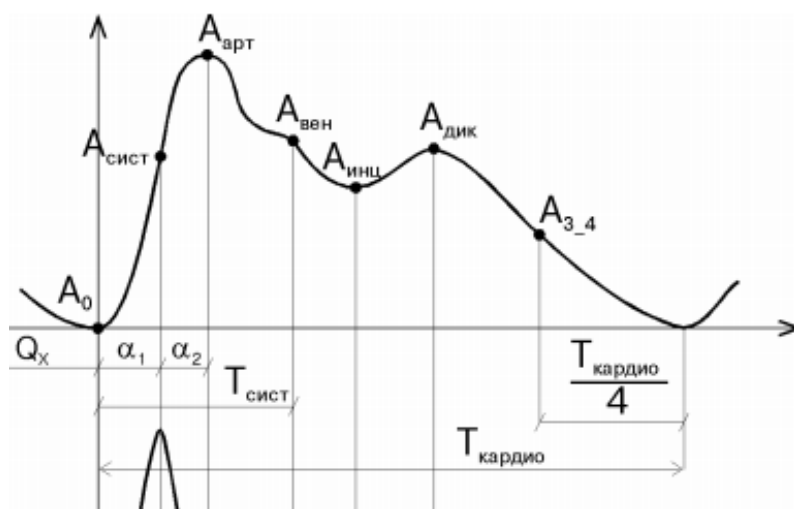


Рисунок 1 – Реографическая кривая

С помощью языка R, из отдельных файлов в текстовом формате, содержащих информацию о каждом пациенте был сформирован датасет из 9 столбцов, восемь из которых являлись физическими параметрами кривой, а девятый отвечал за принадлежность пациента к одной из 4 групп: пациенты после с наличием синдрома полиорганной дисфункции (ОАО СПОД), пациенты с циррозом печени (ОАО печень), пациенты с наличием хронических заболеваний желудка и поджелудочной железы (ОАО гастро), контрольная (практически здоровые).

По имеющимся параметрам с помощью макроса VBA, были рассчитаны площади под кривой для каждого пациента с помощью метода площадей:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= (\alpha_1 * A_1) / 2; \\
 S_2 &= (A_2 * A_4) / 2 * \beta / 2; \\
 S_3 &= (A_2 + A_4) / 2 * \beta / 2; \\
 S_4 &= A_4 * \beta / 2; \\
 S &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4.
 \end{aligned}$$

Код программы:

```
Лист4.Activate
```

```
For i = 2 To 90
```

```
Лист4.Cells(i, 11).Value = ((1 / 2 * (Лист4.Cells(i, 9) * Лист4.Cells(i, 2)) * Лист4.Cells(i, 2)) + ((Лист4.Cells(i, 9) * Лист4.Cells(i, 2) + Лист4.Cells(i, 7) * 0.1) / 2 * Лист4.Cells(i, 3)) + (((Лист4.Cells(i, 7) * 0.1 + Лист4.Cells(i, 8) * Лист4.Cells(i, 7) * 0.001) / 2) * Лист4.Cells(i, 6) / 2) + (Лист4.Cells(i, 8) * Лист4.Cells(i, 7) * 0.001 * Лист4.Cells(i, 6) / 2))
```

```
Next i
```

Выявление значимых различий в группах осуществлялось с помощью непараметрического статистического критерия Краскела-Уоллиса в среде R. Графическое представление различий представлено с помощью статистического графика boxplot (медианы и 1, 3 квантили) на рисунке 2, из которого явно следует различие в медианах показателя контрольной группы и групп Гастро и ОАР(СПОД), и отсутствие различий у группы норма и у ОАР(печеночная).

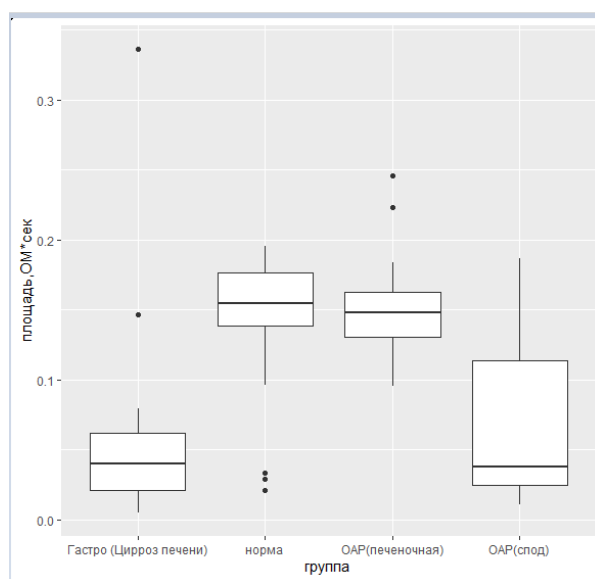


Рисунок 2 – Визуализация различий показателя по группам

Литература

1. Точило С. А. Интегративный показатель состояния артериального печеночного кровотока у пациентов при критических состояниях / С. А. Точило, А. Л. Липницкий, А. В. Марочков, А. А. Антипенко, О. Л. Борисов, В. А. Ливинская // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2019. – Т. 18. – № 3. С. 52–60.

**А. С. Исмаилова, А. Ю. Грушевич, А. Г. Кокорев, А. Г. Телегина,
К. О. Барсугачев, А. В. Мелешкевич, А. А. Матвеева,
Е. П. Титович, И. С. Гарбуз, А. А. Найдунов, И. Р. Силин**
(БГУ, Минск)

Науч. рук. **С. В. Лешкевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОРМУШКИ ДЛЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO R3

Введение

В настоящее время автоматизация рутинной низкоквалифицированной работы становится все более и более распространенной. За счет замещения человеческих ресурсов различными технологическими решениями происходит оптимизация процессов, уменьшаются финансовые и временные издержки. Среди населения становятся более популярны системы домашних устройств, способных выполнять действия и решать определённые повседневные задачи без участия человека. Для данных целей наша группа решила представить автоматическую кормушку, которая идеально подойдет для кошек и маленьких собак, хозяева которых смогут более не отслеживать процесс кормления их питомцев.

Планирование и подбор необходимых компонентов

Первым этапом выполнения любого проекта является ознакомление с его темой и последующее планирование. На основе исследования было решено, какие компоненты будут использованы в составе устройства.

Среди них можно выделить:

- Микроконтроллер Arduino Uno R3 с тактовой частотой 16 МГц;
- Устройство непрерывного вращения;

- Дозатор/раздаточное устройство для зерна;
- Правосторонние уголки, прямоугольный «локоть» из ПВХ;
- Расходный материал для монтажа (гайки, винты, болты);

В качестве микроконтроллера был выбран Arduino Uno R3 из-за его невысокой стоимости, низкого электропотребления, простоты написания исходного кода и эксплуатации.

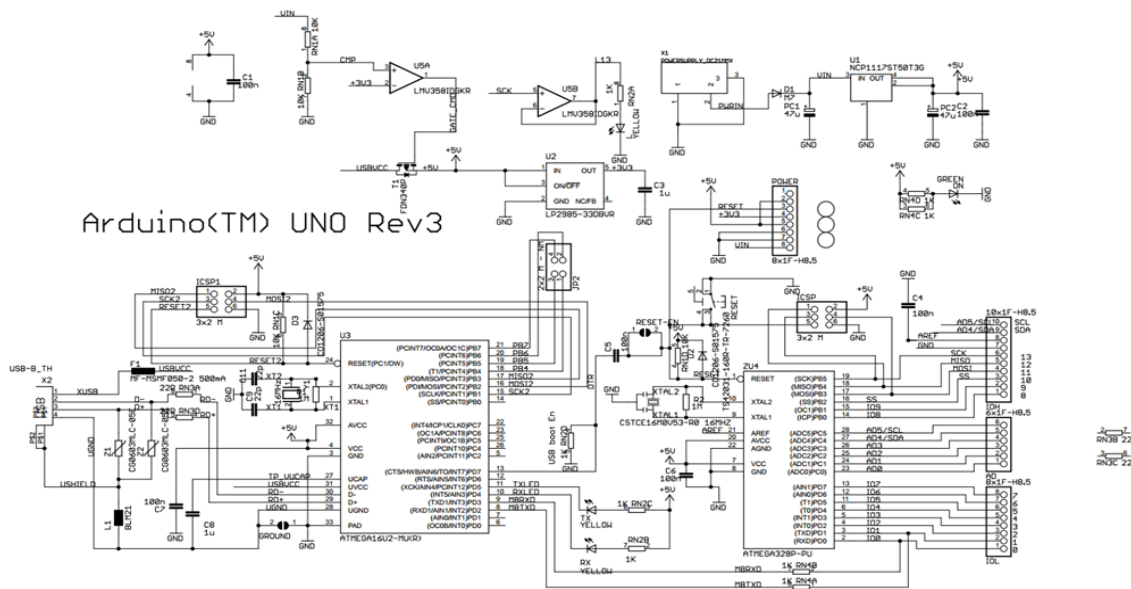


Рисунок 1 – Электрическая схема микроконтроллера Arduino Uno R3

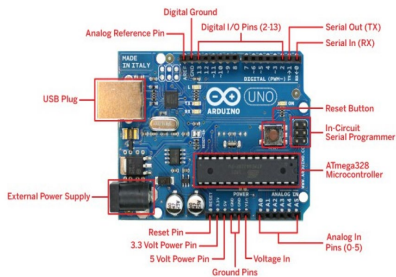


Рисунок 2 – Доступные входы на плате Arduino Uno R3

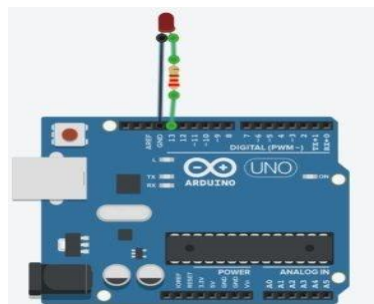


Рисунок 3 – Подключение простых внешних устройств к плате на примере светодиода (Сигнал, Земля)

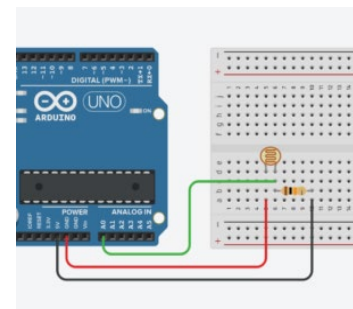


Рисунок 4 – Пример подключения сложных устройств на примере температурного датчика

Подключение внешних устройств к плате происходит соединением цифровых или аналоговых пинов на плате и контактов устройства. В зависимости от сложности устройства может быть задействовано различное количество пинов, а в случае, если энергопотребление вы-

ше того, которое может обеспечить микроконтроллер, понадобится внешний источник питания. В качестве сервопривода был выбран SM-S4303 JR по соотношению цена/качество. Дозатором был выбран стандартный двойной дозатор для злаков из нержавеющей стали емкостью 7,5 литров.

Процесс выполнения сборки устройства

За подбором и покупкой всех необходимых компонентов следует процесс сборки. Для начала убираем с дозатора (рисунок 7) все выступы (боковая ручка для подачи корма). В итоге остается только центральный блок. Следующим шагом является закрепление винтами малого диска вращения сервопривода, после чего диск присоединяется к сервоприводу (рисунок 5).

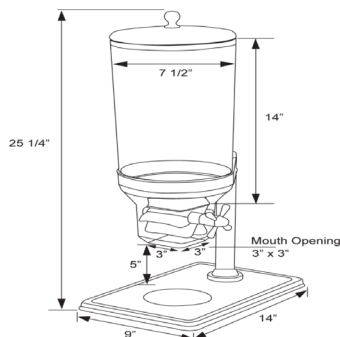


Рисунок 5 – Сервопривод Рисунок 6 – Схема дозатора Рисунок 7– Дозатор корма

За этим следует сборка передней панели. Нужно вырезать кусочек доски необходимого размера, так чтобы она хорошо подходила спереди и при этом скрывала всю электронику, уголками прикрепить доску к кормушке. Далее необходимо прикрепить трубку, в качестве которой может выступать сантехническое колено одним концом к дозатору корма, а другим к выходу из передней панели.

Закрепляем сервопривод для того, чтобы он не двигался во время работы, для этого нужно как привинтить, так и приклеить к панели. Далее выполняем программирование микроконтроллера. Каждые 8 часов будет происходить выдача 0,65 миски корма (около 3-ех секунд).

Последним шагом является установка соединения между сервоприводом и микроконтроллером. Необходимо подключить Землю, Питание и пин Сигнала (3 кабеля папа-папа при наличии бредборда, возможно прямое подключение к плате при помощи стокового кабеля, идущего в комплекте с сервоприводом).

```

1  #include <Servo.h>
2
3  const int servoPin = 13;
4  const int defaultInterval = 8; // interval before next feeding (hours)
5  const int defaultFeedingTime = 3; // time of supply (seconds)
6
7  Servo Servo;
8
9  void setup()
10 {
11   Servo.attach(servoPin);
12   pinMode(servoPin, OUTPUT);
13
14   StopFeeding();
15 }
16
17 void loop()
18 {
19   Feed(defaultFeedingTime);
20
21   int feedInterval = ConvertTimeToSeconds(timeInterval);
22   delay(feedInterval);
23 }
...
24
25 void Feed(int feedingTime)
26 {
27   delay(3000);
28   StartFeeding();
29
30   delay(feedingTime);
31   StopFeeding();
32 }
33
34 void StartFeeding()
35 {
36   Servo.write(0);
37 }
38
39 void StopFeeding()
40 {
41   Servo.write(90);
42 }
43
44 int ConvertTimeToSeconds(int hours)
45 {
46   return hours * 3600;
47 }

```

Заключение

В результате нами был разработан автоматизированный дозатор твердого корма для домашних животных на базе платы Arduino. Данное устройство является нашей попыткой решения проблемы отсутствия автоматизированных опций для поддержания комфортных условий для домашних животных без каких-либо дополнительных временных затрат.

М. А. Караваева

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН КАСТОМНОЙ ОДЕЖДЫ: ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ

Одним из основных показателей хорошего интернет-магазина является удобство его использования для клиента. Сайт должен быть прост в обращении, сочетать в себе интуитивно понятный графический интерфейс и содержать все возможности, необходимые для оптимального функционирования магазина кастомной одежды в интернете. Сайт должен совмещать в себе такие характеристики, как привлекательная визуальная часть, доступность и простота в использовании, а также наличие большого ряда функциональных возможностей.

Разработка дизайна является важным этапом в процессе проектирования сайта, так как внешний вид интернет-магазина играет большую роль для его посещаемости. Однако, при недостаточно разработанной и продуманной функциональной части, интернет-магазин не будет иметь эффективности.

Доступность и простота в использовании обеспечивается интуитивно понятным оформлением структурных блоков. В шапке сайта находится логотип интернет-магазина, навигационная панель, поисковая строка, аккаунт пользователя, а также корзина товаров. Левый блок представляет собой панель, на которой расположены инструменты, позволяющие отфильтровать продукцию по заданному критерию. В центральной части отображена предлагаемая продукция.

Реализован большой перечень функциональных возможностей. Например, есть возможность регистрации и авторизации. При нажатии на иконку профиля пользователю необходимо ввести свои личные данные для того, чтобы зарегистрироваться. Причем если данный пользователь уже существует, выведется сообщение об ошибке. Также у пользователя есть возможность выбора отображения товаров, которая реализуется путем нажатия на кнопку «Сортировать» и указания нужного варианта из предложенных. В интернет-магазине есть поиск товаров, обеспечивающийся вводом необходимой продукции в поисковую строку, и фильтр товаров, позволяющий отобрать продукцию определенной категории. Пользователь может добавить готовую одежду в корзину, либо создать свой собственный дизайн, подобрав принт для понравившейся вещи и заказать продукцию, а также оставить свой отзыв на сайте.

О. В. Карась

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. Л. Стефановский**, ст. преподаватель

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА 3D РЕКОНСТРУКЦИИ ЧЕРЕПА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

В данной работе предлагается метод, существенно сокращающий трудозатраты хирурга на моделирование имплантата. Метод основывается на достраивании отсутствующей части черепа с помощью глубокой нейронной сети посредством кодирования в ее структуре информации о строении черепа в представлении горизонтальных срезов снимков.

Для решения некоторых задач, с которыми сталкиваются классические алгоритмы в задаче реконструкции черепа, в настоящей работе используется нелинейный подход, основанный на сверточных нейронных сетях (CNNs).

CNN – это класс алгоритмов глубокого обучения, которые за последние несколько лет стали самым современным средством семантической сегментации и многих других задач компьютерного зрения. Их сила – это способность избегать прямого определения характеристик изображения для анализа, автоматически определяя эти характерные особенности путем итеративной минимизации функции затрат [1].

Кроме того, хоть фаза обучения этих алгоритмов обычно медленная, процесс тестирования довольно быстрый и позволяет получить сегментационные маски гораздо быстрее по сравнению с наиболее распространенными подходами.

Однако эффективное обучение CNN часто требует значительного объема высококачественных и разнообразных данных для получения хорошего обобщения. Основная идея такова: чем больше данных есть, тем лучше будет работать алгоритм обучения; но в то же время не можем жертвовать хорошим качеством данных, так как обучение CNN низкокачественными данными приведет к ухудшению точности алгоритма, который будет работать более грубо. К сожалению, каждый процесс сбора данных сопряжен с определенными затратами, которые могут выражаться во времени, деньгах, человеческих усилиях и вычислительных ресурсах. По этой причине общедоступные базы данных обычно относительно невелики и не содержат достаточной вариативности данных.

Имея небольшой набор данных высококачественных образцов, распространенным обходным путем для устранения недостатка данных является генерация новых искусственных образцов, начиная с имеющихся ресурсов данных: этот процесс называется увеличением данных и направлен на компенсацию затрат, связанных с дальнейшим сбором данных и маркировкой. Существует несколько способов увеличения объема данных, таких как поворот матрицы, зеркальное отображение и перевод.

В ходе исследования мы использовали архитектуру CNN, которая является модифицированной версией известной *U-Netronneberger2015u* и является одной из самых популярных архитектур, используемых для семантической сегментации. Также проанализировали вклад нескольких типов увеличения данных в конечную производительность алгоритма.

Глубокое обучение может играть важную роль в процессе реконструкции черепа и может предоставить действенные инструменты для использования в большинстве нейровизуализационных исследований.

Литература

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А., Глубокое обучение / Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. – СПб.: Питер, 2017. – 124с.

А. А. Каревский, В. И. Шилко

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. М. Кадан**, канд. техн. наук, доцент

АЛГОРИТМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАБОТЕ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Внедрение систем дистанционного обучения повлекло использование новых технологий, одна из которых «прокторинг» – процедура контроля на онлайн-экзамене, где за всем процессом наблюдает администратор – проктор. Наибольший интерес специалисты проявляют к проведению такого контроля в автоматическом режиме, когда проктор – это программная система, которая самостоятельно верифицирует личность студента (будем называть его «испытуемый»), следит за его поведением и фиксирует на видеозаписи экзамена инциденты, связанные с нарушением требований экзамена. Очевидно, что в основе такой системы автоматического прокторинга должны лежать алгоритмы искусственного интеллекта (AI).

В работе ставилась задача изучения требований к системам автоматизированного прокторинга, определение прямых и косвенных признаков нарушений, и исследование типов возможных интеллектуальных методов видеонаблюдения, позволяющих детектировать такие нарушения.

Традиционно, к прямым признакам нарушений относят отсутствие лица в кадре; подмену тестируемого, если лицо в кадре не принадлежит лицу, сдающему экзамен; наличие других лиц в кадре; любые голоса в кадре; увод взгляда за пределы экрана; смена окон на рабочем столе. Косвенные признаки – использование: гаджетов и прочих технических средств; книг, конспектов и черновиков; программ для трансляции рабочего стола; виртуальных машин и тонких клиентов; невербальное общение.

Самый ответственный момент технологической линии дистанционного обучения – проведение контрольных мероприятий с использованием средств удаленной работы. Платформы мировых лидеров в

области дистанционного образования, такие как Coursera, edEx, до сих пор не идут дальше предложения соблюдать Кодекс Чести обучающегося. Возможно, это связано с их коммерческим характером, но, скорее всего, задача контроля «честности» испытуемого представляется слишком сложной и сложно формализуемой. Очевидно, что наблюдение за испытуемыми через веб-камеру и микрофон недостаточно эффективно.

Контроль видеопотока с использованием алгоритмов AI позволит отслеживать сразу всех испытуемых и «подмечать» большое количество деталей. Среди таких деталей – контроль наличия посторонних в кадре, акустический контроль помещения, контроль за изменением информации, отображаемой на мониторе, контроль за направлением взгляда испытуемого. Зарегистрировав подозрительные действия, система оповещает человека-проктора. Он подключается к конкретной веб-камере и осуществляет личный контроль за испытуемым.

Первым этапом применения методов AI в работе систем прокторинга является идентификация испытуемого. Очевидно, что традиционные методы парольной аутентификации в этом случае неэффективны и должны быть заменены методами биометрической идентификации на основе физиологических особенностей испытуемого. При этом, поскольку использование большинства технических устройств биометрической идентификации затруднено, наиболее актуальными являются распознавание испытуемого по клавиатурному почерку и по изображению лица (двухмерному или трехмерному – 2D- или 3D-изображению).

В работе рассмотрены методы идентификации испытуемых по лицу по заранее подготовленной базе. База оцифрованных лиц студентов университета формируется на основе фотографий студенческих билетов, снятых в высоком разрешении и хорошем качестве, анфас. С помощью методов библиотеки DLib реализованы методы детектирования лица на изображении и построения ключевых точек лица для определения ключевых контуров: контур лица, левый/правый глаз, левая/правая бровь, левый/правый зрачок, нос, губы. На основе полученных ключевых точек по алгоритму триангуляции Делоне строится 3D-маска лица. Такая маска устойчива к поворотам головы испытуемого, теням, низкому качеству изображения.

Перспективными задачами в применении алгоритмов AI видятся задачи контроля эмоций и невербального общения студента (основанного на мимике), контроль за положением рук и направлением взгляда. А также анализ длительного поведения студента, при кото-

ром цепочка незначительных отклонений от стандартного поведения позволяет сделать вывод о нарушении требований экзамена.

А. С. Католикова

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СИСТЕМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Разработано приложение, которое позволяет динамически менять не содержимое приложение в зависимости от типа (новостной портал или система заказа товаров), а также менять его дизайн, структуру, при этом не требуется повторная публикация мобильного приложения в Google Play или App Store. Для этого предусмотрена панель администратора, где пользователь может осуществить создание приложения. При входе в панель администратора пользователю предлагается возможность создание группы, в котором последующие приложения будут создаваться. В группе назначаются общие для всех приложений характеристики (к примеру, цвета кнопок, меню, фон), в дальнейшем на уровне приложения можно переопределить дизайн. Каждое из приложений может иметь индивидуальный дизайн и контент, начиная от товаров для заказов, заканчивая постами для новостей. В зависимости от выбранного типа приложений (новостной портал или сервис для заказов), пользователь будет видеть соответствующие пункты для заполнений. Пользователь может заполнить описание товара, его категорию в случае выбора типа приложения как сервис для заказов.

Мобильное приложение, построенное на основе фреймворков Angular 10 и Apache Cordova позволяет в зависимости от файлов конфигурации получать информацию о всех имениях, которые происходят в системе. Администратор может контролировать приложение удаленно без пересборки приложения. Каждый пользователь, регистрирующийся в приложении, привязан к соответствующему приложению, таким образом пользователи логически изолированы друг от друга. В системе предусмотрена поддержка уведомлений, электронных писем, отправка которых осуществляется через систему администратора.

Серверная часть приложения использует .NET Core, который позволяет осуществлять кроссплатформенную разработку на различных операционных системах. Кроме того, сервер может быть расположен на AWS EC2 сервере, предоставляет вычислительные мощности в об-

лаке. В качестве БД была выбрана RDS MsSQL, что позволяет в реальных условиях существенно снизить стоимость, а также управлять безопасностью и безотказность. Для аудита системы, кроме логов для отчетности работы пользователей приложения предусмотрено логирование системы за счет использования сервиса ClowdWatch.

О. А. Кижнерова

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. М. Березовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО МЕНЕДЖЕРА МАСТЕРСКОЙ ПО РЕМОНТУ ТЕХНИКИ

Проблема автоматизации производственных процессов и процессов управления как средства повышения труда всегда являлась и остается актуальной в современном обществе. Эти системы получили широкое распространение в организационном управлении под названием автоматизированных рабочих мест.

Предлагаемая заметка посвящена вопросам разработки программного обеспечения по автоматизации рабочего места менеджера мастерской по ремонту техники.

Приложение должно обладать следующим функционалом:

- ввод и хранение данных;
- поиск данных;
- фильтрация данных;
- формирование на основе хранимых данных отчетов и документов;
- расчёт стоимости оказанных услуг.

На первом этапе разработки программного обеспечения реализована база данных приложения. Для корректности построения базы данных проведена нормализация таблиц до 3 нормальной формы. База данных состоит из 11 таблиц. Схема базы данных представлена на рисунке 1.

В разработанном программном продукте использованы различные компоненты. Для организации доступа к данным БД посредством форм использовался ряд компонентов ADO. Для редактирования, добавления или удаления данных из базы данных использованы диалоговые окна. Для организации элементов интерфейса использовались

КОМПОНЕНТЫ: «MainMenu», «PopurMenu», «Button», «Label», «Edit», «DateTimePicker» и другие.

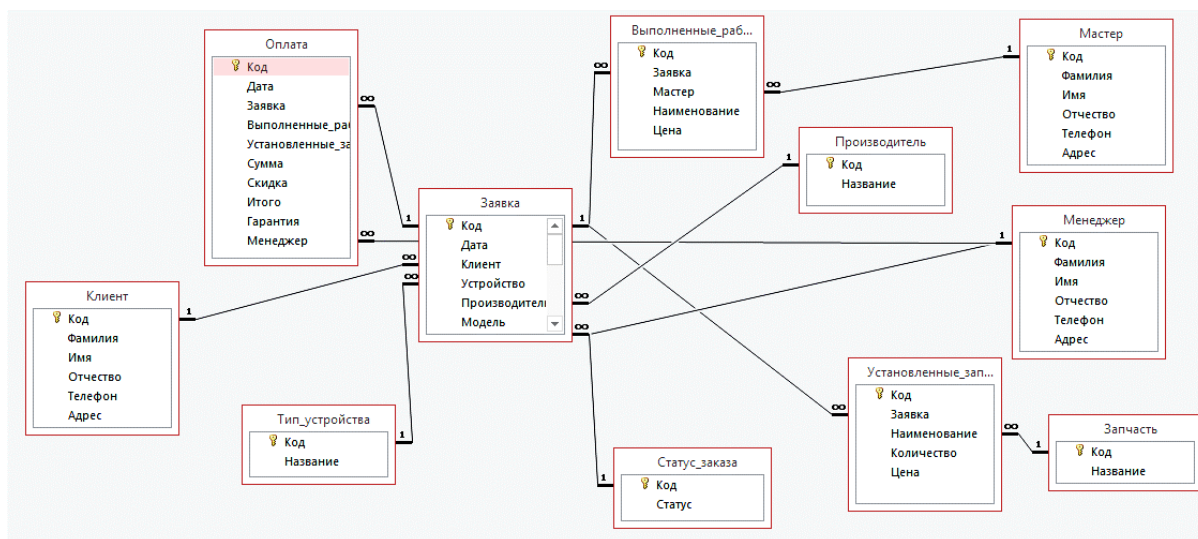


Рисунок 1 – Схема базы данных

Вид главного окна приложения представлен на рисунке 2.

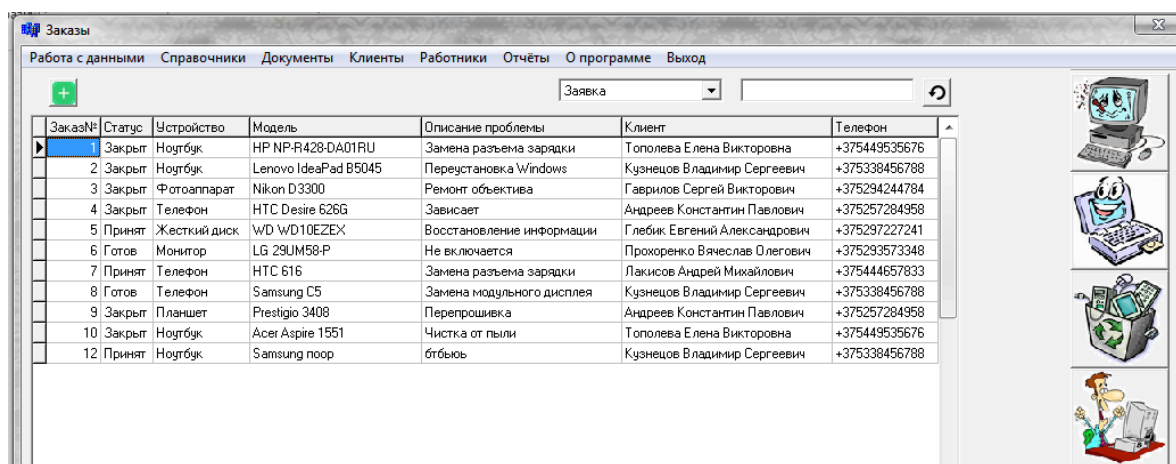


Рисунок 2 – Главное окно приложения

После входа в программу пользователь может просматривать имеющиеся данные и работать с ними. Для этого имеется меню, команды которого предоставляют доступ к данным базы данных. Добавление, удаление и редактирование информации осуществляется посредством диалоговых окон.

В программе предусмотрена работа со справочниками: «Клиенты», «Сотрудники», «Устройства», «Производители», «Запчасти».

Доступ к справочникам осуществляется выбором в панели меню нужной вкладки.

Для осуществления поиска записи необходимо выбрать поле, по которому будет осуществляться поиск, а затем ввести значение для поиска (рисунок 3).

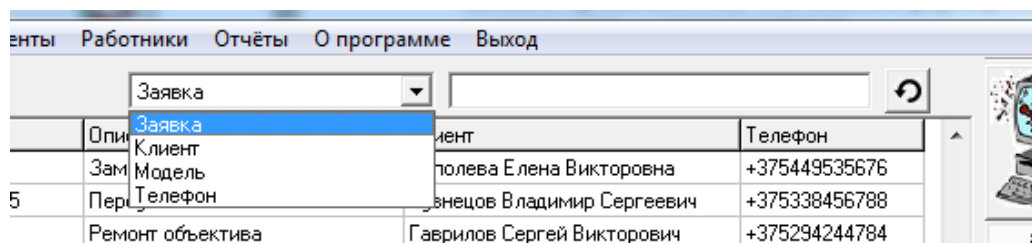


Рисунок 3 – Поиск данных

Для вывода записей, имеющих определённый статус, необходимо нажать кнопку соответствующую данному статусу.

Также в программе имеется возможность формирования таких отчётов, как «Перечень выполненных работ» и «Список заявок клиента». Для того чтобы сформировать отчёт, необходимо выбрать пункт меню «Отчеты» и затем выбрать вид отчёта. Пример отчета представлен на рисунке 4.

Список обращений клиента

ФИО: Андреев Константин Павлович
Телефон: +375257284958
Адрес: ул. Мазурова, 4/28

№ Заказа	Дата обращения	Устройство	Серийный номер	Причина обращения
4	3/05/2017	Телефон HTC Desire 626G	35-209900-176148-1	Зависает
9	4/05/2017	Планшет Prestigio 3408	O24HF8FHI7FJ3HF44	Перепрошивка

Рисунок 4 – Отчет «Список заявок клиента»

Программа позволяет вывести на печать такие документы, как: «Квитанция», «Гарантийный талон», «Акт выполненных работ».

Для полной уверенности в работоспособности программы «Учёт ремонтов» выполнены тестирование и отладка программы. При тестировании программы осуществлена проверка ее на корректность

ввода данных, правильность учёта заявок и формирование выходных документов в соответствии с утвержденными положениями.

Для того чтобы избежать ошибок во время выполнения программы предусмотрена проверка корректности ввода данных.

Разработан и протестирован программный продукт для автоматизации рабочего места менеджера мастерской по ремонту техники, с реализацией полного функционала в соответствии с заданием на проектирование.

Приложение реализовано в среде программирования Borland C++Builder, база данных создана в Microsoft Access.

К. В. Кислова

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. А. Зайцев**, ст. преподаватель

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМАТИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ФРЕЙМВОРКА «DJANGO»

Проблематика. В современном мире IT-сфера постоянно набирает обороты, находится в непрерывном развитии. Особенное значение имеет веб-разработка, потому что затрагивает множество сфер деятельности человека. Зачастую даже опытным и профессиональным разработчикам требуется постоянно совершенствовать свои знания в области огромного пласта технологий. Именно по этим причинам программисты нуждаются в языке, который не требует высокого порога вхождения и содержит в себе множество библиотек и утилит, которые значительно упрощают задачу разработки. Таким языком является «Python». «Python» – это высокоуровневый язык программирования общего назначения, обладающий большой стандартной библиотекой, содержащей большое количество полезных функций и поддерживающий несколько парадигм программирования. «Django» является фреймворком «Python» и постоянно совершенствуется. Создатели данного фреймворка главным образом заинтересованы в экономии времени разработчика и простоты обслуживания, даже в условиях значительной нагрузки.

Цель работы. Изучить структуру приложения на языке «Django», проанализировать техническую документацию. Разработать алгоритмы для написания кода задачи. Проработать детали передачи и обработки данных в сети Интернет.

Полученные результаты. В ходе проектирования веб-приложения были проведены следующие этапы: запуск сервера «Django» и проверка его на работоспособность, создание прототипа сайта (включает в себя шаблонные, опорные скрипты), добавление в проект моделей проектирования (объекты языка «Python», по средствам которых происходит управление данными), анализ и регистрация в административной панели разработчика. В результате было разработано приложение, где группа пользователей может фиксировать свои записи, редактировать их, удалять. А также каждый пользователь имеет свой профиль, где можно изменить профильное фото. Благодаря использованию фреймворка «Django» была реализована возможность управления администратором пользователями веб-ресурса без конфигурирования разработчиком административной панели вручную. Таким образом было получено базовое приложение на «Django» в значительно короткие сроки, по сравнению с другими языками.

А. Д. Ковальчук

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ НАВИГАЦИИ И КОММУНИКАЦИИ В КОСМОСЕ

Рост числа искусственных космических спутников повышает требования к координации их работы и передвижения. Также возникает необходимость в коммуникации между аппаратами. Для обеспечения соответствующих программных возможностей разработан навигационно-коммуникационный модуль на Android.

Использование модуля предполагает унификацию ПО для навигации и коммуникации, т.е. каждый спутник должен иметь установку актуальной версии приложения. Поскольку модуль имеет доступ к базе данных всех спутников с возможностью обмена сообщениями, для его использования нужно пройти авторизацию.

Приложение можно условно разбить на шесть блоков: четыре функциональных и два системных. Функциональные блоки включают интерактивную карту системы с автоматическим обновлением, а также галактическую карту с обновлением по запросу. Также реализован функционал получения списка небесных тел с их

описанием и перечня ближайших космических аппаратов с возможностью обмена сообщениями.

Системная часть включает настройки оформления и языка интерфейса, а также возможность обратиться в центр поддержки приложения с целью оставить отзыв, сообщить об ошибках приложения или предложить улучшения продукта.

Модуль разработан на языке программирования Kotlin с внедрением зависимостей посредством фреймворка Dagger, что обеспечивает лёгкость замены отдельных блоков приложения новыми без риска для остального функционала. Легковесная библиотека SQLite позволяет хранить историю сообщений и быстро подгружать её в модуль в удобном для пользователя виде. Получение данных с сервера по запросу реализовано в соответствии с MVVM паттерном посредством библиотеки Retrofit.

Для тестирования модуля был разработан эмулятор сервера на NodeJS, хранящий фрагментированные карты, а также данные о спутниках и небесных телах. Если сервер недоступен, модуль подгружает информацию из локальной базы данных, куда были записаны результаты предыдущего запроса.

А. В. Козлов

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УЧЕТА ДАННЫХ О СОТРУДНИКАХ

Приложение позволяет различным компаниям, специализирующимся на разработки программного обеспечения, следить за прогрессом своих сотрудников и событий, произошедших в их карьере за время нахождения в компании с возможностью генерации отчета в виде PDF-файла, а также состоянием текущих проектов.

Приложение разработано средствами React для клиентской части, Node.js для серверной и MongoDB для хранения данных. Также приложение имеет адаптивный дизайн средствами CSS и Bootstrap.

Выбор Node.js обусловлен использованием удобной модульной системы и его высокой производительностью для одностраничных приложений. Вся встроенная функциональность разбита на отдельные

пакеты или модули. Модуль представляет блок кода, который может использоваться повторно в других модулях.

MongoDB предлагает документо-ориентированную модель данных, благодаря чему MongoDB работает быстрее, обладает лучшей масштабируемостью, ее легче использовать. Было создано 3 коллекции: «Skills», «Users», «Projects». В «Skills» хранится информация о технологиях, которыми обладает пользователь. Изменять данные этой коллекции имеет право только администратор. Остальные пользователи, могут лишь добавлять или удалять технологии, которые существуют в данной коллекции. В «Projects» хранятся все данные о проектах, созданных пользователями, на которых требуются люди, обладающие определенным набором знаний. Коллекция «Users» хранит информацию о пользователях: логин, хешированный пароль, персональные данные, сведения и технологиях, которыми пользователь обладает, копии макетов, в которых отображены события.

Для безопасной передачи информации между клиентом и сервером используется JWT web-токен. При авторизации, пользователю необходимо ввести логин и пароль, которые отправятся на сервер. Если существует в коллекции «Users» такой пользователь, то сервер сгенерирует JWT и отправит обратно клиенту. JWT хранится в localStorage на стороне клиента и гарантирует, что в системе находится реальный пользователь.

Т. Е. Козляк

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. М. Кадан**, канд. техн. наук, доцент

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ЛИЦУ В ЗАДАЧЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Компьютерное зрение – это технология из области искусственного интеллекта (AI), которая позволяет, на основе информации, полученной из изображений реального мира, производить детектирование, отслеживание и классификацию объектов. В последнее время наибольший прогресс в области компьютерного зрения получен специалистами в военной сфере, в управлении городским хозяйством умных городов, а также при создании автономных транспортных средств (автомобилей и беспилотных летательных аппаратов).

В работе рассматривается задача использования AI-алгоритмов для идентификации пользователей по изображению лица. Задача связана с автоматизацией процесса проведения проверок присутствия субъектов (студентов) на контролируемой территории (в учебной аудитории). Среди самых очевидных подзадач - получить отчет о присутствии студентов выбранной группы на занятии согласно расписания; проверка отсутствующих на занятии студентов или присутствующих вне аудитории во время занятия; поиск посторонних лиц в аудитории. А также определить факторы, влияющие на качество распознавания лиц при использовании алгоритмов компьютерного зрения из библиотек OpenCV и dlib для языка программирования Python.

На сегодняшний день известно большое количество алгоритмов детектирования и распознавания лиц, каждый из них имеет свои особенности (скорость, точность). Такие алгоритмы делят на две категории, в зависимости от применяемых технологий распознавания – двумерные (2D-алгоритмы) и трехмерные (3D-алгоритмы).

Системы 2D-распознавания работают с плоскими изображениями и распознают лицо, анализируя определенные участки, текстуру и цвет лица. Системы 3D-распознавания работают с трехмерным пространством и распознают лица, анализируя особенности строения черепа человека. Также они решают проблему строгих требований к положению лица в кадре, с которой часто не справляются 2D-методы.

Схема распознавания лиц по изображению приведена на рисунке 1.

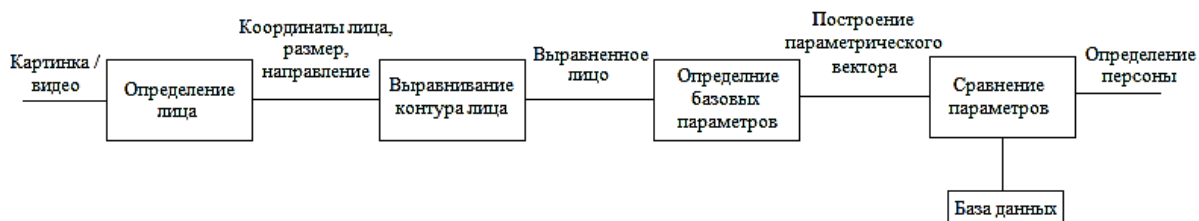


Рисунок 1 – Общая схема алгоритма распознавания лиц

В работе для детектирования лиц был использован алгоритм, основанный на методе Виолы-Джонса. Для распознавания лиц применялась сверточная нейронная сеть, которая позволила классифицировать поданное на вход изображение с не всегда достаточным уровнем достоверности, что обусловлено качеством обучения сети.

Для обучения сети использовался датасет, содержащий фотографии студентов, сделанные при поступлении в университет, что, с од-

ной стороны, обеспечило качество изображений – правильный поворот головы и правильную освещенность. В то же время, многие фотографии были в единственном экземпляре, что оказалось не всегда достаточно для точного извлечения дескрипторов лица. Также недостатком использования нейронных сетей явилось то, что при добавлении нового лица в базу данных приходилось переобучать всю сеть заново.

Для более точного извлечения дескрипторов лица было принято решение использовать 3D-алгоритмы распознавания, использующие информацию о глубине и кривизне поверхности, в отличие от систем двумерного распознавания, использующих признаки, основанные на яркости пикселей изображения и удаленности разных точек на лице (у каждого лица оно индивидуальное). Такие трехмерные дескрипторы имеют большую точность в описании особенностей поверхности; лучше подходят для описания свойств лица в областях щек, лба и подбородка; и, что очень важно, инвариантны к ракурсу съемки и освещению.

Нельзя не отметить, что главные трудности при распознавании лиц создает проблема освещенности изображения, положение головы, скорость работы алгоритмов, а также, во многих случаях, частичное закрытие лиц прической, соседями по аудитории или некоторыми посторонними объектами (например, медицинской маской).

Т. Е. Козляк, В. И. Шилко

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. М. Кадан**, канд. техн. наук, доцент

СОЗДАНИЕ ИГРОВЫХ БОТОВ ДЛЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ ЗАДАЧ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Развитие методов искусственного интеллекта (AI) породило новый вид соревнований - чемпионаты по программированию AI. Участники таких соревнований реализуют игровые стратегии (программы-боты), которые состязаются друг с другом в виртуальном мире. Данный тип соревнований предоставляет возможность проверить свои навыки программирования, запрограммировав AI-стратегию, управляющую юнитом в специальном игровом окружении. В каждой игре участвуют стратегии как минимум двух участников. Стратегия, набравшая

большее количество очков, побеждает. Игры также могут закончиться ничьей, если все стратегии набрали одинаковое количество очков.

Среди подобных соревнований [1] достаточно широко известны такие, как AI Cup – открытый чемпионат по программированию искусственного интеллекта компании Mail.Ru Group [2]; Google AI Challenge – международный конкурс программирования искусственного интеллекта [3], начатый Клубом Компьютерных наук университета Ватерлоо. Активно обсуждаются аспекты программирования AI на ряде технических форумов, в частности [4].

Технология проведения соревнований по программированию искусственного интеллекта предполагает проведения турниров в несколько этапов, которым предшествует квалификация в Песочнице. В ходе каждого этапа игровому боту присваивается и изменяется некоторое значение рейтинга, показывающего, насколько успешно его стратегия участвует в играх с соперниками. Песочница используется не только для определения предварительного уровня игры (рейтинга) бота перед отправкой его для участия в следующих этапах соревнований. Также боты отправляются в песочницу для проверки правильности сделанных изменений их игровых стратегий в процессе их разработки и отладки.

Участнику соревнований предоставляется программный пакет, содержащий модули, описывающие виртуальный игровой мир в виде объектно-ориентированной модели (для обеспечения простого расширения и модификации). Также игроку доступно приложение игрового симулятора (для проведения отладки на локальном компьютере) и метод, в котором должна быть реализована логика стратегии его игрового бота. Такому методу должна быть доступна информация о текущем состоянии игры и отладочный интерфейс. Также в состав пакета входит объект, представляющий базовую стратегию (используемую при отладке в роли «противника»).

Время в игре дискретное и поделено на «тики». В начале каждого тика, игровой симулятор передает состояние виртуального мира ботам участников, затем получает от них действия и обновляет состояние мира в соответствии с этими действиями и правилами игры. Затем процесс повторяется для следующего тика с обновленным состоянием. Длительность игры ограничена, но игра может закончиться, если все стратегии игроков «упали»: завершились в результате ошибок времени выполнения или из-за потери взаимодействия с игровым сервером; а также, если стратегия превысила ограничения по времени или памяти.

С целью получения навыков по разработке инструментария для проведения соревнований по программированию искусственного интеллекта, был спроектирован и реализован базовый программный пакет на языке Python. Основные его классы – класс Game, представляющий игру нескольких (неограниченного количества) ботов, и класс Bot – представляющий базовый игровой Бот. Структура классов представлена в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Структура класса Game

Game	
- bots	список ботов
+ gameArea	параметры виртуального игрового мира
+ end	признак завершенности игры
+ winner	ссылка на бот-победитель
+ max_timer	предел времени, отведенного на игру
- current_timer	текущее значение таймера
+ func_game_over()	условие завершения игры
+ game_show()	визуализация состояния игровой среды
+ game_stepShow()	визуализация шага состояния игровой среды
+ game_over()	проверка завершения игры
+ game_check(player)	контроль состояния игры после хода бота player
+ calc_winner()	определение победителя
+ game_end()	вывод победителя
+ game_step()	шаг игры - боты ходят согласно списку bots
+ game_loop()	цикл игры - до завершения

Таблица 2 – Структура класса Bot

Bot	
+ name	имя бота
+ points	очки, набранные ботом в игре
+ visible	признак визуализации действий бота
+ nextStep()	базовая стратегия

Модель игрового мира описывается дополнительными классами и структурами, в зависимости от особенностей игры.

В зависимости от вида игры, требуется создать новый класс игры на основе класса Game и переопределить его методы func_game_over(), определяющий условие завершения игры, и методы game_show(), game_stepShow(), реализующие вывод протокола игры. А также создать интеллектуального бота (интеллектуальную стратегию). Для этого наследуется класс IBot от Bot, в котором переопреде-

ляется метод nextStep(), определяющий следующий шаг бота на основе анализа текущего состояния виртуального игрового мира.

Данный подход использован при разработке виртуальных игровых миров для программирования AI в классических антагонистических играх, как имеющих оптимальные стратегии, так и не имеющих их. Предполагается его использование в соревнованиях по направлению «Интеллектуальная защита» в рамках Олимпиады студентов и школьников по криптографии и защите информации (Junior.Crypt), проводимой кафедрой системного программирования и компьютерной безопасности ГрГУ им.Янки Купалы с 2010 года.

Литература

1. Competitions and prizes in artificial intelligence [Электронный ресурс] / Wikipedia, the free encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Competitions_and_prizes_in_artificial_intelligence. – Дата доступа: 20.03.2021.

2. AI Cup – соревнование по программированию искусственного интеллекта [Электронный ресурс] / CodeCraft 2020. – URL: <https://russianaicup.ru/>. – Дата доступа: 20.03.2021.

3. Google AI challenge [Электронный ресурс] / Wikipedia, the free encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/AI_Challenge. – Дата доступа: 20.03.2021.

4. Игровая логика и ИИ [Электронный ресурс] / Технический форум. GameDev.ru — Разработка игр. – URL: <https://gamedev.ru/code/forum/?ai>. – Дата доступа: 20.03.2021.

Ю. В. Кузнецов

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ АНТЕННОЙ

В рамках работы была разработана автоматизированная система удаленного управления антенной. Процесс управления системой реализован через мобильное приложение.

Одной из наиболее интересных и активно развивающихся концепций является Интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT) – концеп-

ция вычислительной сети физических устройств, оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, включающее из части действий и операций необходимость участия человека. [1]

Актуальность данной работы заключается в том, что рынок умных приборов быстро растёт.

Идея, лежащая в основе системы удаленного управления измерительной антенны Пб-23А, заключается в том, что исследователь помещает устройство на стойку антенны, закрепляя зажимы на поворотном устройстве антенны. После установки устройства и настройки программного обеспечения устройства исследователь может управлять углом поворота антенны дистанционно с помощью Android-приложения.

Для создания устройства была выбрана плата Arduino Nano, так как она оснащена наборами цифровых и аналоговых выводов входа и выхода, которые могут быть подключены к различным платам расширения и другим схемам. Arduino Nano – это плата микроконтроллера с открытым исходным кодом, основанная на микроконтроллере ATmega328 (Arduino Nano 3.0). [2]

Аппаратная часть устройства базируется на плате Arduino Nano, Wi-Fi адаптера ESP8266, шагового биполярного двигателя, управляющего углом поворота и редуктора, закрепленного на поворотном механизме антенны Пб-23А.

Исследователь может настроить угол поворота с помощью мобильного приложения так, чтобы выбирать именно тот угол, который необходим.

После подключения устройства к антенне можно с помощью приложения управлять углом поворота на заданное число градусов по часовой и против часовой стрелки. Поворот антенны относительно выбранной оси происходит за счет подачи питания на шаговый двигатель. После всех действий можно вернуть антенну в исходное положение, путем нажатия на кнопку «возврат в исходное положение»

Стек используемых технологий состоит из приложения для ОС Android, написанное на языке C++ в IDE Android Studio. Также для написания кода для Arduino использовалась Arduino IDE с языком программирования C++.

Литература

1. Интернет вещей [Электронный ресурс] / Wikipedia // 2010. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Интернет_вещей. – Дата доступа: 22.03.2021.
2. Arduino Nano [Электронный ресурс] / Arduino.ru // 2010. – URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>. – Дата доступа: 22.03.2021.

Д. А. Куликов, А. Г. Лелевич
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. М. Кадан**, канд. техн. наук, доцент

ТЕХНОЛОГИИ ПРОКТОРИНГА И ИХ УЯЗВИМОСТИ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

В связи с вынужденным переходом учебных заведений на проведение занятий и экзаменов в удаленной форме, на слуху оказалось новое для нашей аудитории понятие «прокторинг». Прокторинг – это процедура контроля на онлайн-экзамене, где за всем процессом наблюдает администратор – проктор. Проктор, пытаясь удаленно контролировать нарушения хода экзамена, следит за действиями экзаменуемого с помощью веб-камеры или общего доступа к рабочему столу его компьютера. В то же время такая система оценивания знаний далеко не идеальна и имеет уязвимости.

Традиционно, при проведении прокторинга используются три технологии, связанные с типом проктора. Это – «проктор-человек», который ведет контроль за ходом экзамена, используя средства удаленного доступа и фиксирует нарушения вручную; «автопрокторинг» – программа самостоятельно верифицирует личность студента, следит за его поведением, направлением взгляда, анализирует звуки в комнате, фиксирует нарушения на видео и готовит отчеты; «комбинированный вариант» - человек и программа дополняют друг друга.

В настоящее время, эталоном организации центров удаленной сертификации, являются требования компании Pearson VUE, которая управляет крупнейшей в мире сетью из более чем 5000 наиболее защищенных тестовых центров почти в 180 странах мира [1]. Pearson VUE сотрудничает и предлагает тесты многих ведущих мировых ИТ-

компаний таких, как Microsoft, Amazon, Cisco, VMware, Symantec, IBM Corporation и многих других.

Процедура прохождения удаленного тестирования предполагает выполнение довольно значительных ограничений: испытуемому необходимо иметь микрофон, веб-камеру и тихое помещение, в которое на протяжении всего экзамена никто из посторонних не может зайти. Перед прохождением теста необходимо пройти проверку с администратором. Он осмотрит комнату, рабочий стол, попросит показать удостоверение личности и будет следить за всем, что происходит на мониторе и вокруг сдающего на протяжении всего тестирования. Администратор вправе завершить сеанс и отклонит тест, если посчитает, что вы нарушаете какое-либо из правил.

Как видно, в центрах сертификации Pearson VUE основная нагрузка по контролю за действиями испытуемого ложится на администратора. Доля средств автоматизированного или интеллектуального контроля – минимальна. Эта ситуация прямо противоположна тому, с чем мы имеем дело при проведении контрольных мероприятий в условиях дистанционного обучения (ДО). Студент в своих действиях ограничен только техническими средствами контроля – видеокамерой и микрофоном ноутбука, или системой контроля за удаленным рабочим столом, которая может быть установлена на машине преподавателя.

То есть система прокторинга в условиях ДО работает в рамках технологии «автопрокторинг», без участия администратора. Основные уязвимости будут связаны:

- с наличием многочисленных «слепых зон» для видеокамеры. В зависимости от того, где расположена и как ориентирована видеокамера испытуемого, слепые зоны могут располагаться перед испытуемым, на его рабочем столе и под рабочим столом;
- с использованием студентом средств невербального общения, которые не регистрируются видеокамерой и микрофоном. Это проблемы, связанные с мимикой, движениями глаз, положением рук и глаз, условными сигналами и прочими проявлениями, для которых пока нет удовлетворительных решений;
- с недостатками алгоритма интеллектуального анализа данных видеопотока, реализованного в рамках системы прокторинга. Во-первых, любая программа может дать сбой или не распознать нестандартную ситуацию. Во-вторых, программа может выдавать лишь рекомендации администратору, что предполагает отсрочку времени принятия окончательного решения.

Также развитие рынка носимых гаджетов, их миниатюризация и доступность, выдвигают новые проблемы, связанные с уязвимостью технологий прокторинга. Особенно в молодежной среде.

В итоге, наиболее приемлемым представляется комбинированный вариант, как наиболее перспективный. Проктор, за счет использования «интеллектуального наблюдения» при помощи видеокамеры, микрофона и AI-алгоритмов автоматизации процесса контроля за нарушениями, может значительно повысить эффективность своей работы.

Литература

1. Take a test with Pearson VUE [Электронный ресурс] / Pearson Vue. – Pearson Education Inc. – URL: <https://home.pearsonvue.com/>. – Дата доступа: 09.12.2020

А. П. Ляпко

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «РАСПИСАНИЕ»

В настоящее время актуальным является онлайн обучение.

Разрабатываемое приложение предназначено для удобной работы с расписанием онлайн школы. Поскольку основным назначением данного приложения является предоставление пользователю удобного и понятного интерфейса для работы с базой данных, то разработаны специальные формы для отображения информации в табличном виде, формы для ввода параметров, а также формы для ввода и редактирования информации.

В приложении разработаны следующие функции:

- создание новых занятий;
- изменение информации о занятиях;
- изменение времени занятия;
- изменение информации об учениках;
- просмотр данных в табличном виде;
- редактирование информации о пользователе.

Предлагаемое приложение предназначено для автоматизации этих операций, получения достоверной и оперативной информации, формирования выходных документов.

В данном web-приложении для хранилища данных используется база данных PostgreSQL. В ней создано три таблицы: Преподаватели, Ученики и Занятия. Таблица преподаватели хранит информацию о преподавателях. Таблица ученики хранит информацию об учениках. А таблица занятия хранит информацию о занятиях. А также в таблице Занятия используются ключи из таблиц Ученики и Преподаватели.

В расписании существует авторизация и два уровня доступа: преподаватель и ученик. Был создан абстрактный родительский класс для описания общих полей у сущности ученик и преподаватель. В нем содержаться поля: ФИО, возраст, номер телефона и др.

Так же созданы три модели, наследующиеся от абстрактного класса и описывающие сущности Преподаватель, Ученик и Занятия более конкретно.

Модель Преподаватель

Эта модель хранит в себе поля абстрактного класса, а также: рабочее время преподавателя, Дисциплины, которые преподает или может преподавать, стаж работы преподавателя. Заслуги по дисциплинам преподавателя. Кол-во проведенных уроков. Так же преподаватель имеет доступ к редактированию занятий, а также отдельных полей модели ученик таких как: пройденные темы, рекомендации в обучении и оценка знаний по дисциплинам.

Модель Ученик

Эта модель хранит в себе поля абстрактного класса, а также: дисциплины, которым в данный момент обучается ученик, пройдены темы по дисциплинам, оценка знаний по дисциплинам, рекомендации по обучению, время удобное для проведения занятий, кол-во пройденных уроков. Ученик имеет доступ к просмотру информации об уроках и преподавателях, может менять поля наследуемого класса и удобное для проведения занятий время.

Модель Занятие.

Она хранит в себе: код преподавателя, проводящего занятие; код учеников присутствующих на занятии; дату проведения занятия; время проведения занятия; продолжительность занятия; дисциплину, по которой будут проводиться занятия и тему занятия.

Для отображения информации о занятиях, а также для удобного редактирования информации, была создана UX/UI таблица, отображающая краткую информацию о занятиях. При нажатии на занятие

можно перейти на более подробное описание, а также редактирование этого описание. Отсюда так же можно попасть в личный кабинет каждого пользователя. Ученик может посмотреть информацию о педагоге. А педагог может смотреть и править информацию об ученике. По окончании времени проведения каждого занятия срабатывает триггер и увеличивает количество проведенных занятий преподавателю, а ученику количество посещенных занятий.

Таким образом, реализованное web-приложение «Расписание», позволяет автоматизировать работу онлайн школы.

Для его написания использованы Java 8, коллекции, Spring Boot.

В. А. Ляшко

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. М. Березовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ «СОРТИРОВКИ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ WINDOWS FORMS

Под сортировкой данных понимается их расстановка в некотором порядке. При выборе метода сортировки необходимо учитывать объем требуемой памяти и скорость работы.

Настоящее приложение реализует следующие виды сортировок:

– сортировка пузырьком (Bubble sort), шейкерная сортировка (Cocktail sort),

– сортировка вставками (Insertion sort), сортировка Шелла (Shell sort), сортировка деревом (Tree sort), пирамидальная сортировка (Heap sort), сортировка выбором (Selection sort), гномья сортировка (Gnome sort), поразрядная сортировка (Radix sort) в двух вариантах, сортировка слиянием (Merge sort), быстрая сортировка Хоара (Quick sort).

Работа приложения начинается с заполнения массива данными, после чего осуществляется выбор вида сортировки. На рисунке 1 приведен вид экрана при сортировке вставками. Здесь же имеется текстовое описание алгоритма сортировки.

Программа реализует интерактивное сопровождение всех действий, происходящих при сортировке. По окончании работы приложения получается отсортированный массив, выводится время, количество обменов и сравнений.

При создании приложения в качестве среды разработки использовался язык C#, с использованием технологии Windows Forms.



Рисунок 1 – Сортировка вставками

Т. В. Мальцева, Е. А. Удавихин, Е. И. Плевако
(БГУ, Минск)

Науч. рук.: **Н. Н. Кольчевский**, канд. физ.-мат. наук, доцент,
П. В. Петров, инженер-электроник

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ПЛАТФОРМЕ АРДУИНО

При проведении экспериментов нередко возникает потребность в передаче получаемых данных на некоторое расстояние. Использовать существующие компьютеризированные платы выиграно как с точки зрения финансов, так и с точки зрения отсутствия необходимости проектировать и создавать радиотехническую систему с нуля. Используя платы микроконтроллеров, микропроцессоров и миникомпьютеров можно создать систему из уже существующих компонентов, что значительно сократит стоимость разработки.

Целью работы является создание системы, которая позволит дистанционно получать сведения экспериментальных измерений.

Для выполнения данной задачи могут быть использованы платы Raspberry Pi Zero, NodeMCU, Particle Photon, но наиболее дешевым решением будет выбор Arduino. Arduino – разновидность процессорных плат для разработки аппаратно-программных средств на базе микроконтроллеров Atmel ATmega. Данный микроконтроллер является наиболее распространенным среди своих аналогов, что существен-

но расширит количество доступной информации и упростит поиск необходимых деталей. Еще одно преимущество микроконтроллеров Arduino заключается в наличии прошитого в них загрузчика, то есть для работы не требуется наличия аппаратного программатора. Среда разработки ардуино IDE находится в открытом доступе, ссылка arduino.cc, так же есть альтернативные. После установки среды разработки нужно подключить ардуино к USB порту компьютера, и удостовериться, что компьютер опознал устройство. Для этого нужно узнать номер com-порта, к которому подключено ардуино устройство. Необходимо открыть диспетчер устройств и выбрать там пункт com-порты. Далее следует запустить среду разработки и указать там тип платы, который написан на самом ардуино `Ide//Tools//Board`, и номер порта `Ide//Tools//Port`. Далее можно приступить к созданию программного функционала.

Далее представлена таблица, содержащая информацию о типах беспроводной связи (таблица 1). В таблице представлены коммерчески доступные модули, на которых возможна реализация связи, так же их стоимости и максимально возможные дальности передачи.

Таблица наглядно иллюстрирует, что наиболее выгодным решением будет являться модуль NRF24L01, т.к. нам необходима связь на дистанциях до 1 км. Некоторые технические характеристики данной платы: частота приёма и передачи: 2,4 ГГц, напряжение питания: 1,9В – 3,6В, интерфейс обмена данными: SPI.

Структурная схема измерительного комплекса показана на рисунке 1. Измерительная часть схемы удалена от анализирующей и регистрирующей схемы на расстояние более 500м. Система радиопередатчиков устанавливает связь между измерительной и регистрирующей частью для оперативного контроля экспериментальных данных.

Таблица 1 – Типы беспроводной связи для Arduino плат

Тип связи	Примеры модулей	Стоимость, \$	Дальность передачи данных
IR port	HX1838	0,72	8 м
Bluetooth	//Серия HC HC-05	2,72	10 м
Wi-Fi	//Серия ESP8266 ESP-01	2	100 м
Радиосвязь	NRF24L01	0.9	100 м, до 1000 с антенной



Рисунок 1 – Структурная схема измерительного комплекса

А. В. Михайлов

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **В. С. Захаренко**, канд. техн. наук, доцент

СРЕДСТВА ИГРОВОГО ДВИЖКА UNREAL ENGINE 4 ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ «AFINA»

С помощью UE4 можно разрабатывать различные двумерные и трехмерные игровые приложения различных жанров: шутеры, стратегии, квесты, головоломки, ролевые игры, симуляторы и другие. Движок стал популярен не только в игровой индустрии, но и в кинематографе, где используется для создания различных спецэффектов, в архитектуре и строительстве, а также в образовательных целях. Unreal engine предоставляет хорошую графику, качественные визуальные эффекты, удобные средства для моделирования, имеет мощный инструмент для дизайна игровых уровней прямо в движке, удобную систему Blueprint, у которой нет аналогов, хороший дизайн, интуитивность в использовании. Движок сочетает в себе высокую производительность при сборке, отличную графику, простой язык программирования и удобность в использовании. Также к плюсам можно отнести наличие крупного комьюнити, которое поможет решить все проблемы. На сайте Unreal Engine содержится большое количество доку-

ментации для работы с движком. UE4 снабжен всеми необходимыми редакторами: редактор для конструирования сцен, для импортирования, для настройки и анимации моделей, для наложения материалов, редактор для создания различных физических эффектов, размещения аудиоисточников и настройки звука, специальный редактор для создания Blueprint скриптов. Прямо из коробки при помощи шаблонов можно создать тринадцать проектов на C++ и двенадцать на Blueprint, среди которых игровые приложения различных жанров: скроллеры, шутеры от первого и третьего лица, авиасимуляторы, автосимуляторы и другие.

Все элементы игрового движка представлены в виде объектов, имеющих набор характеристик, и класса, который определяет доступные характеристики. В свою очередь, любой класс является дочерним классом `object`.

Среди основных классов и объектов можно выделить следующие:

Эктор – родительский класс, который содержит все объекты, которые имеют отношение к игровому процессу и имеют пространственные координаты.

Пешка – физическая модель игрока или объекта, который управляется искусственным интеллектом. Метод управления пешки описывается специальным объектом, который называется контроллером. Контроллер искусственного интеллекта описывает общее поведение пешки во время игрового процесса, а такие параметры как здоровье или, например, расстояние, на котором пешка обращает внимание на звуки, задаются для каждого объекта отдельно.

Мир, уровень – объект, который характеризует общие свойства пространства, например, силу тяжести и туман, в котором располагаются все экторы. Также может содержать в себе параметры игрового процесса, как, например, игровой режим, для которого предназначен уровень.

Учитывая достоинства игрового движка Unreal Engine 4, такие как хорошая графика, эффекты, удобные средства для моделирования, наличие мощного инструмента для дизайна игровых уровней прямо в движке, интуитивность в использовании, высокую производительность при сборке, открытый исходный код, а также встроенные механизмы для сетевого взаимодействия в многопользовательских играх, данный движок является хорошим средством для разработки игровых приложений.

И. В. Можяев

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА WEB-САЙТА «ДОСТИЖЕНИЯ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ»

Услугами Интернета в настоящее время вскоре будут ежедневно пользоваться более 90% человек земного шара. Как известно, информация правит миром. Ее успех в Сети зависит от того, насколько качественно и красиво сделана Web-страница.

Предлагаемый сайт носит информационный характер. Он содержит сведения о разных сферах деятельности жителей Гомельской области. Справа на экране содержатся направления социально-экономической жизни области: социальная сфера, здравоохранение, наука и образование, труд, занятость и социальная защита, культура и искусство, спорт и туризм, молодежь области. Активизируя нужное направление, попадаем на текстово-графическую информацию его характеризующую. Сведения в каждой подобласти данных могут быть откорректированы и дополнены более актуальной информацией. Главная страница web-сайта изображена на рисунке 1.

Результатом разработки стал готовый к работе web-сайт, содержащий информацию по интересующим нас позициям. При разработке сайта были использованы языки JavaScript, CSS, HTML и PHP.

The image shows a screenshot of a website. On the left, there is a main content area with the heading "Спорт" (Sport). The text describes 76 sports institutions in Gomel region, lists Olympic champions like Leonid Geyshor and Elena Rudkovskaya, and mentions other athletes like Roman Petrusenko and Alla Tsuper. On the right, there is a vertical sidebar menu with a red header "СОЦИАЛЬНАЯ СФЕРА" (Social Sphere) and several blue buttons with white text: "ЗДРАВООХРАНЕНИЕ" (Healthcare), "НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ" (Science and Education), "ТРУД, ЗАНЯТОСТЬ И СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА" (Labor, Employment and Social Protection), "КУЛЬТУРА И ИСКУССТВО" (Culture and Art), "СПОРТ И ТУРИЗМ" (Sport and Tourism), and "МОЛОДЕЖЬ ГОМЕЛЬЩИНЫ" (Youth of Gomel Region).

Рисунок 1 – Первая страница

Д. В. Назаров
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А. А. Зайцев**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ-МЕССЕНДЖЕРА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

Проблематика. С учетом современных пандемических реалий перевода сотрудников на удаленную работу, многие, в том числе государственные, организации встают перед вопросом – где сотрудники будут общаться по служебным вопросам?

Самым распространенным ответом является «Slack», однако и это решение имеет ряд проблем.

В 2020м году Slack занимает достаточно большую долю рынка корпоративных мессенджеров, однако всё больше подвергается критике за то, что превращается в подобие Skype for Business. Функционал постоянно растёт, однако качество разработки мессенджера падает, дизайн становится всё более перегруженным и непонятным для только что пришедших людей, а новыми функциями никто не пользуется, предпочитая Slack только для текстового общения. В связи с этим, а также высокой ценой, необходимо новое решение, которое будет обладать меньшим функционалом, однако будет дешевле и проще в использовании.

Цель работы. Создать мессенджер, который сможет заменить для организаций такие программные продукты как «Slack» или, например, «Microsoft Teams». Мессенджер будет иметь возможность регистрации и контроля пользователей, а также возможность создания групповых чатов. Получившийся продукт будет иметь открытый исходный код, а также распространяться по лицензии GPL v3, что даёт возможность организациям быстро модернизировать или создавать свои модули для него, и использовать мессенджер, не платя никаких денег создателю.

Для того чтобы создать мессенджер, проанализируем требования к нему:

- Основная функция – текстовое общения;
- Небольшие требования к ресурсам
- Возможность создавать групповые чаты
- Регистрация и контроль пользователей
- Сохранение списка чатов на устройстве

Реализация:

Сохранение сообщений на удаленном сервере. Для того чтобы сообщения появлялись при входе на любом корпоративном устройстве, необходимо хранить их на удаленном сервере. Это позволяет не беспокоиться о переносе данных в переписках при переходе на другое устройство, а значит легко их восстанавливать в случае эксцессов.

Если хранить переписки на собственных серверах для каждой компании – их обслуживание и поддержка обойдется очень дорого, поэтому сервера, так как и хранение информации, доверяют некоторым доверенным провайдерам, таким как, например, Google.

В данном приложении будет использоваться база данных от Firebase, так как Google является корпорацией, чьи сервера используют многие крупные компании, а так как как Google пока что только входит на рынок облачных сервисов, пытаясь потеснить таких гигантов как Microsoft и Amazon, компания очень сильно снижает цены, что повлияет на цену использования приложения, которую можно понизить.

Ещё одним преимуществом использования Firebase является то, что мы можем предложить функцию постмодерации и просмотра сообщений для наших клиентов, напрямую из базы данных.

В нашем случае база данных была спроектирована таким образом, что у каждого диалога есть свой уникальный идентификатор, по которому его могут найти другие участники. Также уникальный идентификатор есть и у каждого сообщения, по которому мы можем его найти. Также хранится время отправки сообщения и автор сообщения.

Сохранение диалогов на устройстве. Для корректной работы приложения нам необходимо хранить диалоги на устройстве, так как в ином случае пользователю придется при каждом использовании опять находить по id и добавляться в них.

Для того чтобы выбрать оптимальный метод хранения диалогов, нам необходимо рассмотреть существующие подходы к оффлайн-хранению информации на android:

– SharedPreferences – постоянное хранилище, используемое приложениями для хранения своих настроек, например. Обычно SharedPreferences и используется для того, чтобы сохранить немногочисленные настройки. Так как в нашем случае все настройки находятся в аккаунте, этот метод мы не используем

– SQLite – встраиваемая база данных с открытым исходным кодом, поддерживающая все возможности SQL. Является основной базой данных для android-приложений.

Так как хранить нам необходимо информацию о диалогах, число которых неограниченно, а число полей всегда одно и то же, и они всегда заполнены – оптимальным методом хранения данных в данном случае является SQLite. Для работы с встраиваемой базой данных Google рекомендует использовать Room, что мы и будем делать.

Регистрация и вход пользователей. Для приложения необходима регистрация, так как это базовый механизм разграничения прав пользователей, также дающий им возможность показать свою личность используя некоторые функции приложения.

Firebase дает нам возможность регистрировать пользователей тремя разными способами:

- Регистрация через аккаунт Google
- Регистрация через электронную почту
- Регистрация через телефон

Также это дает нам преимущества легкой аутентификации пользователей, так как все их данные сохраняются непосредственно на сервере.

Проверка зарегистрирован ли пользователь производится в `DialogsActivity`, до того, как произведется рендер остальной части активности, что не дает возможности начать пользоваться мессенджером без регистрации.

DialogsActivity

При проектировании интерфейса использовались некоторые методики изученного пользовательского опыта. После изучения тепловых карт пользования экраном смартфонов, были приняты некоторые решения по части пользовательского опыта в дизайне. Кнопки, которые должны нажиматься часто должны располагаться внизу. Кнопки, которые должны нажиматься нечасто должны располагаться сверху.

Из-за этого, во время создания интерфейса экрана чатов, кнопки создания и присоединения к чатам были расположены сверху экрана – чтобы пользователю приходилось тянуться к ним, что не допускает случайных нажатий.

Кнопки создания и подключения чатов располагаются сверху, а диалоги располагаются под ними – из-за того, что к диалогам необходим постоянный доступ.

Стоит заметить, что список чатов содержит удобные цветовые метки, которые не отвлекают от сути, но позволяют чату отличаться от других.

Также в каждом чате можно увидеть идентификатор чата, который позволяет передать его другим сотрудникам, и дать им возможность присоединиться к чату.

Список чатов реализуется с помощью RecyclerView, и, чтобы его реализовать, мы должны создать следующие компоненты:

- RecyclerView, который мы должны добавить в layout нашего экрана;

- layout для каждой строки списка;

- адаптер, который содержит данные и связывает их со списком.

ChatActivity

В данном активити будет проходить большая часть времени использования приложения. Суть его состоит в том, что пользователю нужен экран, где было бы видно сообщения, отправленные в чате. Дополнительным требованием является то, что нужно видеть не только сообщения, помещающиеся на одном экране. Также сообщения должны обновляться в режиме реального времени у всех участников беседы, одновременно. Для удобства пользователей были придуманы некоторые особенности, улучшающие удобство использования приложения:

- показ времени отсылки сообщения;

- показ отправителя для каждого из сообщений;

- кнопка быстрого выхода;

- показ идентификатора чата;

- показ имени чата.

Показ информации для юзера, такой как название чата, мы осуществляем с помощью обыкновенных textView. Информацию для этих полей мы передаем в данное активити с помощью механизма Extras, который позволяет передавать параметры в открываемое с помощью Intent активити.

Как мы можем видеть, в данном активити тоже необходим некий список сообщений, который необходимо реализовать через адаптер.

Для решения этой задачи был использован компонент, который бы расставлял сообщения по разным сторонам. Для такой задачи использовался ListView, с адаптером FirebaseListAdapter.

В обычном режиме, все элементы view, которое выступает элементом списка, имеют одинаковые свойства во всем, кроме текста, однако в нашем случае, необходимо было модифицировать их так, чтобы у разных отправителей сообщения показывались с разной стороны. Это достигается путем того, что мы меняем свойство Gravity у view в том случае, когда автор сообщения – непосредственно пользо-

ватель данного инстанса приложения. FirebaseListAdapter с этой модификацией появляется в методе displayChat.

А. Д. Нечай

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ПРОДАЖЕ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА

У каждого человека рано или поздно возникает потребность в новом компьютере. Это может происходить по нескольким причинам: компьютер устарел в плане своих технических возможностей в связи с постоянным развитием технологий и увеличение требований различных приложений к аппаратным вычислительным скоростям ПК или получить первый опыт пользования компьютером. Большинство покупателей выбирает именно ноутбуки, т.к. они не требуют настройки, сборки и проверки работы. При этом, стационарные компьютеры в большинстве случаев будут дешевле и производительнее. Разработанное приложение призвано устранить данную проблему.

Посетитель сайта имеет возможность ознакомиться с каталогом магазина, ценами на комплектующие и другие оказываемые услуги. Можно оставить свой контактный номер телефона с целью получения консультации или оформления заказа.

Пользователь приложения имеет возможность выбрать определенный набор комплектующих и сделать заказ. Сборкой компьютера занимается компания. Этот вариант подойдет для более продвинутых пользователей. Для обычного покупателя, который не интересуется в текущих трендах в мире комплектующих, сделать выбор в сторону определенных компонентов системы вызывает определенные трудности. В этом случае, компания может разместить на сайте уже готовые решения, на которые можно очень быстро оформить заказ без каких-либо проблем.

В приложении реализована возможность просмотра познавательных и актуальных роликов из различных ресурсов на различного рода темы, связанные с новинками информационных технологий. Так же есть возможность просмотра последних новостей в мире компьютерных технологий.

При разработке приложения были использованы следующие технологии: CSS3, JS, HTML5, PHP. Также для создания привлекательного дизайна использовался компонентный фреймворк стилей Material-UI. В качестве сборщика проектов использовался Webpack, в качестве сервера был использован web-сервер USBWebserver, в качестве базы данных использовалась база данных MySQL.

О Сучан, В. Е. Евчик

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **С. В. Лешкевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

При создании антенны необходимо оперативно проводить антенные измерения, и это удобно с помощью беспилотного летательного аппарата. Аппарат сможет автоматизировать антенные измерения и будет способствовать созданию более эффективных конструкций широкоапертурных антенных систем, которые увеличат производительность систем связи космического назначения.

Целью работы является создание простого, относительно автономного летательного аппарата с удовлетворительными аэродинамическими качествами, эффективность использования которого обеспечивается на основе использования последних достижений электроники и радиосвязи. С помощью аппарата собираемся создать более эффективную конструкцию антенной системы для спутниковых связей. Для этого надо оперативно проводить антенные измерения.

Для работы был выбран вариант самолетообразного БПЛА (крыло Роголло, балансирный планер или дельталет). Для управления дельталетом требуется параллельное смещение рулевой трапеции в горизонтальной плоскости. Необходимые для этого две степени свободы может обеспечить робот типа SCARA. Система управления полётом основывается на взаимодействии совокупности поверхностей летательного аппарата, связанных с управляющими устройствами и механизмами, обеспечивающими выбор и поддержание направления полёта самолёта. Структурная схема системы приведена на рисунке 1.

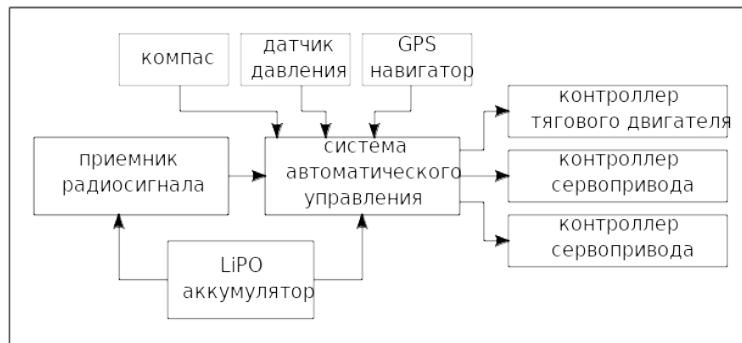


Рисунок 1 – Блок схема системы управления полётом

Для системы автоматического управления играет микроконтроллер. В данной работе используется микроконтроллер NanoPi Neo Core2. Исходя из рисунка 1, подключили микроконтроллер с другими используемыми устройствами.

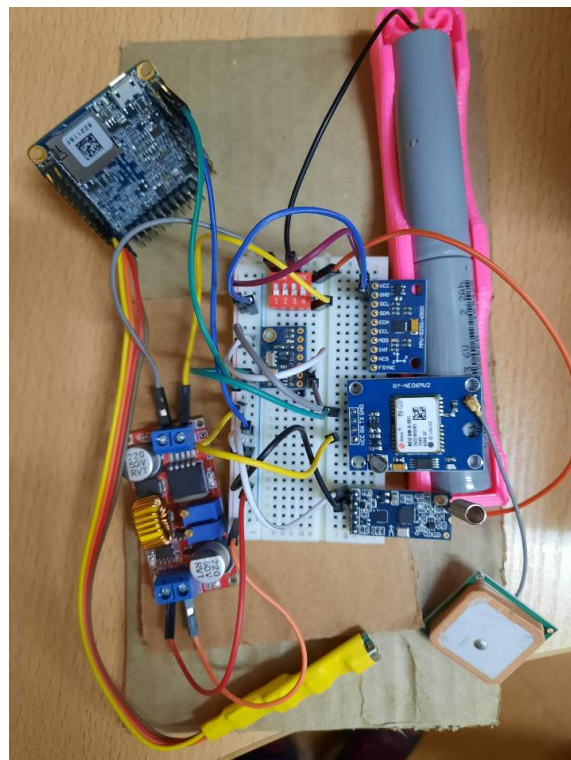


Рисунок 2 –Подключение микроконтроллера NanoPi Neo Core2 с другими используемыми устройствами

На данный момент сняли показания данных магнитометра на микроконтроллере, а также двух сервоприводов. Данные магнитометра показано на рисунке 3:


```

pi@NanoPi-NEO-Core2:~$
i2cget -y 2 12 4re2:~$ sudo i2cset -y 2 12 0x0A 0x16;sudo i2cget -y 2 12 3;sudo i
0x07
0xff
i2cget -y 2 12 4re2:~$ sudo i2cset -y 2 12 0x0A 0x16;sudo i2cget -y 2 12 3;sudo i
0x06
0xff
i2cget -y 2 12 4re2:~$ sudo i2cset -y 2 12 0x0A 0x16;sudo i2cget -y 2 12 3;sudo i
0x43
0xff
i2cget -y 2 12 4re2:~$ sudo i2cset -y 2 12 0x0A 0x16;sudo i2cget -y 2 12 3;sudo i
0xbc
0xfe

```

Рисунок 3 – Данные магнитометра в программе PuTTY

Показания результатов данных будут отличаться от положения магнитометра по 3-хмерной оси.

Одновременное движение двух сервомоторов в одном направлении позволяет отклонить груз от точки приложения подъемной силы влево/вправо, создавая крен. Сервоприводы принимают входной сигнал ШИМ от системы управления. Результат подачи импульса на сервопривод приведен на рисунке 4.

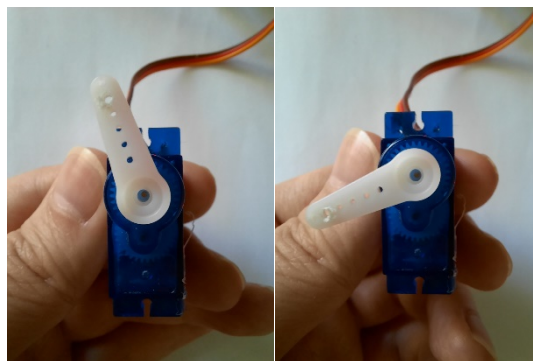


Рисунок 4 – Положение сервопривода: 1) до подачи; 2) после подачи импульса

Таким образом, можно сделать вывод о том, что на данный момент мы сумели оживить микроконтроллер, а также сняли данные с магнитометра и управлять двумя сервоприводами с помощью программы PuTTY.

Литература

1. Changing Forecast: The Drone Industry Surprise/ DroneLife // [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <https://dronelife.com/2016/04/08/comparing-drone-industry-forecasts/>. – Дата доступа: 08.04.2016.

2. Unmanned Aerial Vehicle/ Wikipedia // [Электронный ресурс] – 2021. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle. – Дата доступа: 20.03.2021.

3. Ордоди Мартон. Дельтапланеризм/ История авиации и воздухоплавания // [Электронный ресурс] – 1984. – URL: <http://fly-history.ru/books/item/f00/s00/z0000012/index.shtml>. – Дата доступа: 20.03.2021.

4. Richard Vaughn. The difference between Cartesian, Six-Axis and SCARA robots/ MachineDesign // [Электронный ресурс] – 2013. – URL: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21831692/the-difference-between-cartesian-sixaxis-and-scara-robots/>. – Дата доступа: 02.12.2013.

5. NanoPi Neo Core2 / Wikipedia // [Электронный ресурс] – 2019. – URL: https://wiki.friendlyarm.com/wiki/index.php/NanoPi_NEO_Core2/. – Дата доступа: 07.11.2019.

В. В. Расторгуев

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА WEB-СЕРВЕРА СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ» НА ANGULAR 11

С каждым днём человек все больше и больше погружается в мир, который раньше показывали по телевизору с подписью «Фантастика». Мы привыкли к высокому уровню жизни и продолжаем повышать планку. Дом – это то место, в котором люди проводят большую часть времени. Из-за этого возникла потребность быстрее справляться с рутинными домашними делами. Важным открытием в этой сфере стала разработка системы «Умный Дом», которая не только решала поставленные задачи: поставить чайник, закрыть окна, но и научилась заказывать еду и парковать машину!

Вся система состоит из набора устройств, которые связаны с сервером. Сервер – мозг для «умного дома». Он может контролировать связанные с ним устройства, собирать информацию и представлять её для человека в том виде, в котором она будет удобна для анализа и управления.

Сервер будет реализован с использованием технологий и языков программирования таких как JavaScript, Node.js, Express, Angular 11.

Это обеспечит возможность расширять возможности сервера, не нарушая работы его существующей функциональности. Использование Angular даст возможность удобного управления сервером и компонентами системы.

Весь стек технологий использует язык JavaScript. Он пользуется большой популярностью среди разработчиков. Это даёт возможность расширять приложение другими людьми.

Node.js – среда выполнения языка JavaScript на локальной машине. Она как правило используется для создания компьютерных приложений, серверов и т.д. Для создания требуемого сервера был выбран фреймворк Express, так как он прост в изучении и использовании.

Express – JavaScript фреймворк, используемый для написания серверной части веб-приложений. Позволяет рендерить шаблон страницы на сервере или создавать API, отправляющее данные клиенту в формате JSON.

Angular – JavaScript фреймворк, используемый для создания клиентской части веб-приложений. Благодаря компонентной архитектуре, приложения, использующие этот фреймворк легко масштабируются. Angular предоставляет множество функций для оптимизации, нахождения багов, анимации, сервисы и т.д. [1]. Была выбрана последняя версия фреймворка для облегчения разработчикам процесса улучшения приложения в будущем.

Ещё одним преимуществом выбора JavaScript в качестве основного языка разработки была возможность запускать код на микрокомпьютере Raspberry Pi. Плюсами такого решения являются то, что микрокомпьютер потребляет значительно меньше энергии, имеет разъем RJ-45 и возможность подключения по Wi-Fi и Bluetooth [3]. Благодаря этому, Raspberry Pi можно подключить к интернету и, следовательно, использовать приложение из любой точки мира, где есть доступ в интернет.

Разработка ведётся по методологии Scrum. Она позволяет грамотно распределить задачи по времени и даёт возможность другим разработчикам подключиться к созданию или улучшению приложения на любой стадии.

В процессе разработки пишется «инлайн-документация». Это подход к написанию документации, при котором во все файлы, где необходимо, добавляется описание того, что происходит внутри. Это могут быть объяснения архитектуры классов, описания функций или примеры использования.

В качестве базы данных выбрана PostgreSQL. Она имеет множество встроенных функций и, благодаря большому сообществу разработчиков, позволяет легко найти их описание. PostgreSQL предоставляет собственную систему управление и поддерживается большинства другими системами управления [2].

В результате получаем архитектуру приложения, в которой клиент (датчик, микроконтроллер) отправляет запрос на сервер с некоторыми данными о своём состоянии), сервер записывает полученную информацию в базу данных и отправляет сообщение об успешной операции или ошибке обратно на датчик или микроконтроллер. Если в роли клиента выступает человек, то по переходу на адрес сервера, он направляется на сайт для управления датчиками и просмотра статистики.

Визуальное представление архитектуры представлены на рисунке 1.

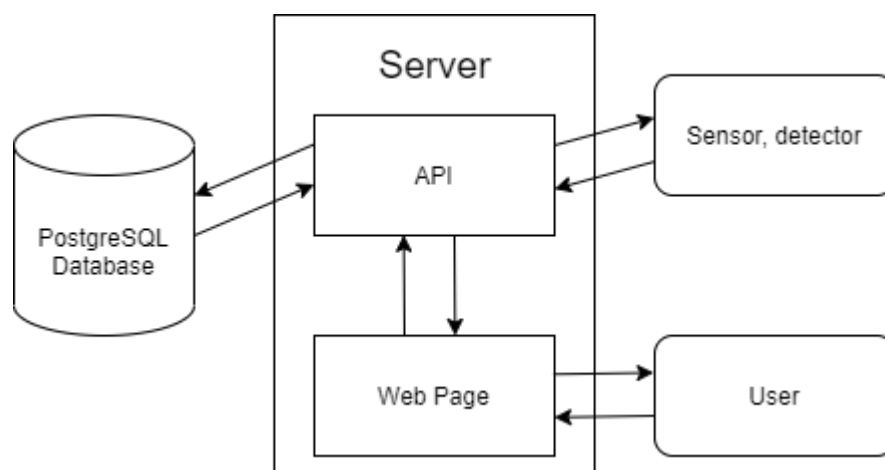


Рисунок 1 – Архитектура приложения

Предполагаемый результат – рабочий прототип сервера, использующий перечисленные ранее технологии. Главной целью разработки является создания масштабируемого приложения для управления и сбора статистики компонентов системы.

Литература

1. Документация фреймворка Angular [Электронный ресурс] – 2021. Режим доступа: <https://angular.io/>. – Дата доступа: 28.03.2021.
2. Документация PostgreSQL [Электронный ресурс] – 2021. Режим доступа: <https://www.postgresql.org/docs/>. – Дата доступа: 29.03.2021.

3. Техническая документация Raspberry Pi [Электронный ресурс] – 2021. Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>. – Дата доступа: 29.03.2021.

В. А. Рубин

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. П. Жогаль**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СТРУКТУРИРОВАННОЕ НЕЙРОННОЕ ОБУЧЕНИЕ В TFX

Tensor Flow Extended (далее по тексту TFX) – это бесплатная платформа с открытым исходным кодом, которая предназначена для создания готовых к работе конвейеров машинного обучения. Внутри своего ядра TFX предлагает огромное количество подходов для обработки данных.

Neural Structured Learning (NSL) – это библиотека в TensorFlow, которую возможно использовать при обучении нейронных сетей, сигнал которых структурирован. Она может обрабатывать ввод двумя различными способами: как явный неявный граф и, соответственно, как явный граф, соседи которого динамически генерируются в процессе обучения модели. NSL с явным графом часто используют для предобучения нейронным графам, а NSL с неявным графом используют при состязательном обучении. Эти подходы реализованы в виде формы регуляризации в схеме NSL. Результатом этого является влияние только на процесс обучения и неизменность процесса обслуживания модели.

Вкратце, процесс построения модели с регуляризацией графа можно разбить на три шага:

1. Если граф еще недоступен – построить его.
2. Использовать особенности входного набора данных и граф для увеличения обучающей выборки.
3. Применить расширенные данные из предыдущего шага для регуляризации графа для данной модели.

К сожалению, сразу применить эти шага для TFX-конвейера нельзя, но TFX позволяет настраивать компоненты. И при помощи этой настройки можно обеспечить обработку своих собственных TFX-конвейеров. Для того, чтобы построить ругуляризованную модель графа при помощи TRX, можно воспользоваться настраиваемыми плагинами TFX.

Чтобы проиллюстрировать пример конвейера TFX с NSL, можно рассмотреть задачу классификации тональности текста.

Для построения в TFX регуляризованной модели NSL для этой задачи, необходимо определить три пользовательских компонента. Для краткости были опущены компоненты, которые обычно идут после компонента Trainer, такие как Evaluator, Pusher и т.д.

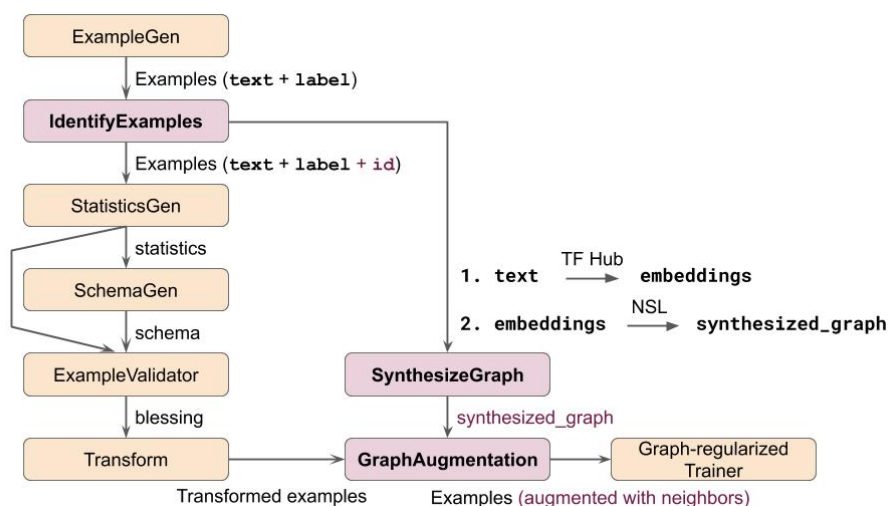


Рисунок 1 – Пример конвейера TFX для классификации текста с использованием регуляризации графа

На этом рисунке только пользовательские компоненты (выделены розовым цветом) и компонент тренера с регуляризацией графиков имеют логику, связанную с NSL. Стоит отметить, что показанные здесь пользовательские компоненты являются только иллюстративными, и можно построить функционально эквивалентный конвейер другими способами.

Как упоминалось в самом начале, еще одним аспектом нейронного структурированного обучения является состязательное обучение, когда вместо использования явных соседей из графа для регуляризации неявные соседи создаются динамически и враждебно, чтобы запутать модель.

В итоге можно заключить, что регуляризация с использованием состязательных примеров – это эффективный способ повысить надежность модели. Состязательное обучение с использованием NSL можно легко интегрировать в конвейер TFX. Для этого не требуются какие-либо пользовательские компоненты, и необходимо обновить только обучающий компонент.

А. В. Скрежендевский
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ГИТАРЫ НА ЯЗЫКЕ JAVA

В рамках работы планируется разработать гитарный тюнер. Данный инструмент предназначен для анализа звукового сигнала, получаемого с микрофона, выделения основной частоты данного сигнала, и отображение отклонение сигнала от нужной частоты. Данный инструмент может быть использован не только для настройки гитары, но и для настройки других струнных музыкальных инструментов. Приложение можно будет использовать для настройки разных разных под разных музыкальный строй, то есть под разное соотношение частот основных тонов струн музыкального инструмента, например для гитар – испанский строй (классический).

Реализовать функционал устройства планируется в формате мобильного приложения, предназначенного для работы на смартфонах, планшетах и других мобильных устройствах. Данный подход имеет ряд преимуществ, мобильное приложение может быть установлено на мобильный телефон или планшет и как следствие пользователь может воспользоваться его функционалом в любой момент, еще одним неоспоримым преимуществом такого подхода является то, что пользователю не требуется дополнительного оборудования – чтобы настроить музыкальный инструмент ему понадобится только телефон.

В качестве целевой мобильной платформы будет использоваться мобильные устройства с операционной системой android. Этот выбор был сделан исходя из того, что android является самой распространенной операционной системой для мобильных устройств.

Исходя из поставленной задачи, был выбран следующий стек технологий, и инструментов разработки приложения:

- Android Studio – интегрированная среда разработки (IDE), основанная на платформе IntelliJ. Данная среда разработки предназначена для работы с платформой Android, IDEA от компании JetBrains, – официальное средство разработки Android приложений. Android Studio поддерживает такие языки программирования как Kotlin, Java и C++.

- Android SDK – универсальное средство разработки мобильных приложений для операционной системы Android. Преимуществом ко-

торой, является наличие широких функциональных возможностей, позволяющих проводить отладку и тестирование исходных кодов приложений, оценивать работу приложения в режиме совместимости с различными версиями ОС Android и наблюдать результат в реальном времени. Данная среда поддерживает широкий спектр мобильных устройств, она позволяет разрабатывать приложения для: мобильных телефонов и планшетов под управлением Android, умных очков (например, Google Glass). Также может среда, позволяет разрабатывать приложения для бортовых компьютеров современных автомобилей, телевизоров с расширенным функционалом, также имеющих основу в виде ОС Android, особые виды наручных часов и многие другие мобильные гаджеты.

– Java – объектно-ориентированный язык программирования со строгой типизацией, используемый в мобильных приложениях и в веб-разработке.

В качестве алгоритма выделения основной частоты будет использоваться алгоритм YIN. Данный алгоритм основан на известном методе автокорреляции с рядом модификации, которые объединяются для предотвращения ошибок. У алгоритма есть несколько положительных особенностей. Ошибка примерно в три раза ниже, чем у лучших аналогичных методов. У алгоритма нет верхнего предела по частоте диапазона поиска, поэтому алгоритм подходит для высоких голосов и музыки. Алгоритм относительно прост вследствие чего звук может быть обработан достаточно быстро.

Литература

1. YIN, a fundamental frequency estimator for speech and music [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://recherche.ircam.fr/equipes/pcm/cheveign/ps/2002_JASA_YIN_proof.pdf. – Дата доступа: 31.03.2021.
2. Android_Studio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Android_Studio. – Дата доступа: 31.03.2021.
3. Java [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Java>. – Дата доступа: 31.03.2021.
4. Android_SDK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Android_SDK. – Дата доступа: 31.03.2021.

Ю. В. Смирнова
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ САЙТА «ЛИЧНАЯ БУХГАЛТЕРИЯ»

Разработано web-приложение, позволяющее отслеживать собственные расходы, анализировать финансовые операции и рационально использовать денежные средства.

Клиентская часть реализована с использованием HTML5, CSS3 и JavaScript. При разработке серверной части сайта использовался язык программирования PHP и СУБД MySQL.

Разработано 9 страниц сайта:

- Главная (информация о сайте);
- Расходы (запись информации о расходах);
- Доходы (запись информации о доходах);
- Статистика (информация о расходах и доходах);
- Авторизация и Регистрация, а также три страницы добавления категорий доходов, расходов и счетов.

Разработана база данных, включающая 6 таблиц:

- reg_user (содержит сведения о пользователях);
- income_name (названия категорий доходов);
- category_name (названия категорий расходов);
- account_name (названия категорий счетов);
- incomes_t (информация о транзакциях на странице Доходы);
- expenses_t (информация о транзакциях на странице Расходы).

В разработанном web-приложении реализованы следующие возможности:

- вход и регистрация;
- отправку сообщения на email;
- запись данных в таблицы базы данных;
- выбор категории, счета, валюты;
- добавление категорий;
- обработка данных и статистика по ним.

Приложение помогает контролировать бюджет и рационально использовать денежные средства.

В. В. Соболенко
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА «УМНОЙ ОСТАНОВКИ» НА БАЗЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

В рамках работы была разработана «умная остановка». Процесс разработки был реализован на базе аппаратной платформы Arduino.

Одной из наиболее интересных и активно развивающихся концепций является Интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT) – концепция вычислительной сети физических устройств, оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия с внешней средой либо друг с другом, которые рассматривают организацию таких сетей как явление, способное перестроить общественные процессы и экономические, исключаящее из части операций и действий необходимость участия человека. [1]

Идея, лежащая в основе умной остановки, заключается в том, что в ней будет всё необходимое для комфортного ожидания транспорта, обеспечения безопасности, а также вся необходимая информация для пассажиров.

Для создания устройства была выбрана плата Arduino Uno. Это плата микроконтроллера с открытым исходным кодом, основанная на микроконтроллере ATmega328. Arduino Uno оснащена наборами аналоговых и цифровых выводов входа и выхода, которые могут быть подключены к различным платам расширения и другим схемам.

Умная остановка будет оснащена датчиком температуры, влажности, по которым можно будет узнать соответствующие параметры. DHT11 цифровой датчик влажности и температуры является комбинированным датчиком с откалиброванным выходным цифровым сигналом. Датчик содержит температурочувствительный компонент (NTC-термистор) и резистивный влажочувствительный компонент. Каждый датчик DHT11 проходит калибровку в высокоточной калибровочной камере. Коэффициенты калибровки сохраняются в ОЗУ памяти и вызываются во время считывания сигнала с датчика, в связи с этим нет необходимости производить повторную калибровку датчика. Наличие однопроводного последовательного интерфейса обеспечивает быстрое и легкое подключение датчика. [2]

Фоторезистор будет установлен для определения дня или ночи. Arduino измеряет сопротивление фоторезистора и исходя из этого определяет уровень освещённости.

Ультразвуковой дальномер для определения находится ли человек внутри или нет, благодаря этим модулям можно эффективно управлять светом и в целом всей остановкой. Работа модуля основана на принципе эхолокации. Модуль посылает ультразвуковой сигнал, затем принимает его отражение от объекта. Измерив, время между отправкой и получением импульса, можно легко вычислить расстояние до объекта.

Внутри остановки будет находиться дисплей, отображающий всю доступную для пользователя информацию, актуальное расписание и время до ближайшего транспорта.

Остановка будет подключена к интернету при помощи ethernet shield W5100. Плата Arduino взаимодействует как с W5100, так и с SD-картой, по протоколу SPI. Соединение с сетью происходит при помощи разъема RJ45. Используя модуль, имеется возможность организовать сервер, хранящий данные на карте памяти. Основа устройства – микросхема W5100 фирмы Wiznet. Микросхема аппаратно реализует следующие протоколы транспортного, сетевого и канального уровней: TCP, UDP, IPv4, ICMP, ARP, IGMP и MAC. Имеется аппаратная поддержка протокола PPPoE (Point-to-point over Ethernet) с PAP/CHAP протоколами аутентификации, которые позволяют осуществлять удаленное подключение встраиваемого устройства. Через интернет можно будет узнать всю доступную для пользователей информацию. [3]

Схема взаимодействия представлена на рисунке 1.

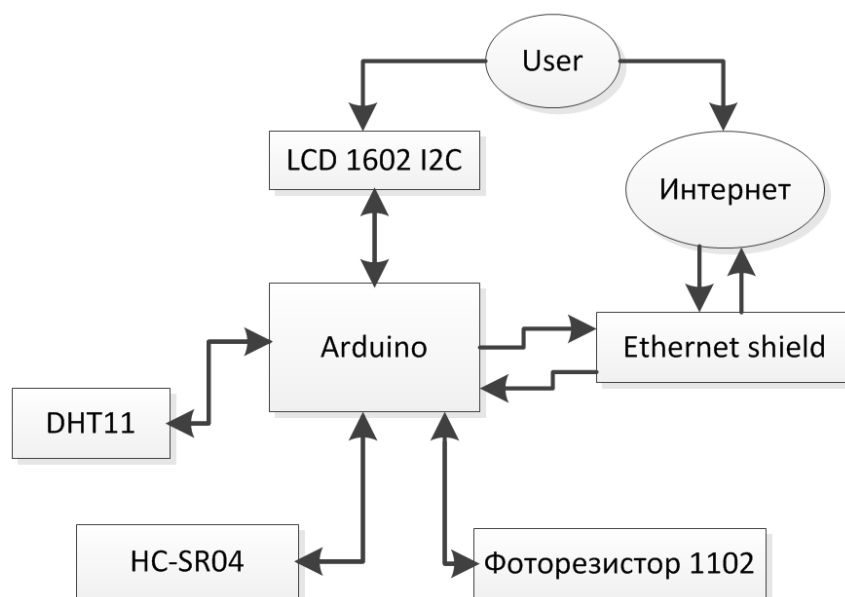


Рисунок 1 – Схема взаимодействия

Литература

1. Интернет вещей – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bit.ly/2PfStRy>. – Дата доступа: 31.03.2021.
2. Простой и легкий в использовании модуль измерения температуры и влажности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.terraelectronica.ru/news/2052>. – Дата доступа: 31.03.2021.
3. Обзор Ethernet Shield W5100 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robotchip.ru/obzor-ethernet-shield-w5100/>. – Дата доступа: 31.03.2021.

А. А. Соловьева

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **В. С. Мурашко**, ст. преподаватель

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ «ВТУЛКИ КОНДУКТОРНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ» В AUTOCAD

Начиная с версии AutoCAD 2010, появилась возможность параметрического моделирования – моделирования с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами.

В данной работе рассматриваются детали «Втулки кондукторные постоянные. ГОСТ 18429–73*» в двух исполнениях.

Кондукторные втулки применяют в сверлильных и расточных приспособлениях. Конструкция и размеры кондукторных втулок для сверлильных приспособлений стандартизованы.

Цель работы – для рассматриваемых втулок разработать параметрические модели в AutoCAD 2019.

Параметрический чертеж – это технология, применяемая в проектах с зависимостями, которые представляют собой связи и ограничения, примененные к 2D-геометрии.

Существует два основных типа зависимостей:

– геометрические зависимости управляют размещением объектов по отношению друг к другу. Таким образом, использование геометрических зависимостей обеспечивает возможность включения в чертеж требований, предъявляемых к проекту;

– размерные зависимости управляют расстоянием, длиной, углом и радиусом объектов. При изменении значения размерной

зависимости выполняется расчет всех зависимостей, наложенных на данный объект, и автоматическое обновление объектов, на которые влияет это изменение.

Для создания параметрических моделей на детали «Втулки кондукторные постоянные» использовались такие геометрические зависимости как: параллельность, перпендикулярность, горизонтальность, симметрия, вертикальность, совпадение, равенство.

Процесс разработки параметрической модели детали «Втулки кондукторные постоянные. Исполнение 2» представлен в виде следующего алгоритма.

1. Начертить чертеж «Втулки кондукторные постоянные. Исполнение 2» AutoCAD, создать блок и открыть его в редакторе блоков (см. рисунок 1).

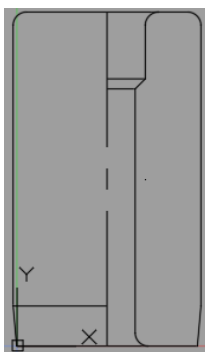


Рисунок 1 – Чертеж «Втулки кондукторные постоянные. Исполнение 2» в редакторе блоков

2. Расставить размерные зависимости (рисунок 2).

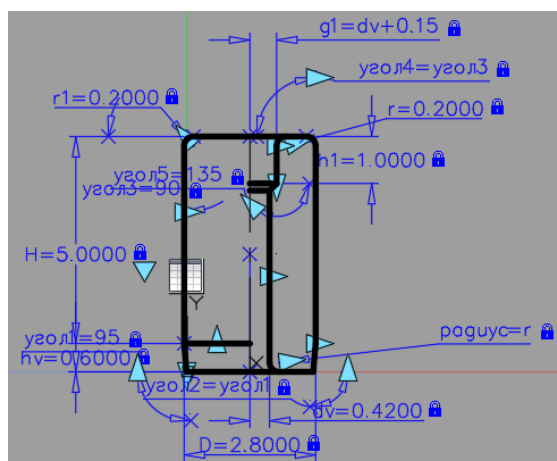


Рисунок 2 – Установка размерных зависимостей

3. Установить Автоналожение зависимостей – рисунок 3.

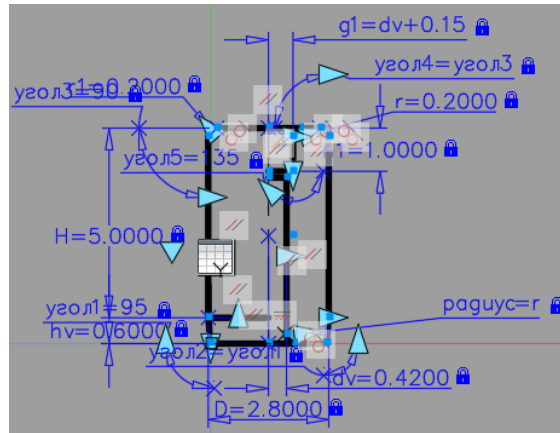





Рисунок 3 – Автоналожение зависимостей

4. Расставить симметрию  верхних углов, которые являются симметричными в данном блоке относительно оси, а также расставить равенство  этих углов, которые всегда должны быть равны при изменении относительно оси.

5. Расставить равенство  поверхностей, которые всегда должны быть равны при изменении относительно оси

В итоге получаем параметрическую модель детали «Втулки кондукторные постоянные. Исполнение 2» – рисунок 4.

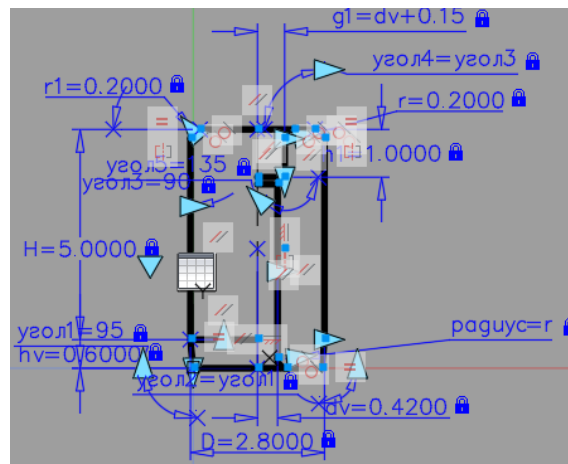


Рисунок 4 –Параметрическая модель детали Исполнение 2

На рисунке 5 представлена параметрическая модель для Исполнения 1.

Разработанные параметрические модели в дальнейшем будут использованы при автоматизации формирования конструкторской документации на детали «Втулки кондукторные постоянные».

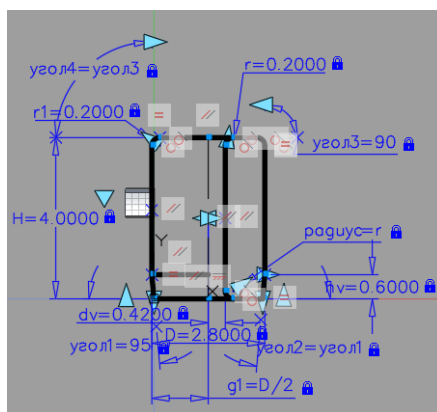


Рисунок 5 – Параметрическая модель детали Исполнение 1

А. В. Стельченко
 (ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)
 Науч. рук. **Л. К. Титова**, ст. преподаватель

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВИЖКА UNREAL ENGINE 4 ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИГРОВОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «OCEAN STORY»

На сегодняшний день Unreal Engine 4 является одним из самых популярных движков для разработки игр. В Unreal Engine 4 есть примечательная система скриптов, под названием Blueprints. Blueprints – это визуальная система создания скриптов, которая при всей относительной простоте позволяет описать все, что угодно – от действий персонажа до процедурной генерации уровней игры. Своей простотой данный движок подкупает как новичков в области разработок игр, так и продвинутых программистов.

Для разработки игровых приложений движок предоставляет несколько основных классов, таких как:

- GameInstance;
- GameModeBase;
- PlayerController;
- AIController;
- AnimInstance;
- Character.

Экземпляр класса GameInstance создаётся один раз при старте игрового приложения и не удаляется до тех пор, пока приложение не будет закрыто. При помощи данного класса можно передавать данные между уровнями игры.

Класс `GameModeBase` содержит в себе основу правил для игрового режима. Данные правила включают в себя:

- количество присутствующих игроков, а также максимальное количество игроков;
- как игроки входят в игру (выбор точки возрождения и другое поведение респауна игроков);
- можно ли ставить игру на паузу;
- переходы между уровнями.

Класс `PlayerController` – это нефизические игровые пешки, которые могут быть прикреплены к игровой пешке для управления ее действиями.

Класс `Character` – игровые пешки, у которых есть меш, коллизия и встроенная логика движения. Данный класс отвечает за все физическое взаимодействие между игроком и игровым миром.

Класс `AIController` – базовый класс контроллеров для управляемых искусственным интеллектом пешек.

Класс `AnimInstance` отвечает за контроль различных анимаций у игровых пешек.

Также в `Unreal Engine 4` есть удобная система `Cascade` для создания эффектов частиц. Данная система позволяет создавать модульные эффекты и легко управлять поведением частиц.

Исходя из простоты и эффективности данного игрового движка, он является лучшим вариантом для разработки современных игровых приложений. Также `Unreal Engine 4` лидирует в других сферах – от креативных, до научных. Поэтому время и силы, вложенные в его изучение при разработке игрового приложения «`Ocean Story`» в жанре `adventure`, окупятся в долгоиграющей перспективе. Приобретенные навыки помогут выделиться на рынке труда и ещё долгое время останутся актуальными.

Е. П. Ступкина

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «ЮВЕЛИРНЫЙ МАГАЗИН»

Сегодня важным при создании интернет-магазина является удобство использования. Для популярности приложения ему недостаточно быть функциональным – оно должно быть еще и удобным. Разрабо-

тан интернет-магазин по продаже ювелирных изделий, позволяющий в любое удобное время ознакомиться с ассортиментом ювелирных украшений и выбрать понравившийся товар.

В разработанном приложении реализован просмотр ювелирных изделий, выбор желаемого вида украшения с указанием цены и материала, из которого изготовлено украшение, а также добавление и удаление товаров из корзины, очистки корзины и рассчитывающее общую сумму за товары, регистрацию и авторизацию пользователя.

На сайте реализованы следующие возможности:

- слад-шоу, содержащий информацию об акциях и новых поступлениях;
- просмотр выбранной продукции и увеличение его количества;
- добавление товаров в корзину (реализовано с помощью сессий);
- регистрация и авторизация, путем заполнения формы с предусмотренными реквизитами, где содержатся личные данные. В случае, регистрации, если такой пользователь уже существует, выведется сообщение об ошибке регистрации.

Разработка интернет-магазина ювелирных изделий осуществлялась с использованием следующих технологий: HTML5, CSS3, JavaScript, PHP.

Выбор этих технологий обусловлен огромным перечнем возможностей web дизайна, легкостью понимания, скоростью загрузки, широкой сферой применения, блочной ориентации, которая облегчает разработку единого стиля страницы сайта.

О. В. Сухомеров

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. А. Зайцев**, ст. преподаватель

МУЛЬТИПЛАТФОРМА DEFOLD ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ANDROID

Проблематика. С учетом современных пандемических проблем в мире, многих призывают оставаться дома, некоторые подверглись и вынуждены оставаться дома. И те, и другие обязаны, находится дома без возможности выйти в общественные места. Дабы люди могли отвлекаться от данных печальных реалий, а также для тренировки концентрации и внимания, требуется создавать больше приложений и игр, особенно на мобильные устройства, так как компьютеры зача-

стую закреплены для работы, а в случае с мобильными устройствами есть у большинства современного человека. Человеку требуется проводить свой досуг дома, а также получать развития внимания, тренировку реакции и улучшение абстрактного мышления.

Цель работы. Задачей, возложенной в нынешние время, является создание игры с помощью мультиплатформенного движка Defold, на подобие существующей игры «Fruit Ninja» и написана на языке программирования Lua.

Данная игра должна иметь 3 стадии: главная сцена, «попап» конца игры и игровую сцену.

В главной сцене должна быть название игры, кнопка «Играть». Данная кнопка должна быть анимирована и визуализировать нажатие и отпускание клавиши.

В свою очередь «попап» конца игры должен появляться и исчезать анимировано. Анимации должны быть плавные без резких движений и приятные глазу. Появление должно быть только после того, как игра закончена и управление игрового поля при открытом «попапе» должна быть выключено. Внутри «попапа» должны находится поля «Счет» и в случае, если пользователь достиг больше очков чем рекорд, то уведомлять об этом. Управление «попапом» должно происходить путем нажатия клавишами «reset» и «home», в свою очередь клавиши обязаны реагировать анимировано на нажатия и отпускание, выполнять переходы (либо в главное меню, либо производить рестарт игры).

На игровой сцене должно присутствовать создание игровых объектов, визуализация жизней, счет, смена заднего фона в случайном порядке и происходить основные действия пользователя. Создание объектов должны быть корректны, с разной анимацией (уменьшение, увеличение размера или кручение). Создание должно происходить с разных сторон экрана случайным выбором. Полет объектов должен происходить по закону физики (или приближенному к нему) - движение тела, брошенного под углом к горизонту. Уничтожение объекта должно происходить «свайпом» (не работать к нажатию по объектам). Видов объектов должно быть 3 – стандартные объекты, бомбы и дополнительные жизни. Стандартные объекты, после их уничтожения должно начисляться анимировано очки, а также на месте их уничтожения появляться анимировано частички нужного цвета. В случае если не их не уничтожить до того, как объект пересечет экран, отнимать 1 жизнь. После уничтожения бомб должны появляться частички черного цвета и отнимать. Дополнительные сердца обязаны появляться в

случае, если жизни не полные. Скорость у них должна быть выше других объектов, в случае уничтожения добавлять 1 жизнь и на месте уничтожения создавать красные частички. В случае если дополнительные жизни или бомбы пересекут край экрана отнятие жизней не должно происходить.

Реализация: на главной сцене должно присутствовать название данной игры. Название выбрано в связи со спрайтами игры, животными (Animal ninja).

Для придачи «жизни» клавишам, добавлена по нажатию анимация скалирования и анимация цвета (затемнения), а по отпусканию клавиша анимировано возвращалась в idle состояние.

В главном меню требуется осуществление показа рекорда пользователя. Так как при перезапуске проекта заново инициализируются переменные, то требуется сохранение их. В движке есть возможность подключение библиотеки DefSave. Данная библиотека позволяет сохранять требуемые данные.

В главном меню клавиша должна выполнять переход между главной сценой и игровой. Запуск новой сцены был выполнен с помощью collection proxy, а также библиотеки Monarch.

На игровой сцене объекты должны появляться с помощью компонента factory. Для более интересного геймплея были выбраны 4 стартовых позиции (левый край, правый край, левый-нижний угол и правый-нижний угол), которые в свою очередь выбираются случайным образом методом весов. Были выбраны анимации для объектов, такие как масштабируемость и кручение. Данные анимации работают как на увеличение, так и на уменьшение, а также они выбираются случайным способом и методом весов. Далее объекты должны перемещаться по игровой сцене. Движение объектов будет происходить по закону физики – тело, брошенное под углом к горизонту.

В данной игре выполнено уничтожение пользователем объекта в виде свайпа, а не кликом. Любое взаимодействие игрой пользователем происходит в функции on_input.

После того как количество жизней достигло 0, происходит инициализация роруп анимацией с помощью библиотеки monarch и переключение ввода на него. Попап представляет собой спрайт background, label достигнутого количества очков за игру, label обозначающий что данное количество очков больше рекорда и две клавиши. Первая кнопка “Home” осуществляет переход между игровой сценой и главной сценой. Вторая кнопка “Reset” убирает данный попап и перезапуск сцены.

Полученные результаты: в результате проделанной работы было разработано игровое приложение, которое возможно установить на любое мультимедийное устройство под управление операционной системы Android и есть возможность для портирования на Windows, MacOS, а также веб версия.

Программа имеет определенный игровой процесс, требующий от пользователя хороших рефлексов, и отображает его в двумерной графике.

Программа включает систему меню так же, как и игровой процесс отображаемую в двумерной графике. Все пункты меню имеют плавную анимацию движения.

Что касается системных требований, программный продукт малотребователен к ресурсам по современным меркам мобильного оборудования и крайне малый объем занимаемой памяти.

В ходе тестирования были выявлены и исправлены ошибки несовместимости приложения с различными типами экранов и устройствами ввода.

М. М. Текаева

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **В. С. Мурашко**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ДЕТАЛИ «ВТУЛКИ КОНДУКТОРНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ С БУРТИКОМ»

При проектировании в чертёж приходится вносить изменения, вызванные недостатками конструкции или модификации, и порой даже незначительные корректировки в размерах одной детали приводят к редактированию значительной части чертежа.

Начиная с AutoCAD 2010, появилась возможность двумерной параметризации, что позволяет значительно повысить производительность за счет ограничений: наложения геометрических и размерных зависимостей.

Геометрические зависимости отвечают за размещение элементов друг относительно друга в пространстве, а размерные – регламентируют постоянство размеров или же задают размеры, изменяемые по определённым формулам.

В данной работе рассматриваются кондукторные втулки постоянные с буртиком. В ГОСТ 18430-73 представлены конструкции (Ис-

полнение 1 для диаметра $D \leq 5.6$, Исполнение 1 для диаметра $D > 5.6$ и Исполнение 2) и размеры этих втулок с более 150 вариантами.

Кондукторные втулки служат для направления режущего инструмента при обработке отверстий на сверлильных и расточных станках, применяются при обработке неточных отверстий одним инструментом (сверлом, зенкером).

Применение кондукторных втулок позволяет устранять разметку, уменьшает увод оси и разбивку обрабатываемого отверстия. Точность диаметра отверстий повышается в среднем на 50% по сравнению с точностью при обработке без кондукторных втулок.

Цель данной работы – разработать параметрические модели кондукторных втулок постоянных с буртиком в среде AutoCAD.

В таблице 1 представлен алгоритм создание параметрической модели Исполнения 1 втулки кондукторной постоянной с буртиком для диаметра $D > 5.6$ мм.

Таблица 1 – Алгоритм создания параметрической модели

№	Описание алгоритма	Эскиз
1	Начертить чертеж втулки постоянной с буртиком в среде AutoCAD, создать блок и открыть в редакторе блоков.	
2	Расставить размерные зависимости.	
3	Расставить симметрию  и  всех поверхностей, которые являются симметричными и равны при изменении относительно оси.	
4	Использовать зависимость касание 	
5	Установить остальные геометрические зависимости с помощью Автоналожения зависимости 	

Для выбора нужного размера втулки необходимо также создать таблицу свойств блока с числовыми значениями для параметризации (рисунок 1).

На рисунке 2 показана полученная параметрическая модель.

Аналогично разработаны параметрические модели втулок Исполнение 1 для $D \leq 5.6$ мм и Исполнение 2.

В таблице свойств блока указывать все числовые значения для параметризации на группу деталей «Втулки постоянные с буртиком» не целесообразно – слишком много строк.

Разработанные параметрические модели в дальнейшем будут использоваться при автоматизации формирования конструкторской документации на детали «Втулки кондукторные постоянные с буртиком».

D1	D2	D	N	r1	h1	h	dmax	r	d1	b
30	12	25	25	0.6	2.5	2.4	8.5	1.6	25.2	2.5
56	24.75	50	63	1	6	5	19	2.5	63.2	2.5
78	35.25	71	63	1	6	5	28	2.5	63.2	3
108	49.75	100	50	1	6	6	40	2.5	50.2	3
10	3	6.3	16	0.2	1.6	2	1.7	0.6	16.2	1
16	5.85	12	10	0.4	1.2	3	3.75	0.8	10.2	1.6

Рисунок 1 – Таблица свойств блока

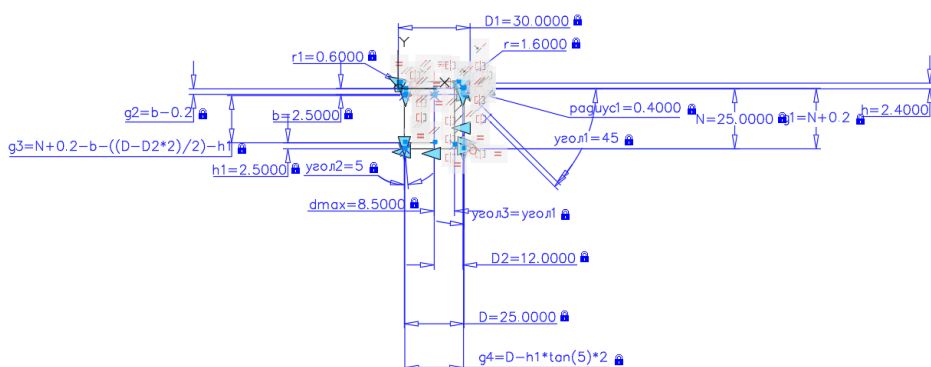


Рисунок 2 – Параметрическая модель Исполнение 1 для $D > 5.6$ мм

Для этого необходимо еще будет:

- создать базу данных «Втулки постоянные с буртиком» в СУБД Access, используя ГОСТ 18430-73;

- написать Лисп-программу, которая позволит изменять параметрическую модель;
- разработать windows-приложение на языке C#.

А. В. Федоренко
(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Л. К. Титова**, ст. преподаватель

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЛАТФОРМЫ UNITY ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИГРОВОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «ASCENSION»

В настоящее время Unity является одной из популярнейших платформ для разработки игровых приложений. В Unity существует возможность разработки игр под такие операционные системы, как Android, MacOS, IOS, Windows. Для разработчиков предусмотрено большое количество различных библиотек, которые используются при создании игр. Большим плюсом данной платформы является возможность разработки игровых приложений в 2D и 3D, так как там реализованы стандартные объекты. Кроме того, в ходе разработки можно писать собственные скрипты на языке объектно-ориентированного программирования C#.

Простота и доступность Unity позволяет создавать проекты как профессиональным разработчикам, так и людям, не имеющим большого опыта в разработке игровых приложений.

Для разработки игровых приложений движок предоставляет несколько основных классов, таких как:

- GameObject;
- Texture2D;
- AudioManager;

Каждый представленный в игре объект является объектом GameObject. Это могут быть различные источники света, объекты на сцены, действующие персонажи.

Класс Texture2D используется для добавления текстур на объекты. Текстуры можно либо выбрать из встроенных, либо скачать из магазина Unity. Также текстуры можно разработать в сторонних приложениях, а затем импортировать в Unity.

Класс AudioManager – это класс для добавления звукового сопровождения в игру. Это могут быть: фоновая музыка, звуки взаимодействия объектов, различные аудио-подсказки.

Для создания механик действия используются скрипты. В Unity существует огромное количество стандартных методов, которыми можно пользоваться для реализации механики поведения различных объектов на сцене.

Самые стандартные методы задают передвижение объекта, его скорость, массу, начальные координаты, гравитацию и другое. Каждому объекту можно прописать различные кастомные настройки, которые будут придавать игре большую динамику, а также делать ее более привлекательной для пользователей.

Unity очень удобная платформа для разработки современных игр. Существует огромное количество литературы по разработке на данной платформе, огромное количество примеров разработанных игр представлено на рынке игровых приложений.

Многообразие возможностей в Unity позволяет создать уникальное игровое приложение, которые будет популярно среди пользователей различного возраста. Графика и механика достаточно современная, чтобы заинтересовать игроков.

Возможность разработки под различные операционные системы дает возможность создавать игровые приложения под различный круг пользователей. Вся вариативность и многообразие возможностей является одной из основных причин использования платформы Unity в создании игрового приложения «Ascension».

А. Ю. Флягин
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **Б. А. Тонконогов**, канд. техн. наук, доцент

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ФОРМЫ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ НАБОРА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДАТЧИКОВ

Цель данной работы состоит в том, чтобы разработать недорогую и надежную систему распознавания формы объектов. В системе для распознавания объектов используется горизонтальный массив ультразвуковых датчиков. Преимущество использования ультразвукового датчика заключается в простоте определения расстояния до ближайших объектов без интенсивной обработки. Методы распознавания с помощью ультразвукового датчика часто используются в ситуациях, когда оптические датчики не могут быть использованы или в объектах, которые трудно идентифицировать с помощью подхода, осно-

ванного на свете [1]. Эти системы бесполезны в темноте, тумане или других условиях плохой видимости. Эта проблема решается использованием ультразвуковых датчиков, поскольку на них не действуют условия плохой видимости. Распознавание трехмерных объектов с помощью ультразвукового датчика имеет широкую область применения благодаря своей прочности, небольшому размеру, низкой стоимости и простоте взаимодействия с компьютером. Изображения, полученные в результате ультразвукового сканирования, используются в различных областях, начиная с электронной навигационной системы, медицинских, промышленных, автомобильных приложений и т.д [2].

Предлагаемый метод определяет форму, используя информацию об искаженной ультразвуковой волне после отражения от объекта. Расстояния в различных точках объекта получаются с помощью горизонтального массива ультразвуковых датчиков. Эти расстояния обрабатываются для распознавания формы объекта. Также можно узнать приблизительный размер объекта. Система тестируется как на объектах с гладкой поверхностью, так и на объектах с шероховатой поверхностью, и проводится сравнительное исследование для получения лучшего объекта [3].

Звуковой сигнал представляет собой продольную звуковую волну, ударяющуюся о плоскую поверхность. Мощность ультразвуковых волн экспоненциально уменьшается с расстоянием в среде, которую они перемещают. По мере увеличения расстояния между массивом датчиков и объектом каждый датчик покрывает большую площадь объекта. Поэтому необходимо, чтобы датчики в горизонтальном массиве были разнесены на определенное расстояние, чтобы получить данные от определенных точек объекта. Расстояние между соседними датчиками зависит от угла измерения датчика. Мы использовали датчики с углом измерения 15° . Минимально необходимое расстояние между соседними датчиками, полученное экспериментально, составляет 4,5 см [4].

Для измерения расстояния устройство должно быть направлено на целевой объект, чтобы отразить импульс обратно к себе. В идеале поверхность объекта должна быть перпендикулярна направлению распространения импульсов. Но из наблюдений видно, что точное измерение расстояния возможно даже при угле между поверхностью цели и направлением распространения импульсов до 25° . Этот угол можно назвать критическим. Следовательно, цель должна быть ориентирована таким образом, чтобы она имела достаточную отражательную способность.

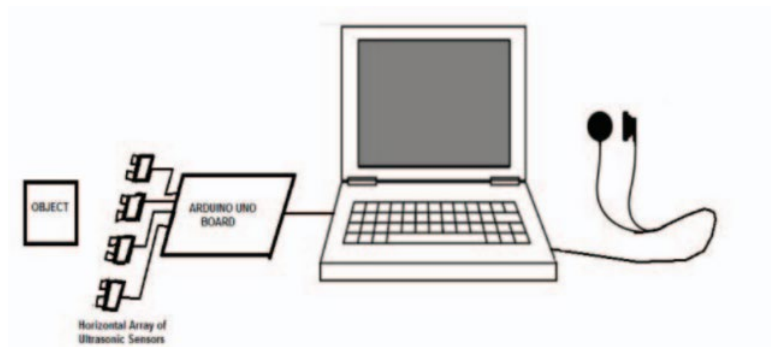


Рисунок 1 – Схема подключения устройства

В системе используются четыре ультразвуковых датчика. Каждый датчик состоит из ультразвукового передатчика и приемника. Датчики подключаются к плате Arduino Uno (рисунок 1), затем данные обрабатываются на компьютере. Задержка между двумя измерениями расстояния составляет одну секунду. Входные данные эксперимента находятся в таблице 1.

Таблица 1 – Входные данные эксперимента

Объект	Параметры объекта	Расстояние до объекта, см
Цилиндр	Радиус 20 см	120
Куб	Ребро 25 см	45
Прямоугольный параллелепипед	Ребро 30 см	30

Для получения результатов (рисунок 2) расстояние между соседними датчиками было постоянным и равным 4,5 см.

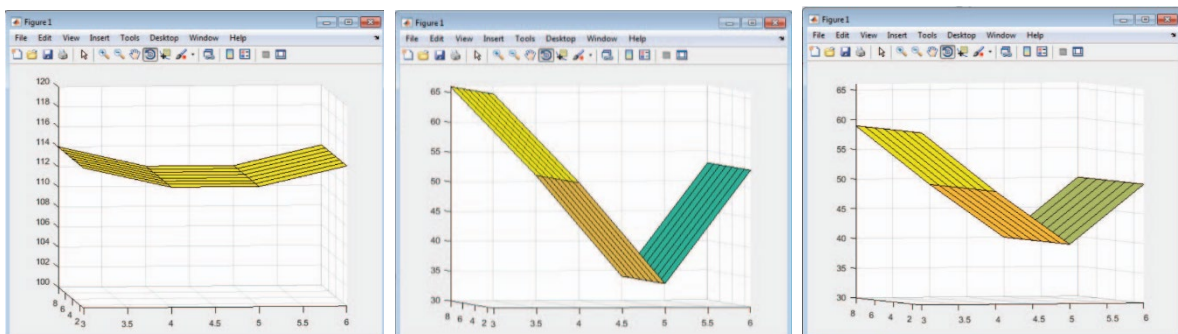


Рисунок 2 – Полученное изображение фронтальной части: 1 – цилиндр, 2 – прямоугольный параллелепипед, 3 – куб

Эти результаты получены путем измерения поверхности объекта только из одного положения, а именно, горизонтальный массив дат-

чиков находится на одной постоянной высоте. Система тестировалась на различных расстояниях до 120 см.

В этой статье был предложен новый метод распознавания формы объектов. В пределах диапазона обзора датчика 15° система распознает объекты, будь то цилиндры, кубы, параллелепипеды и т.д. Чтобы распознать такие объекты, как конус или пирамида, целевой объект необходимо сканировать на двух разных высотах (вертикальное сканирование). Предлагаемый метод решил те проблемы, от которых страдали традиционные схемы измерения, такие как большой объем данных, вызванный повторяющимися операциями для повышения точности измерения и излишне большим количеством датчиков.

Литература

1. Красильников В. А., «Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах», 3 изд., М., 1960. – 212 с.
2. Хмелев В. Н., Попова О. В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография/ Алт. гос. Техн. Ун-т. им. И. И. Ползунова. - Барнаул: изд. АлтГТУ, 1997. – 160 с.
3. Хорбченко И. Г. Звук, ультразвук, инфразвук. – М.: Знание, 1986. – 192 с
4. Kozo Ohtani and Mitsuru Baba, “Shape Recognition for Transparent Objects Using Ultrasonic Sensor Array,” SICE Annual Conference 2007 Sept. 17-20, 2007, Kagawa University, Japan.

Д. А. Хвесюк

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Леванцов**, ст. преподаватель

ОБЗОР НЕРЕЛЯЦИОННОЙ СУБД ДЛЯ ХРАНЕНИЯ БОЛЬШИХ ДАННЫХ – HBASE

HBase – это система управления нереляционными базами данных, ориентированная на столбцы, которая работает поверх распределенной файловой системы Hadoop (HDFS). HBase обеспечивает отказоустойчивый способ хранения разреженных наборов данных, которые часто встречаются в случаях использования больших данных (Big Data).

HBase хорошо подходит для обработки данных в реальном времени или произвольного доступа для чтения / записи к большим объемам данных. Приложения HBase написаны на Java во многом как типичное приложение Apache MapReduce.

Система HBase предназначена для линейного масштабирования. Он представляет собой набор стандартных таблиц со строками и столбцами, очень похожий на традиционную базу данных. В каждой таблице должен быть элемент, определенный как первичный ключ, и все попытки доступа к таблицам HBase должны использовать этот первичный ключ. HBase полагается на ZooKeeper для высокопроизводительной координации. ZooKeeper встроен в HBase, но, если используется производственный кластер, рекомендуется иметь выделенный кластер ZooKeeper, интегрированный с вашим кластером HBase.

HBase хорошо работает с Hive, механизмом запросов для пакетной обработки больших данных, чтобы обеспечить отказоустойчивые приложения с большими данными.

Столбец HBase представляет атрибут объекта; если таблица хранит журналы диагностики с серверов, каждая строка может быть записью журнала, а типичный столбец может быть меткой времени, когда была записана запись журнала, или именем сервера, на котором была создана запись. HBase позволяет группировать многие атрибуты в семейства столбцов, так что все элементы семейства столбцов хранятся вместе. Это отличается от реляционной базы данных, ориентированной на строки, где все столбцы данной строки хранятся вместе. В HBase необходимо предварительно определить схему таблицы и указать семейства столбцов. Однако новые столбцы могут быть добавлены к семействам в любое время, что делает схему гибкой и способной адаптироваться к меняющимся требованиям приложения.

А. А. Хомбак, Г. В. Юдин

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. М. Кадан**, канд. техн. наук, доцент

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПЛАГИНА ДЛЯ СИСТЕМЫ ПРОКТОРИНГА

В связи с последними событиями в мире (пандемия COVID-19) резко вырос интерес к технологиям удаленной работы. Одновременно весьма актуальной стала задача удаленной проверки знаний учащихся

и компетенций работников, основной технологией проведения которой является прокторинг. Прокторинг рассматривается как способ удостовериться в соблюдении всех правил удаленного экзамена. Он включает наблюдение за учащимися/студентами/сотрудниками в течение проведения тестов, экзаменов или опросов.

В работе рассматривается реализация системы прокторинга с использованием интернет-браузера и технологии распознавания лиц. Система имеет вид веб-приложения или плагина для браузера. Особое внимание уделяется вопросам конфиденциальности данных пользователей такой системы и безопасности их личных данных.

Выделяют два метода – синхронный и асинхронный прокторинг. При синхронном прокторинге за процедурой сдачи экзамена, вне зависимости от типа проведения экзамена (онлайн, оффлайн), наблюдает человек-проктор. Процесс проверки личности сдающего экзамен, в основном, представляет собой визуальное сравнение лица человека с фотографией в удостоверяющих личность документах (при проведении экзаменов онлайн - при помощи веб-камеры).

При синхронном прокторинге проктор наблюдает за сдающим на протяжении всего экзамена, отслеживает возможные нарушения, фиксирует попытки списывания и т.д. У данного варианта прокторинга существует множество недостатков. Например, для эффективного наблюдения за большим количеством сдающих экзамены требуется достаточно много прокторов, что может быть достаточно затратно. Также стоит учитывать человеческий фактор, компетентность прокторов, сложность организации работы большого числа прокторов и т.д.

При асинхронном прокторинге наблюдение в реальном времени не производится. Все сдающие проходят проверку самостоятельно, используя систему прокторинга. Процесс сдачи записывается и отправляется прокторам на проверку. Данный метод также имеет некоторые недостатки: результаты экзамена могут быть задержаны, из-за необходимости просмотра видеозаписей.

Частично или полностью избавиться от недостатков обоих методов прокторинга, сократить расходы, повысить скорость обработки результатов экзамена позволяет введение автоматизированной системы прокторинга. Данная система, как правило, анализирует входные данные, представляющие из себя видеозапись действий учащегося/студента и на основе этих данных опознаёт личность этого человека, его эмоциональное состояние и т.д. После этого программа может

сделать вывод, соблюдал ли учащийся/студент все правила проведения экзамена/дистанционного теста.

Частичная автоматизация прокторинга позволяет ускорить обработку большого числа видеозаписей проктором, указывая на наиболее подозрительные моменты. Она позволяет ускорить работу прокторов, в следствии чего уменьшить их количество. Полная автоматизация исключает роль прокторов, не достигает уровня проктора-человека, однако иногда такой вариант может быть приемлем.

В ходе исследования мы решили уделить повышенное внимание автоматизированной система прокторинга. Типичный сценарий работы автоматической системы прокторинга выглядит следующим образом. До начала экзамена сдающий устанавливает расширение (плагин) для браузера, такое расширение получает все нужные разрешения (доступ к микрофону, камере и т.д.), проверяет качество связи у сдающего экзамен. После проверки качества связи система верифицирует личность сдающего. Системе потребуется несколько минут для обучения модуля распознавания лица, для дальнейшей верификации.

В момент начала экзамена система начинает сбор и анализ данных. При незначительных нарушениях система будет оповещать сдающего о нарушениях. После завершения экзамена система обрабатывает полученные данные в течении небольшого промежутка времени, давая финальную оценку поведению сдающего на экзамене. Данные и оценка системы отправляются проктору, после чего он может провести дополнительную верификацию. В системе определены события, при которых фиксируются нарушения. К таким событиям могут относиться переключение на другое приложение или вкладку в браузере, отсутствие лица сдающего или присутствие посторонних лиц перед камерой, подозрительные движения перед камерой, разговоры в фоновом режиме.

Очевидно, что в связи с их удобством и необходимостью проведения экзаменов или тестов в удаленной форме, технологии прокторинга будут развиваться. В дальнейшем мы планируем рассмотреть внедрение систем прокторинга в другие сферы деятельности, а также способы улучшения технологий применения существующих методов контроля и поиск их уязвимостей.

Г. В. Чекан

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА «КНИЖНЫЙ МИР»

В последнее время интернет-магазины все больше и больше набирают популярность в силу того, что торговля online обладает рядом преимуществ. Теперь покупателю не нужно ходить по магазинам, стоять в очередях, затрачивая на это драгоценное в наши дни время. Для поиска нужного товара теперь не нужно выходить из дома, это можно сделать сидя дома у компьютера. Необходимо ввести в поисковой системе запрос, назвать ключевое слово интересующего товара. Оформить заказ можно в любое удобное время.

Разработка интернет-магазина реализована с помощью языка программирования PHP, СУБД MySQL, технологии AJAX, библиотеки jQuery и шаблона MVC.

Для хранения информации о книгах в утилите phpMyAdmin была создана база данных, которая состоит из 2 таблиц: categories (содержит уникальные номера жанров книг и их наименования), products (необходима для хранения данных о книгах).

В разработанном приложении реализован выбор книг по жанрам, просмотр подробной информации о книге и ее описание, просмотр новинок книг, добавление и удаление книг из корзины, просмотр содержимого корзины и подсчет общей стоимости за каждую книгу в ней (реализовано с помощью сессий).

Разработано четыре страницы интернет-магазина:

- главная страница (содержит изображения и названия книг);
- корзина (представляет собой блок с заголовком, в котором размещен список выбранных товаров, их изображений и общая стоимость за каждый товар);
- страница товара (содержит изображение книги, авторов, цену, краткое описание, кнопку для добавления и удаления товара из корзины);
- страница каталога книг (при нажатии на один из жанров осуществляется загрузка из базы данных изображений товаров и их наименований в зависимости от выбранного жанра).

Меню сайта включает в себя подменю с ссылками на главную страницу и корзину, а также функциональное меню, с возможностью выбора книг по жанрам.

Чэнь Ваньли

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. М. Кадан**, канд. техн. наук, доцент

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УГРОЗ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В условиях 4-й технической революции, предполагающей массовое внедрение киберфизических систем (CPS, Cyber-Physical System) в производство, одной из основных угроз безопасности автоматизированных производств и общества в целом становятся проблемы и крупные аварии. Не смотря на исключение из промышленной цепочки человека, как источника угроз, примеры техногенных катастроф, связанных с нарушением безопасности технологических процессов, к сожалению, часты.

В работе рассматривается частная задача промышленного менеджмента, связанная с предотвращением проблем на автоматизированных производствах. В качестве входных данных рассматриваются данные датчиков, связанных с технологическими процессами производства. На основе анализа этих данных требуется осуществить поиск аномалий, которые могут быть признаками потенциальных угроз.

Предлагаемое решение рассматривает две компоненты – традиционный подход, когда в качестве основного инструмента обеспечения кибербезопасности рассматривается методика многомерного анализа временных рядов и подход, основанный на применении методов машинного обучения, в частности LSTM-сетей.

В традиционном подходе, инструменты кибербезопасности используются для обнаружения аномальной активности на уровнях обмена данными. Объединение кибернетической и физической частей современного промышленного производства, позволяет использовать для его защиты Глубокий Анализ Пакетов (Deep Packet Inspection, DPI) – технологию накопления статистических данных, их проверки и фильтрации по их содержанию. Инструмент DPI позволяет отслеживать и обнаруживать аномалии внутри технологических процессов

путем анализа исторических данных и потоковой передачи промышленных данных в реальном времени.

Традиционное использование систем имитационного моделирования для исследования поведения промышленного объекта требует глубокого понимания работы объекта, вплоть до поведения конкретных процессов, описания взаимосвязи данных различных процессов, их статистических характеристик, свойств и ограничений, что приводит к чрезмерному усложнению моделей. В то же время, получаемые результаты легко интерпретируемы, что облегчает их использование.

Данные, поступающие от подсистем предприятия могут быть интерпретированы как многомерный промышленный временной ряд, который содержит как сигналы датчиков, так и управляющие сигналы. Для поиска аномалий в данных временных рядов, связанных с технологическими процессами, наряду с классическими методами, такими как PCA, DPCA, SVM, представляют интерес методы искусственного интеллекта, основанные на использовании нейронных сетей, в частности, LSTM-сетей (Long short-term memory; LSTM) [1].

В работе, в качестве источника данных для построения модели промышленного временного ряда были взят набор данных модели предприятия по производству газойля [2]. Набор содержит данные, описывающие нормальное, а также аномальное поведение производственного комплекса, и основан на 19 переменных, описывающих ключевые характеристики производства.

Учитывая причинно-следственные связи переменных модели, была обучена и протестирована нейронная LSTM-сеть. Для обучения был использован набор из 1500000 записей. Тестирование проведено на 48 наборах той же структуры, каждый из которых включал до 200000 записей с различными типами ошибок. Использование LSTM-сети обеспечило быстрое нахождение аномалий в данных с заданным уровнем порога ошибки и продемонстрировало, что подход к обнаружению неисправностей на основе LSTM имеет преимущества перед классическими методами обнаружения неисправностей.

В то же время, с практической точки зрения такой метод не позволяет расставлять предупреждения по приоритетам и интерпретировать их. Другой полезной модификацией может быть добавление методов диагностики неисправности, чтобы обеспечить не только момент времени, когда неисправность обнаружена, но и локализовать подмножество каналов, где она была обнаружена. Эта проблема особенно важна при анализе временных рядов большой размерности.

Литература

1. Filonov, P., Lavrentyev, A., Vorontsov A. Multivariate Industrial Time Series with Cyber-Attack Simulation: Fault Detection Using an LSTM-based Predictive Data Model/. – arXiv preprint arXiv:1612.06676, – 2016.
2. Gasoil heating loop dataset, 2016 [Электронный ресурс] / Лаборатория Касперского. – URL https://kas.pr/ics-research/dataset_ghl_1. – Дата доступа: 25.03.2021.

А. В. Шаховский

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЧТОВЫМ ОТДЕЛЕНИЕМ

Развитие компьютеростроения, которое началось в середине 20 века, дало ощутимый толчок развитию сферы информационных технологий, которая в свою очередь, заполонила весь мир. От перфокарт и операторов мы пришли к тому, что сейчас трудно представить жизнь обычного человека без косвенного влияния информационных технологий. Однако эта сфера влияет не только на людей, но и на производительность предприятий. Сейчас трудно представить неавтоматизированные рабочие места у прибыльных предприятий. Так как понятный интерфейс, продуманность программы упрощают управление предприятием и повышают его прибыльность, а грамотная проработка баз данных для предприятия как увеличивает надежность, так и ускоряет работу самой программы.

Разрабатываемая программа предназначена для автоматизации обслуживания клиентов почтового отделения. Она имеет в своём наличии такие функции, как авторизация сотрудника в системе, отображение, добавление, изменение и удаление записей в таблицах о сотрудниках, клиентах, их операциях, подписках и т. д., и распечатать нужные отчёты.

Разработанное приложение позволяет сотрудникам почтового отделения быстро и легко проводить операции с клиентами, оформлять подписки на газетные и другие издания, в случае необходимости, добавлять новые участки к данному почтовому отделению и т. п.

В разработке использовались такие инструменты как MySQL, в частности СУБД MS SQL Server для управления базой данных, React для создания интерфейса приложения, библиотека Electron, которая позволяет превратить JavaScript приложение в десктопное.

Таким образом, разработанное программное обеспечение позволит автоматизировать работу почтового отделения, снизив среднее время обслуживания.

К. А. Якубов

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Д. Л. Коваленко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СОВРЕМЕННЫЕ WEB–ТЕХНОЛОГИИ В РЕАЛЬНОЙ ЖИЗНИ

В современной жизни интернет окружает человека со всех сторон: мобильный телефон, компьютер, планшет, умные часы, мультиварка, холодильник и даже микроволновка. Практически каждый гаджет использует подключение к интернету для получения, создания или обработки какой-либо информации. Во всем этом изобилии информационного потока человек для себя выбирает тот или иной источник: новостной сайт, мобильное приложение, канал в мессенджере и т.д. Конечно, эти ресурсы не могут существовать сами по себе, у них есть своя архитектура, логика работы, механизмы обработки данных, статистики и огромного массива информации. Многие люди даже не задумываются на сколько просты или сложны эти технологии. Поэтому я хочу рассказать об основном каркасе технологий, на котором базируется архитектура современных веб приложений.

Начать стоит с самого простого и популярного типа веб интерфейса между компанией и пользователем – веб сайт. Основная технология, на которой базируется построение любого веб сайта – это язык разметки страницы HTML.

HTML (от английского HyperText Markup Language – «язык гипертекстовой разметки») – стандартизированный язык разметки веб-страниц во Всемирной паутине. Код HTML интерпретируется браузерами, полученная в результате интерпретации страница отображается на экране монитора компьютера или мобильного устройства.

Этот язык используется как каркас всего веб сайта, с помощью него оформляются заголовки, кнопки, абзацы текста, ссылки и другие элементы страницы. Но если написать сайт на чистом HTML он будет

выглядеть не приглядно и неинтересно. Наверняка такой сайт не вызовет интереса у пользователей. Поэтому для придания внешнего вида любой странице был придуман такой инструмент как «каскадная таблица стилей» (CSS).

CSS (Cascading Style Sheets «каскадные таблицы стилей») – формальный язык описания внешнего вида документа (веб-страницы), написанного с использованием языка разметки (чаще всего HTML или XHTML). Данная технология имеет практически безграничные возможности. Она помогает описывать расположение элемента на странице, его цвет, размер, угол поворота, тень и много других свойств. Но пользователи просматривают веб сайты не только на компьютерах, но и на мобильных устройствах, CSS полностью решает и этот вопрос. С помощью данного языка написания стилей программист описывает поведение элементов при уменьшении или увеличении размера экрана, изменения высоты страницы или ориентации устройства. CSS позволяет подробно описывать анимацию элементов, он содержит специальные методы для работы с анимацией, которые позволяют создать практически любое движение и поведение элемента на странице. CSS позволяет задать вид анимации, плавность переходов и еще много различных свойств. Но непосредственно анимацией, движением или перемещением объектов занимается такой язык программирования как JavaScript.

Изначально JavaScript был создан, чтобы «сделать веб-страницы живыми». Программы на этом языке называются скриптами. Они могут встраиваться в HTML и выполняться автоматически при загрузке веб-страницы. Скрипты распространяются и выполняются, как простой текст, им не нужна специальная подготовка или компиляция для запуска. Это отличает JavaScript от другого языка программирования – Java.

Сегодня JavaScript может выполняться не только в браузере, но и на сервере или на любом другом устройстве, которое имеет специальную программу, называющуюся «движком» JavaScript. У браузера есть собственный движок, который иногда называют «виртуальная машина JavaScript». Разные движки имеют разные «кодовые имена», например: V8 – в Chrome и Opera, SpiderMonkey – в Firefox, ещё есть «Trident» и «Chakra» для разных версий IE, «ChakraCore» для Microsoft Edge, «Nitro» и «SquirrelFish» для Safari и т.д.

Современный JavaScript – это «безопасный» язык программирования. Он не предоставляет низкоуровневый доступ к памяти или про-

цессору, потому что изначально был создан для браузеров, не требующих этого.

Возможности JavaScript сильно зависят от окружения, в котором он работает. Например, Node.JS поддерживает функции чтения/записи произвольных файлов, выполнения сетевых запросов и т.д.

В браузере для JavaScript доступно всё, что связано с манипулированием веб-страницами, взаимодействием с пользователем и веб-сервером.

Например, в браузере JavaScript может:

- добавлять новый HTML-код на страницу, изменять существующее содержимое, модифицировать стили;
- реагировать на действия пользователя, щелчки мыши, перемещения указателя, нажатия клавиш;
- отправлять сетевые запросы на удалённые сервера, скачивать и загружать файлы (технологии AJAX и COMET);
- получать и устанавливать куки, задавать вопросы посетителю, показывать сообщения;
- запоминать данные на стороне клиента («local storage»).

На основе языка JavaScript в настоящее время написано огромное количество библиотек, которые выполняют 80% всех возможных задач. Основная способность программиста, который работает с JavaScript – это научиться грамотно пользоваться такими библиотеками, чтобы построить свое приложение.

На сегодняшний день огромное количество сайтов и приложений написано с помощью многостраничной архитектуры. Это означает, что для каждого раздела сайта создана отдельная страница, на которой располагается информация. Каждый раз, когда пользователь переходит на определенный раздел сайта страница перезагружается и отображается новая, это может занимать некоторое время. Тем более создавать новые страницы становится трудоемко и проблематично. Эта проблема была решена с помощью языка JavaScript и конкретно библиотеки React. React – это декларативная, эффективная и гибкая библиотека JavaScript для создания пользовательских интерфейсов (UI). Она позволяет создавать сложные UI из небольших и изолированных частей кода, называемых «компонентами».

Данная библиотека позволяет значительно упростить разработку приложения и кардинально изменить структуру приложения. Она основана на компонентном подходе, а это значит, что при создании страницы необходимо создавать отдельные блоки, из которых потом

можно строить полноценные сайты. Например, заголовок страницы, в котором находится меню, логотип компании и навигационная панель должен быть на каждой странице сайта. Но зачем создавать его на каждой странице, если он везде один и тот же? Вот в этом и заключается компонентный подход. Программист создает один компонент заголовка, вставляет его в корневой элемент, а сам сайт состоит из других таких же строительных блоков, которые прорисовываются по нажатию на меню, выбор товара в интернет-магазине или заполнения платежной информации.

Приложения, в которых такие блоки прорисовываются автоматически без полной перезагрузки сайта называются Single Page Application.

Одностраничное приложение (англ. single page application, SPA) – это веб-приложение или веб-сайт, использующий единственный HTML-документ как оболочку для всех веб-страниц и организующий взаимодействие с пользователем через динамически подгружаемые HTML, CSS, JavaScript, обычно посредством AJAX.

Такие приложения являются очень удобными и достаточно понятными. Компоненты загружаются быстро, нет необходимости много раз создавать одинаковые блоки, что значительно упрощает разработку. Такой подход в создании приложений используют уже многие гиганты IT отрасли, такие как Facebook, Twitter, VK, Instagram и многие другие.

Так как React является библиотекой, то она легко масштабируется и дополняется взаимодействием с другими библиотеками. Например, существует огромное количество библиотек, которые значительно упрощают работу с React и позволяют на 100% раскрыть все возможности приложения. Знание этих библиотек обязательно для каждого веб разработчика, который начинает свой путь в сфере веб приложений. Есть множество и других различных библиотек, которые помогают разработчику.

Веб разработка в современном мире не стоит на месте. Она с каждым днем развивается, привнося в жизни разработчика и пользователя новые функции, возможности, механизмы взаимодействия. На примере React видно, что глубокое изучение всего лишь одной библиотеки может помочь в создании большого числа веб сайтов и даже мобильных приложений, которые будут одинаково хорошо работать как на Android, так и на iOS.

М. В. Яцковец
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А. В. Клименко**, канд. техн. наук, доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРОДАЖ

Прогнозирование продаж является ключевым фактором успешного ведения бизнеса. Это способ предугадать какое количество продукции будет реализовано и какая прибыль будет получена.

Степень важности прогнозирования продаж предопределила разработку множества способов определения будущих продаж, самые популярные среди них: метод экспертных оценок, анализ временных рядов и каузальные методы. Выбор метода прогнозирования зависит от множества факторов – релевантности доступных данных, желаемой степени точности, длительности прогнозируемого периода, ресурсов, соотношения потенциальной и реальной ёмкости рынка.

По мнению многих экспертов наиболее точными и эффективными являются каузальные методы, их основное преимущество – прямая связь с принятием решения. Сущность каузальных методов прогнозирования состоит в установлении математической связи между результирующей и факторными переменными. Необходимым условием применения каузальных методов прогнозирования является наличие большого объема данных для корректного выявления факторов. Если связи между переменными удастся описать математически корректно, то точность каузального прогноза будет достаточно высокой, поэтому при выполнении анализа продаж стоит использовать вычислительную технику и программное обеспечение, в частности, методы машинного обучения и нейросетевого моделирования. Они автоматизируют методы количественного прогнозирования продаж и упрощают ее, задача прогнозирования – очень кропотливая и трудоёмкая работа, требующая знания рынка и понимания процессов формирования спроса, анализа факторов, влияющих на ёмкость рынка, спрос и поведение конкурентов.

Для задачи прогнозирования объемов продаж каузальным методом подходят такие алгоритмы, как случайный лес, градиентный бустинг, метод опорных векторов. Наиболее эффективным алгоритмом считается алгоритм градиентного бустинга. Эффективность этого алгоритма обусловлена тем, что на каждой итерации выстраивается базовый алгоритм, работающий только на части подвыборки. На каж-

дом последующем шаге новое слагаемое вычисляется, опираясь на случайную подвыборку определенного размера.

Бустинг – итерационный алгоритм, реализующий «сильный» классификатор, позволяющий добиться произвольно малой ошибки при обучающей выборке на основании декомпозиции «слабых» классификаторов, каждый из которых лучше, чем угадывание, исходя из этого вероятность правильной классификации 23 больше $0,5$. Сущность заключается в использовании весовой версии одних и тех же обучающих данных вместо выбора случайных подмножества. Ключевое отличие бустинга от бэггинга: выборка для обучения на каждой итерации определяется, исходя из ошибок классификации, возникших на предыдущих итерациях [1].

Входные данные алгоритма:

- $\{(x_i, y_i)\}_{i=1, \dots, n}$ - набор данных;
- M - число итераций;
- $L(y, f)$ – функция потерь с выписанным градиентом;
- $h(x, \theta)$ – семейство функций базовых алгоритмов, с процедурой их обучения;
- $h(x, \theta)$ – дополнительные гиперпараметры (например глубина дерева у деревьев решений);
- $f_0(x)$ – начальное приближение заменено константой γ .

Выходные данные алгоритма:

- $f(x) = \sum f_i(x)$ - итоговая модель градиентного бустинга.

Шаг 1. И константным значением метод градиентного бустинга $f(x) = f_0, f_0 = \gamma, \gamma \in R, f_0 = \arg \min \sum L(y_i, \gamma). n_i = 1$.

Шаг 2. Для каждой итерации $t = 1, \dots, M$ повторять

1. Подсчет псевдо-остатков $rt: rit = -[dL(y_i, f(x_i))df(x_i)]f(x) = f(x), \text{ для } i = 1, \dots, n$.

2. Построение нового базового алгоритма $ht(x)$ как регрессию на псевдоостатках $\{(x_i, rit)\}_{i=1 \dots n}$.

3. Поиск оптимального коэффициента pt при $ht(x)$ относительно исходной функции потерь $pt = \arg \min \sum L(y_i, f(x_i) + p * h(x_i, \theta)). n_i = 1$.

4. Сохранение $f_t(x) = pt * ht(x)$.

5. Обновление текущего приближения $f(x): f(x) \leftarrow f(x) + f_t(x) = \sum f_i(x). ti = 0 \text{ } 23$.

Шаг 3. Составление итоговой модели градиентного бустинга $f(x): f(x) = \sum f_i(x). M i = 0$.

Сложность алгоритма градиентного бустинга составляет в среднем $O(N^2)$, но растет с увеличением количества итераций, так как чем больше итераций, тем больше базовых алгоритмов.

Литература

1. Hastie, T. Chapter 15. Random Forests / The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. – Springer-Verlag, 2009. – 746 p.

Секция 4 «Методика преподавания физики и информатики»

Председатели:

Шершнев Евгений Борисович, канд. техн. наук, доцент.

Шалупаев Сергей Викентьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

**Ф. Т. Борботько, А. В. Турло, А. С. Трофимов, Я. Д. Кочурко,
А. А. Славинский, Д. С. Серкевич**
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **И. И. Ташлыкова-Бушкевич,**
канд. физ.-мат. наук, доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРОЕКТА «ЭВРИСТИКА В ФИЗИКЕ» ПРИ ПРОБЛЕМНО- ЭВРИСТИЧЕСКОМ ОБУЧЕНИИ В БГУИР

Информатизация общества приводит к существенным изменениям не только в производстве, но и в системе образования. Цифровые технологии позволяют обучаться за тысячи километров от вуза. Развитие систем открытого образования порождает новые формы конкуренции учебных заведений в мире [1]. В условиях роста объема цифровой информации, человек не может рассматриваться как пассивный объект, позволяющий наполнить себя знаниями, т.к. односторонняя трансляция знаний не учитывает индивидуальных особенностей студента. Учитывая высокую активность современных студентов в соцсетях [2], их можно рассматривать как средство обучения и важный образовательный инструмент в вузах.

Целью данного исследования является изучение эффективности использования в образовательном процессе социальных сетей проекта «Эвристика в физике», основанного в феврале 2018 г. в БГУИР, где в рамках лекционного курса общей физики используется проблемно-эвристический подход [3]. Эмпирической базой настоящего исследования в весеннем семестре 2020/2021 уч. г. являются факультет компьютерных систем и сетей (поток специальности «Программное обеспечение информационных технологий») и факультет инфокоммуникаций. В общей сложности в проекте сейчас задействовано 305 студентов-первокурсников: из них 82 – студенты-авторы, которые

изъявили желание подготовить в течение семестра 17 творческих работ по физике в диджитал формате в рамках лекционного курса. В творческих работах студентами наглядно и доступно рассматриваются/объясняются физические явления и их применение на практике. Данные работы могут быть использованы в качестве дидактических материалов на лекциях по физике и с июня 2019 г. размещаются на YouTube-канале «Эвристика в физике». Количество просмотров студенческих творческих работ на канале превысило 29000 просмотров (на 25.03.2021).

На рисунке 1 показана статистика популярности соцсетей проекта «Эвристика в физике», включая анализ их аудитории. В рамках текущего 7-го сезона мы дополнительно к YouTube используем соцсети Instagram и VK для рекламы новостей этапов выполнения творческих студенческих работ, проведения промежуточных конкурсов (парад шарад-загадок о названиях работ, фестиваль визиток работ и т.д.), а также рекламы готовых творческих работ наших студентов среди молодёжи, давая возможность молодым людям получать знания о физических явлениях в наиболее комфортной для них диджитал форме в интернет-среде.

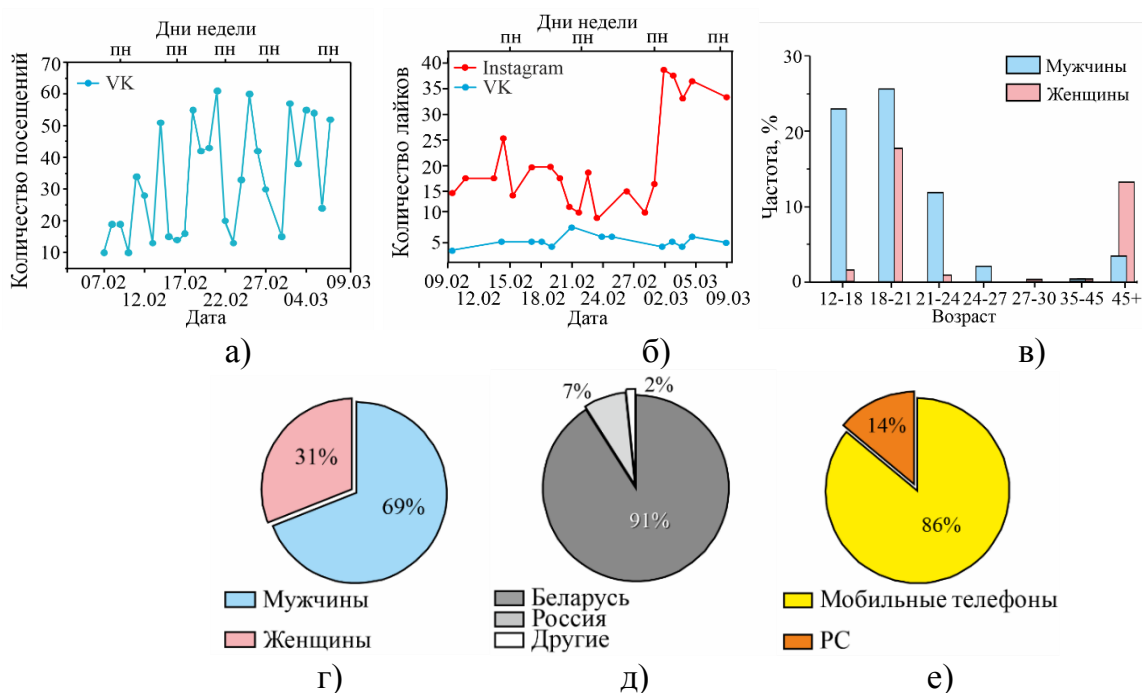


Рисунок 1 – Популярность соцсетей VK и Instagram проекта 7-го сезона «Эвристика в физике»: посещаемость (а), статистика лайков (б), распределение пользователей группы в VK по возрасту (в), полу (г), месторасположению (д) и устройствам, с которых пользователи заходят в VK (е)

Анализируя графики на рисунке 1, можно заключить, что социальные сети успешно позволяют популяризировать физический контент. Посещаемость группы VK за первый месяц весеннего семестра периодически достигала 60 посещений в день, а отклик аудитории в Instagram, отслеживаемый с помощью лайков, в начале марта достиг около 40 лайков в день, а затем, преодолев отметку в 1 сотню после начала постов с шарадами (18.03.2021), периодически достигает более 200 лайков в день в н/вр. Примечательно, что подготовка постов так же увлекательна и для самих студентов-авторов. Это положительно отражается на подаче материала, демонстрируя креативность и оригинальность преподнесения информации, связанной с темами студенческих творческих работ по физике. Основная часть пользователей наших соцсетей по данным VK – это студенты младших курсов и старшеклассники. Преобладает мужская аудитория. Преимущественное месторасположение пользователей – Беларусь. Большинство просматривает контент в VK с мобильных устройств.

Основываясь на вышеизложенных данных, можно сделать вывод, что проблемно-эвристический подход в обучении с использованием социальных сетей повышает заинтересованность студентов в предмете, помогая лучше усваивать учебный материал. Создание творческих работ привлекает студентов к научной и творческой деятельности, повышает их мотивацию изучать физику и формирует профессиональные и социально-личностные компетенции студентов в рамках курса общей физики.

Литература

1. Король, А. Д. Дистанция в образовании: от методологии к практике / А. Д. Король, Ю. И. Воротницкий, В. П. Кочин // Наука и инновации. – 2020. – № 6 (208). – С. 22–29.
2. Дудина, В. А. Оценка влияния социальных сетей и других факторов на успеваемость студентов биологического факультета / В. А. Дудина, А. И. Азявчикова, А. И. Вороненко, Т. В. Азявчикова // Молодой ученый. — 2019. — № 48 (286). — С. 438–440.
3. Ташлыкова-Бушкевич, И. И. Апробация авторской технологии организации лекционных занятий со студентами по физике с элементами эвристического обучения / И. И. Ташлыкова-Бушкевич // Вышэйшая школа. – 2019. – № 2. – С. 43–48.
4. YouTube-канал «Эвристика в физике» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tiny.cc/0jbnaz>. – Дата доступа: 25.03.2021.

5. Страница Instagram «Эвристика в физике» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.instagram.com/zun.iyat_b.ru. – Дата доступа: 25.03.2021.

6. Страница VK «Эвристика в физике» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/iyat_b_hip. – Дата доступа: 25.03.2021.

А. А. Быкава

(БрДУ імя А. С. Пушкіна, Брэст)

Навук. кір. **М. А. Калавур**, канд. пед. навук, дацэнт

МЕТАПРАДМЕТНАСЦЬ ФІЗІКІ, ІНФАРМАТЫКІ І МАТЭМАТЫКІ

Адукацыя – гэта сфера, неабходная для забеспячэння падрыхтоўкі канкурэнтаздольных кадраў, так неабходных для інавацыйнай эканомікі. Зараз гэтая сфера мае патрэбу ў пераглядзе вядомых варыянтаў зместу адукацыі. Патрэба ў стварэнні новых варыянтаў становіцца ўсё больш значнай. Адным з такіх варыянтаў з'яўляецца мадэль зместу адукацыі, узбагачаная метапрадметным кампанентам.

Андрэй Віктаравіч Хутарскі – доктар педагагічных навук, характарызуе метапрадметнасць як «выхад за прадметы, але не сыход ад іх». Метапредмет – гэта тое, што за прадметам ці некалькімі прадметамі, знаходзіцца на аснове і адначасова ў каранёвай сувязі з імі [2]. Згодна з гэтай пазіцыяй, метапрадметнасць – гэта неад'емная частка любога адукацыйнага асяроддзя. Метапрадметныя вынікі асваення асноўнай адукацыйнай праграмы павінны адлюстроўваць такія базавыя і неабходныя патрабаванні, як:

- уменне самастойна вызначаць мэты і фармуляваць для сябе новыя задачы ў вучобе і пазнавальнай дзейнасці, развіваць матывы і інтарэсы сваёй пазнавальнай дзейнасці;
- уменне самастойна планаваць шляхі дасягнення мэтаў, свядома выбіраць найбольш эфектыўныя спосабы вырашэння навучальных і пазнавальных задач;
- уменне суадносіць свае дзеянні з планаванымі вынікамі, ажыццяўляць кантроль сваёй дзейнасці, вызначаць спосабы дзеянняў, карэктаваць свае дзеянні ў адпаведнасці з зменлівай сітуацыяй;
- уменне ацэньваць правільнасць выканання навучальнай задачы, уласныя магчымасці яе вырашэння;

- валоданне асновамі самакантролю, самаацэнкі, прыняцця рашэнняў і ажыццяўлення ўсвядомленага выбару ў вучэбнай і пазнавальнай дзейнасці;

- уменне вызначаць паняцці, ствараць абагульненні, ўсталёўваць аналогіі, класіфікаваць, самастойна выбіраць падставы і крытэрыі для класіфікацыі, ўсталёўваць прычынна-выніковыя сувязі і рабіць высновы;

- уменне арганізоўваць навучальнае супрацоўніцтва і сумесную дзейнасць з настаўнікамі і аднагодкамі; працаваць індывідуальна і ў групе;

- фармуляваць, аргументаваць і адстойваць сваё меркаванне;

- фарміраванне і развіццё кампетэнтнасці ў галіне ІКТ.

Зыходзячы з патрэбы грамадства да засваення ведаў, ужо нельга выкладаць ні адзін прадмет без апоры на метапрадмет валодання вуснай і пісьмовай мовай, маналагічнай кантэкстнай мовай [1, с. 5]

Ўрок інфарматыкі, які выкарыстоўвае інфармацыйныя тэхналогіі, дазваляе навучэнцам перайсці ад тлумачальна-ілюстрацыйнага падыходу ў навучанні да дзейнаснага. Вучань займаецца праектнай, даследчай дзейнасцю і вырашае задачы, якія адносяцца да розных абласцей ведаў. Праектная дзейнасць мае на ўвазе пад сабой выразную фармулёўку мэты, задачы, спосабы дасягнення мэты, рэфлексію сваёй працы. У ходзе работы над артыкулам былі распрацаваны некалькі ўрокаў, у якіх выкарыстоўваецца метапрадметны падыход. Узняўшы за аснову ўзаемасувязі інфарматыкі, матэматыкі і фізікі, была абраная агульная тэма «квадратычная функцыя і яе прымяненне». Адпаведна ад тэматыкі алгебры бяром тэму «Квадратычнай функцыя, яе графік і ўласцівасці»; з курсу інфарматыкі – «Мадэляванне ў электронных табліцах», а з праграмы фізікі – «Перамяшчэнне пры роўнапаскораным руху». Мэтай такога інтэграванага модуля будзе сістэматызаваць веды аб графіку квадратычнай функцыі і яе ўласцівасцях, разгледзець прымяненне ўласцівасцяў квадратычнай функцыі, працягнуць адпрацоўку навыкаў пабудовы графікаў функцыі ў Excel, працу з электроннымі табліцамі. У ходзе вывучэння тэм і абагульнення ведаў аб квадратычнай функцыі, вучні атрымаюць ўяўленні аб прымяненні матэматычных ведаў у іншых галінах навукі. Па заканчэнні модуля вучням даецца тэст для выніковага кантролю ведаў.

Фізіка

1. Запішыце формулы школьнага курсу фізікі, дзе сустракаецца квадратычная функцыя.

2. Грунтуючыся на назіраннях, пакажыце, як залежыць далёкасць палёту ад пачатковай хуткасці і вугла нахілу пачатковай хуткасці да гарызонту.

3. Адлюстравіць прыкладную траекторыю руху цела, кінутага пад вуглом да гарызонту.

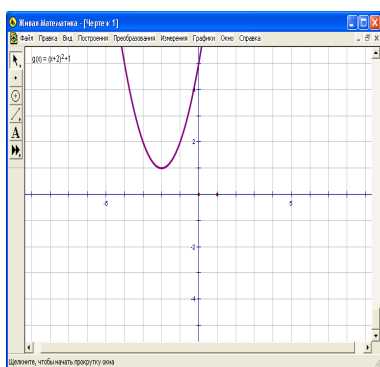
4. Запішыце ўраўненні, якія апісваюць дадзены рух у праекцыях на восі OX і OY .

5. Адносна якіх з каардынатных восяў цела рухаецца з паскарэннем?

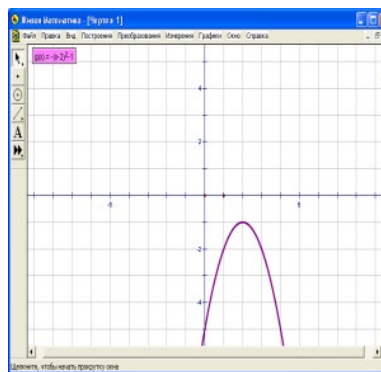
Матэматыка

1. На малюнку намаляваны графік функцыі $y = ax^2 + bx + c$. Якое сцверджанне дакладнае?

1. $a > 0, c < 0$ 2. $a > 0, c = 0$ 3. $a, c > 0$ 4. $a, c < 0$



а)

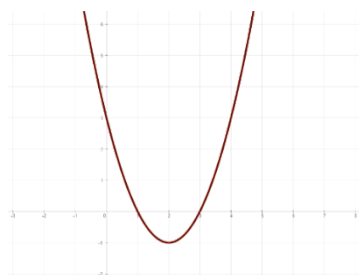


б)

Інфарматыка

Пабудавіце ў Excel графікі ўсіх функцый, з дапамогай якіх вызначыць: графік якой квадратычнай функцыі намаляваны на малюнку?

1. $y = -x^2 + 2x + 3$
2. $y = x^2 - 2x + 3$
3. $y = x^2 + 4x + 3$
4. $y = x^2 - 4x + 3$



Літаратура

1. Скрипкина Ю. В. Метапредметный подход в новых образовательных стандартах: вопросы реализации. // Интернет-журнал «Эйдос». – 2011. – № 4. – <http://www.eidos.ru/journal/2011/0425-10.htm>. – Дата обращения 15.03.2021.

2. Хуторской А. В. Метапредметное содержание и результаты образования: как реализовать федеральные государственные образовательные

стандарты (ФГОС) // Интернет-журнал «Эйдос». – 2012. – № 1.
<http://www.eidos.ru/journal/2012/0229-10.htm>. – Дата обращения 15.03.2021.

И. И. Гайдаш

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. А. Серeda**, ст. преподаватель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ALTIUM DESIGNER ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СКВОЗНЫХ ПРОЕКТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ

Специалист в области электронных систем безопасности должен уметь не только разрабатывать проекты систем охранной и пожарной сигнализации, систем видеонаблюдения и систем контроля и управления доступом, но и быть специалистом в области радиоэлектроники, способным разрабатывать, программировать и конфигурировать электронные составляющие любой системы безопасности. Для разработки любого электронного устройства необходимо пройти ряд этапов: сформировать концепцию будущего изделия, его входные и выходные параметры, режимы работы, затем разработать электрические схемы устройства, реализовать их на печатных платах, спроектировать корпус изделия и многое другое. Для оптимизации данного процесса широко используются системы автоматизированного проектирования, позволяющие предварительно выполнить компьютерное моделирование работы принципиальных электрических схем, осуществить оптимальную компоновку радиоэлементов на печатной плате и трассировку проводников, внести при необходимости конструктивные изменения до этапа изготовления опытного образца. Используя программное обеспечение от разных разработчиков, можно столкнуться с проблемой сопряжения проекта на разных этапах проектирования. Компьютерная система может моделировать электрические схемы, но не позволяет разработанную схему реализовать на печатной плате, либо может и то и другое, но не позволяет проектировать корпуса и проводить компоновку функциональных частей изделия в нем. Системы сквозного проектирования позволяют все этапы разработки электронного устройства реализовать ее в едином проекте: разработанную принципиальную электрическую схему, экспортировать в модуль для проектирования печатных плат, а полученные трехмерные

модели разместить в модуле 3D моделирования и преобразовать их в чертежи для конструкторской документации.

Среди таких систем выделяется Altium Designer – одна из наиболее распространенных систем сквозного автоматизированного проектирования печатных плат, позволяющая выполнить большой диапазон проектных задач: от проектирования концепции функционирования до выпуска полного набора конструкторских и производственных данных [1].

Программа позволяет строить иерархические схемы, дробить большие схемы в набор простейших подсхем. При разработке принципиальных электрических схем можно учитывать конструктивные особенности будущей платы, к примеру создавать группы компонентов, классы цепей, прописывать дифференциальные пары. Имеется огромная библиотека компонентов, в которой учтены характеристики работы реальных электронных устройств, геометрия корпусов радиоэлементов от ведущих производителей электронной промышленности, позволяющая с высокой точностью моделировать работу схемы будущего устройства и конструкцию изделия.

В составе Altium Designer имеется редактор печатных плат. Все критерии разработки, учитываемые при редактировании печатных плат, имеют 10 категорий: производства, правила трассировки, разводки дифференциальных пар, проектирования высокочастотных блоков и т. д. Применяя технологию запросов. Проектировщик может описать область действия правила и определить его приоритет.

Присутствует работа с трехмерными моделями. Проектировщик есть возможность вывести картинку на монитор спроектированный вид платы с компонентами, дать оценку ее сопряжения с механическими деталями конструкции произвести необходимые изменения (рисунок 1).

Эффективно освоить любой программный продукт во время обучения в ВУЗе позволяет лабораторный практикум, в рамках которого студент в сжатом, выверенном преподавателем виде может получить навыки работы, консультации по особенностям реализации того или иного этапа проекта. Разработанный для студентов специальности «Электронные системы безопасности» лабораторный практикум позволяет освоить процесс сквозного проектирования электронных устройств. В лабораторный практикум включены работы позволяющие разработать принципиальную электрическую схему устройства, используя как встроенную базу элементов, так и создаваемые в процессе выполнения лабораторных работ собственные элементы биб-

лиотеки, выполнить ее моделирование. В практикуме предложены работы, в которых осваивается процесс проектирования печатных плат, как с «нуля», так и путем экспорта разработанной принципиальной электрической схемы в модуль проектирования печатных плат с сохранением электрических связей между выводами радиоэлементов. Также практикум содержит работы, позволяющие сформировать чертежи для конструкторской документации по разработанным схемам. Таким образом, реализуется концепция сквозного проектирования.

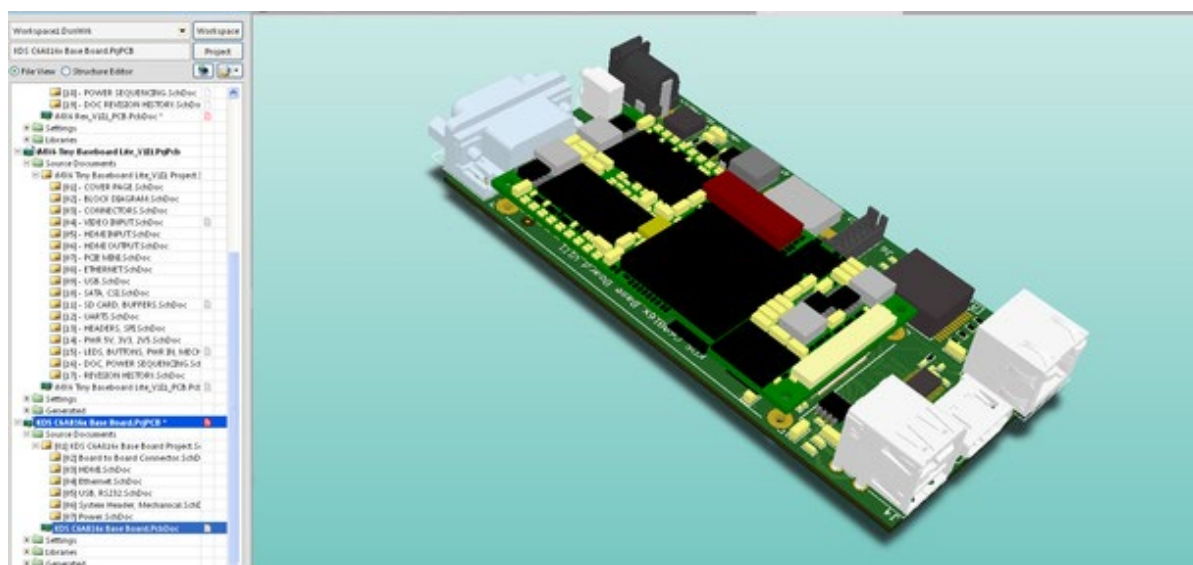


Рисунок 1 – Трехмерная модель платы

Литература

1. Altium Designer – система сквозного проектирования [Электронный ресурс] / Журнал «САПР и графика» – ваш проводник в мире САПР. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/21029>. – Дата доступа 27.03.2021.

В. А. Гапанюк

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ

Парадокс представляет собой умозаключение, кажущееся противоречащим известным научным истинам или «здоровому смыслу», но

на самом деле правильное. Парадокс как бы он, на первый взгляд, не противоречив общепринятому, может быть разрешен, то есть, парадоксальность может быть снята с позиций современного научного знания. Но именно разрешение противоречивых ситуаций лежит в основе проблемного метода в обучении физике.

Материалом для составления задач-парадоксов служат фундаментальные законы физики и методические приемы их изложения в ряде учебников и учебных пособий, описания технических конструкций и устройств, решения обычных задач.

Следовательно, парадоксы, которых в физике известно немало [1, 2], есть по существу проблемные ситуации, пригодные для организации активного процесса обучения.

В истории физики известны парадоксы, разрешение которых сыграло важную роль в развитии научных концепций. Многие из них поэтому имеют собственные названия (апории Зенона, парадокс Гиббса, парадокс близнецов, парадокс Эйнштейна (термодинамический), парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена и т.п.). Упомянутые парадоксы по своей сути являются отражением явлений диалектической природы физических явлений и самого процесса познания. По этой причине наибольшее число знаменитых парадоксов родилось в процессе становления новых научных парадигм (теория относительности, волновая теория, квантовая теория, статическая термодинамика). Любопытно, что некоторые физические парадоксы не имеют единого или общепринятого толкования и по сей день.

Необходимо отметить, что вводимые проблемные ситуации являются наиболее значимыми при объяснении парадоксов Гиббса и Эйнштейна [3].

Литература

1. Ланге, В. Н. Физические парадоксы и софизмы / В. Н. Ланге. – М.: Просвещение, 1978. – 176с.
2. Макеева Г. П., Цедрик М. С. Физические парадоксы и занимательные вопросы / Г. П. Макеева, М. С. Цедрик. – Минск: Нар. света, 1981.
3. Базаров И. П. Термодинамика / И. П. Базаров. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.

А. С. Гормаш, А. В. Дедина, Е. И. Мелеховец, А. М. Ахапкина
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **И. И. Ташлыкова-Бушкевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УЧАСТНИКОВ ПРОЕКТА «ЭВРИСТИКА В ФИЗИКЕ» В БГУИР

Физика – один из основных предметов, необходимых обучающимся на инженерных специальностях. Однако многие студенты жалуются, что они не понимают её и что объём информации для изучения и запоминания слишком большой. Именно поэтому наш преподаватель, доцент, кандидат физико-математических наук, Ташлыкова-Бушкевич И. И. разработала собственную программу организации лекционных занятий [1], предоставляющую студентам возможность проявить себя и расширить свой кругозор с помощью элементов эвристического обучения.

«Эвристика в физике» – явление уникальное. Данная составляющая технологии преподавания учебного предмета «Физика» создана специально для того, чтобы заинтересовать студентов и помочь им лучше разобраться в этом предмете.

Сама технология включает в себя создание самими студентами научно-творческих проектов, связанных с изучаемыми разделами физики. Студенты формируют команды из 3-5 человек, придумывают тему и разрабатывают программу творческой работы (проекта). После его одобрения лектором начинается усердный труд всей команды. За каждой группой для контроля хода разработки проекта закрепляется студент-куратор, который после завершения работы предоставляет готовый материал лектору. В течение семестра проекты демонстрируются студентам из потока и участвуют в конкурсе на лучшую работу.

Но кто именно из студентов может участвовать в «Эвристике в физике»? Для поиска ответа на этот вопрос мы провели анализ статистических данных об участниках 5 сезона проекта среди студентов 1-го курса 2019 года поступления (группы 951001-4, 950501-6) факультета компьютерных систем и сетей БГУИР. Всего в эксперименте участвовало 288 человек и было подготовлено 24 проекта. В выполнении творческих работ по физике приняли участие 108 студентов (37,5%).

В соответствии с данными на рисунке 1 число человек в составе команды в основном варьировалось от 4 до 5 человек – в 24 создан-

ных проектах команды из 4 человек составили 45,8%, из 5 – 41,7% и команды из 3х человек составили всего лишь 12,5%.

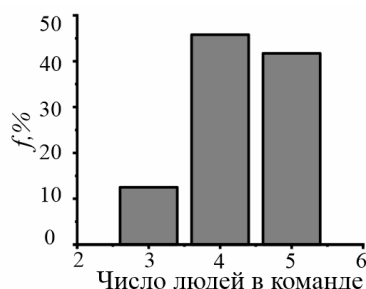


Рисунок 1 – Количественный анализ команд сезона 5 «Эвристика в физике»

Проектов с участием девушек было 11, т.е. 45,83% от общего числа студенческих работ 5-го сезона проекта «Эвристика в физике». При этом всего девушек участвовало 19, а это 38,78% от общего количества девушек-первокурсниц в группах 951001-4, 950501-6 (рисунок 2а, б).

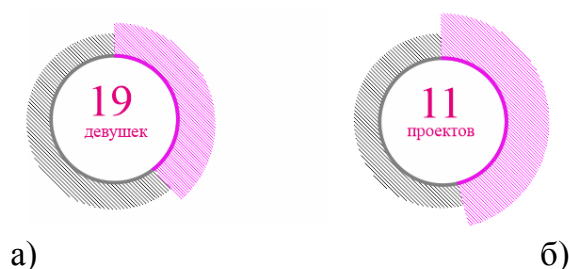


Рисунок 2 – Количество девушек-участниц 5-го сезона «Эвристика в физике» (а) и количество проектов с участием девушек (б)

Если сравнивать состав команд и состав потока с точки зрения места проживания студентов, можно заметить, что в общем преобладают жители Минска: в потоке это 60,76%, в творческих группах – 38,89%. Также можно заметить, что соотношение доли студентов из областных центров в группах и потоке отличается более чем в 4 раза – 39,81% от состава авторов проектов и 9,72% от состава потока обучающихся. Меньше всего в научных работах студентов из небольших городов и деревень/посёлков – 15,74% и 5,56% соответственно, в то время как в потоке они составляют 24,31% и 5,21% соответственно (рисунок 3).

Далее мы проанализировали состав команд с точки зрения места выпуска студентов. Больше всего студентов закончили средние школы: 41,7% студентов потока и 50,93% участников проекта «Эвристика

в физике». На втором месте находятся гимназии – их закончили 40,5% студентов потока и 34,26% авторов проектов. И, наконец, лицеи закончили 17,8% студентов потока и 14,81% авторов научных работ.

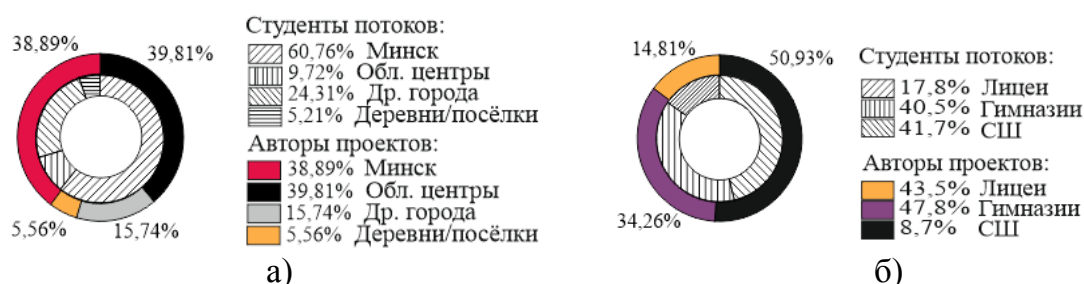


Рисунок 3 – Процентное соотношение студентов потоков 951001-4, 950501-6 и студентов-авторов 5-го сезона «Эвристика в физике» по месту проживания (а) и месту учёбы (б)

На основании приведённой выше информации можно сделать вывод: участвовать в творческих работах проекта «Эвристика в физике» может любой заинтересованный студент, желающий углубить свои знания в физике и проявить себя. Данная авторская технология, внедрённая в БГУИР, даёт равный шанс для всех обучающихся развить свои способности и сделать шаг навстречу изучению и пониманию физики. Она вовлекает всех желающих и позволяет им справиться с трудностями в изучении этой науки.

Литература

1. Ташлыкова-Бушкевич, И. И. Апробация авторской технологии организации лекционных занятий со студентами по физике с элементами эвристического обучения / И. И. Ташлыкова-Бушкевич // Высшэйшая школа. – 2019. – № 2. – С. 43–48.

Я. А. Гусарова

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Г. Шолох**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИНТЕРАКТИВНОЕ ВНЕКЛАСНОЕ ЗАНЯТИЕ КАК ПРИЁМ МОТИВАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ ФИЗИКИ

Одним из основных познавательных психических процессов является мышление. Для организации активной познавательной деятель-

ности учащихся, то есть активизации их мышления, необходимо развить интерес к предмету изучения и желание удовлетворить его. Иначе говоря, предпосылкой развития мышления учащихся является формирование у них мотивов к обучению. Формирование и постоянная поддержка мотивов учения является одной из главных задач педагога. Интерактивное педагогическое взаимодействие с обучающимся становится эффективным только с учётом психологических и возрастных особенностей его внутренней мотивации. Основными факторами, влияющими на формирование положительной мотивации к учебной деятельности, являются [1]: содержание учебного материала; организация учебной деятельности; коллективные формы обучения; оценка результатов учебной деятельности; стиль педагогической деятельности учителя.

С целью формирования различных универсальных учебных достижений и актуализации знаний, полученных учащимися девятого класса в процессе усвоения материала по темам «Кинематика» и «Динамика» автором данного сообщения разработана технологическая карта и сценарий внеклассного занятия. В качестве организационной формы выбрано командное соревнование. Члены каждой команды объединены общей целью, что побуждает к активной деятельности даже слабо мотивированных учащихся, так как на каждого из них возлагаются надежды на определенный вклад в общий результат. Существенным преимуществом такой организационной формы является благоприятный психологический климат, способствующий раскрепощению и максимальной самореализации каждого учащегося.

При разработке сценария использовались программные средства обучения, поскольку, как установлено (смотри, например, [2]), их рациональное применение позволяет решать ряд дидактических задач, в частности: развитие мышления и воображения, развитие творческого потенциала, мотивация к обучению, активизация познавательной деятельности, и др. Применение интерактивного метода и использование мультимедиа приложений обеспечивает нетрадиционный оригинальный формат занятия. Разработка методических материалов основывалась на основных принципах педагогической технологии, изложенных, например, в работе [3]. Результаты этой разработки апробированы при проведении внеурочного занятия с учащимися 9 класса.

Сценарием занятия предусматривались следующие этапы: организационный этап, разминка, соревнование в формате «Своя игра», турнир капитанов, подведение итогов, рефлексия.

На первом этапе учащиеся сформировали 4 команды по 6 человек. Каждая команда выбрала капитана и визитную карточку определённого цвета. Учащимся был предложен эпиграф занятия, вникнув в смысл которого они догадались о командной форме его проведения.

В качестве разминки командам были предложены ребусы и кроссворды, решение которых позволило определить тематику игры. Следует отметить, что уже на этом этапе все команды быстро включились в работу и справились намного быстрее запланированного, что свидетельствовало о заинтересованности и активности учащихся.

Основной этап соревнования, названный «Своя игра», разработанный с использованием компьютерного приложения, вызвал наибольший интерес. Изображение игрового поля компьютерного приложения показано на рисунке 1, из которого видно, что задания разделены на тематические разделы, в каждом из которых содержится 4 вопроса различного уровня сложности (от 20 до 80 баллов). Право первой выбрать категорию и уровень вопроса даётся команде, получившей максимальное число баллов при решении ребусов. Все учащиеся участвовали в обсуждении выбранного вопроса, и в случае неправильного ответа это право и баллы за правильный ответ передавались команде соперников, которая первой заявила о своей готовности (то есть подняла визитную карточку). Далее право выбора вопроса передавалось следующей команде.

Основы кинематики	<u>20</u>	<u>40</u>	<u>60</u>	<u>80</u>
Основы динамики	<u>20</u>	<u>40</u>	<u>60</u>	<u>80</u>
Верно / Не верно	<u>20</u>	<u>40</u>	<u>60</u>	<u>80</u>
Задачи	<u>20</u>	<u>40</u>	<u>60</u>	<u>80</u>
Единицы измерения	<u>20</u>	<u>40</u>	<u>60</u>	<u>80</u>

Рисунок 1 – Изображение игрового поля «Своя игра»

В блицтурнире, в котором принимали участие капитаны команд, были созданы условия для формирования у них способности оперативного реагирования и ответственности за конечный результат игры.

В результате апробации установлено, что разработанное занятие способствовало развитию познавательного интереса к физике, формированию ассоциативного мышления, умению быстро реагировать на нестандартные вопросы, проводить обобщения и систематизацию. Учащиеся проявили умения пользоваться физической терминологией и применять знания в непривычной ситуации, а также навыки интеллектуального общения. Замечено, что у них проявился спортивный азарт и умение рисковать при выборе вопросов с более высоким уровнем сложности.

Категория «задачи» вызвала у учащихся наименьший интерес и наибольшие затруднения. Исходя из этого, в ходе коррекции целесообразно модернизировать данную категорию.

После завершения конкурсов подводились итоги игры, и была организована рефлексия. Наибольший интерес у учащихся вызвал этап «Своя игра», на котором они самостоятельно принимали решение о выборе категории и уровня сложности вопросов. Важно, что учащиеся высказали свои критические замечания по оценке уровня сложности вопросов. Во время проведения занятия большинство учащихся проявили стремление к победе и причастность к успеху команды.

Литература

1. Гордашников, В. А. Образование и здоровье студентов медицинского колледжа / В. А. Гордашников, А. Я. Осин // Научная электронная библиотека. Монографии. – [Электронный ресурс]: www.monografies.ru/ru/book/view. – Дата доступа: 15.03.2021.

2. Морев, И.А. Образовательные информационные технологии. Часть 1. Обучение: Учеб. пособие/ Морев И.А. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета. – 2004, – 162 с. – [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/morev-ia-obrazovatelnye-informacionnye-tehnologii-chast-1-obuchenie_f29246593ed.html. – Дата доступа: 15.03.2021.

3. Стратегически важные направления исследований авторской научной школы члена-корреспондента РАО В.М. Монахова – С. 12–35. – [Электронный ресурс]: http://www.instrao.ru/images/1Treshka/Nauchnye_shkoli/Monahov. – Дата доступа: 15.03.2021.

В. К. Дрозд
(БрГУ имени А. С. Пушкина, Брест)
Науч. рук. **Н. А. Каллаур**, канд. пед. наук, доцент

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ АЛГОРИТМАМ ШКОЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ

Каждый педагог в наше время желает провести учебное занятие так, чтобы заинтересовать учеников, удивить их новой информацией, завлечь в мир своего учебного предмета. Для этого необходимо внедрять в учебный процесс все то новое, что появляется в нашем мире каждый день.

Информационные технологии – широкий класс дисциплин и областей деятельности, относящихся к технологиям создания, сохранения, управления и обработки данных, в том числе с применением вычислительной техники. [1]

В наше время использование информационных технологий как в повседневной жизни, так и на учебных занятиях не является новинкой для многих учителей и не составляет большого труда. Учителя используют их на различных этапах урока. Информационные технологии позволяют учителям выделить главное, акцентировать внимание на важной информации, продемонстрировать материал более наглядно, быстро проверить знания учащихся и лучше объяснить новый учебный материал.

Информационные технологии применяют и на уроках математики, в частности, в обучении алгоритмам.

Под алгоритмом понимается набор последовательных действий, которые направлены на достижение определенной цели. [2]

Актуальность применения информационных технологий в образовательной среде обусловлена стремительным развитием технологий и заинтересованностью учащихся новыми формами проведения учебного занятия и различными средствами обучения, что способствует привлечению внимания аудитории.

Целью нашего исследования является перечисление информационных технологий, которые можно использовать в обучении алгоритмам при проведении учебных занятий по математике, краткое их описание и выявление отношения учащихся к использованию данных информационных технологий на уроке.

Алгоритмы в школьном курсе математики появляются уже с самого начала ее изучения. Они развивают у учащихся алгоритмическое

мышление, позволяют понять задачу и не теряться при ее решении, позволяют выделить шаги для решения, увидеть путь действий для достижения цели. Однако, чтобы использовать данные шаги в дальнейшем, учащимся необходимо их запомнить. А это не всегда бывает просто. В данном случае и приходят на помощь учителю математики информационные технологии.

В обучении учащихся алгоритмам школьной математики используют различные информационные технологии: Power Point, Microsoft Word, HotPotatoes, Айрен, Интернет-ресурсы и другие. Рассмотрим данные информационные технологии при изучении алгоритмов в математике.

Презентации – наиболее удобный, современный и простой способ предоставления учебной информации учащимся на уроках. Самая известная программа для создания презентаций – Power Point. На слайдах можно разместить важную информацию, которую необходимо запомнить учащимся. Например, определение алгоритма, краткую историческую справку, сам алгоритм действий, примеры использования данного алгоритма в повседневной жизни, примеры математических задач с использованием алгоритма. Для лучшей наглядности и понимания данного материала на слайдах можно и нужно использовать схемы решения, таблицы, краткую запись задач и различные изображения. Данная информационная технология позволяют учителю продемонстрировать оформление решения задач, повысить уровень наглядности, рассмотреть большее количество материала, провести урок интересно и познавательно.

Для подготовки дидактического материала на урок информатики учитель может использовать программу Microsoft Word. С ее помощью можно подготовить шаблон для решения задач, т.е. выписать сам алгоритм, который можно распечатать и раздать учащимся (в качестве памятки). Данная информационная технология позволит повысить темп работы учащихся на уроке.

Следующая информационная технология – программа HotPotatoes. С ее помощью учитель может создавать кроссворды, тесты и упражнения для урока. Кроссворд можно использовать для проверки знаний. К примеру, могут использоваться следующие вопросы: как называется отдельное действие алгоритма, что называют строго определенной последовательностью действий при решении задач, какой синоним можно подобрать к слову алгоритм и т.д. Упражнения, создаваемые в данной программе, можно использовать в процессе закрепления знаний учащимися. Данная технология позволяет повысить ин-

терес учащихся к предмету, достичь обратной связи и сделать учебный процесс более оживленным.

Использование программы Айрен позволит учителю математики создать тест для проверки знаний учащихся. Данную информационную технологию лучше всего использовать для контроля знаний и умений учащихся. Тест может содержать в себе вопросы как теоретического, так и практического характера, т.е. как общие вопросы по теме, так и решение задач с возможностью сразу записать ответ. Эта программа позволяет быстро и объективно оценить каждого учащегося. У учеников будет возможность сразу же посмотреть сделанные ошибки, исправить их и больше не совершать, что увеличивает активность каждого из учащихся. Такая информационная технология хороша тем, что можно легко изменить информацию в тесте, если вопросы окажутся для учащихся слишком легкими или тяжелыми. Однако основная сложность заключается именно в том, что для такой формы работы на уроке с учащимися необходимо иметь в классе компьютеры для каждого ученика.

Интернет-ресурсы применяются учителями не так часто, однако они позволяют улучшить эффективность усвоения материала. На уроках математики при изучении алгоритмов можно использовать различные сайты. На них будет размещена информация о решении задач, об их многообразии или дополнительная информация об алгоритмах.

Таким образом, применение информационных технологий в обучении алгоритмам школьной математики делает процесс обучения более эффективным, продуктивным, наглядным, повышает интерес к учебному предмету, позволяет включить в учебную работу на уроке большее количество учащихся и, конечно, делает материал урока более доступным для них.

Литература

1. Академик [Электронный ресурс] / Педагогический словарь. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/75511>. – Дата доступа: 28.01.2021.

2. Портал знаний [Электронный ресурс] / Глобальный интеллектуальный ресурс. Алгоритмы. – Режим доступа: <http://statistica.ru/branches-maths/algoritmy/>. – Дата доступа: 30.01.2021.

3. Захарова, И. Г. Информационные технологии в образовании: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / И. Г. Захарова. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 208 с.

В. А. Дубовская
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ «МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ» В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

Раздел электромагнетизм в курсе физики занимает одно из центральных мест в теории «Основы электродинамики». Электромагнитные явления в этом разделе рассматриваются в трех темах: «Магнитное поле тока», «Электромагнитная индукция» и «Магнитные свойства вещества».

Изучение магнитного поля имеет свои особенности. Так учебный материал рассматривает большой период развития физики – от Эрстеда до Эйнштейна, в течении которого физические взгляды в корне изменились, причём не один раз. В связи с этим менялась и методика изложения данных явлений.

Рассматривая образование магнитного поля тока и действие магнитного поля на ток, нам необходимо изучить следующие законы: закон Био-Савара, законы Ампера и действие силы Лоренца на движущийся заряд.

Изучая магнитное поле, ученикам необходимо ознакомиться с понятиями вихревого характера магнитного поля, выяснить, что магнитные силы \vec{F}_M действуют не вдоль вектора магнитной индукции \vec{B} , характеризующего поле, а перпендикулярно ему: $\vec{F}_M \perp \vec{B}$ (в отличие от электрического поля, где $\vec{F}_M \parallel \vec{E}$).

Учитель показывает, что магнитное поле представляет собой релятивистский характер. Его образование вызывается движением электрических зарядов относительно выбранной системы отсчёта. Далее необходимо разъяснить роль относительности движения в электромагнитных явлениях, то есть подготовить учеников к условию теории Максвелла об электромагнитном поле. В данном случае у учеников развиваются представления о принципе близкодействия. Движущиеся электрические заряды взаимодействуют через магнитное поле. Это действие распространяется с конечной скоростью, равной скорости света в вакууме, то есть электромагнитное поле материально, а магнитное поле является его составляющей.

Свойства магнитов объясняются на основе законов электродинамики. При описании явлений электромагнетизма необходимо использовать только силовую характеристику магнитного поля – магнитную

индукцию \vec{B} , а не \vec{H} . Поэтому измерение магнитной индукции необходимо производить при помощи контуров с током, а не магнитной стрелки.

При изучении учебного материала по магнитному полю учитель должен обратить внимание на применение магнитного поля в физических исследованиях атомного строения вещества и атомных частиц (в земных условиях и космосе), объяснить принципы устройства и действия электрических приборов и машин, электро- и радиоустройств, и сооружений.

А. В. Лонская

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. С. А. Лукашевич, ст. преподаватель

УПРАВЛЕНИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ УЧАЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ

Проблемное обучение как специфическая дидактическая система имеет вполне определённую структуру, а именно: специфическая дидактическая обработка содержания учебного материала, ведущая к противоречию (актуализация опорных знаний и их применение к новой физической ситуации) → противоречие → учебно-познавательная проблема → управляемый поиск решений и их сопоставление → новые знания → применение новых знаний. При этом предполагается, что учащиеся находятся в состоянии, именуемым проблемной ситуацией. Это особое, наиболее предпочтительное, состояние учащихся в процессе обучения.

Проблемная ситуация характеризуется наличием у учащихся опорных знаний, познавательного интереса и познавательной активности, а также достаточного уровня развития, создающего владение приёмами умственных способностей. Поэтому в данном случае проблемное обучение может быть осуществлено, и оно является более-менее результативным.

Если же учащийся не проявляет познавательной активности (а это случается часто), находится в состоянии пассивного ожидания решения, проявим к нему интерес, то такой учащийся в состоянии проблемной ситуации не находится и для него время ожидания результата является потерянным. Вот почему в таких случаях необходим не

просто поиск учащимися вариантов решений, а управляемый учителем поиск.

Примеров достаточно, приведём один из них. На демонстрационном столе собирается электрическая цепь, состоящая из источника тока (220В), ключа K_1 , лампы накаливания (60 Вт, 220В) и соединённых последовательно с ней лампочки (3,5В), зашунтированный ключом K_2 . Выполняется два опыта:

1) K_2 замкнут, K_1 замыкаем, K_2 размыкаем – L_1 и L_2 нормально светят;

2) K_2 разомкнут, K_1 замыкаем – L_2 сразу перегорает.

Имеем: конечное состояние цепи в обоих случаях одинаково, а результаты разные. Таким образом, создано противоречие. Возникает учебно-познавательная проблема: как согласовать результаты опытов? Равнодушных нет, интерес имеет место, а активность в поиске решения без управления со стороны учителя проявляют далеко не все учащиеся.

Это управление осуществляется на основе диалектически целесообразной системы вопросов и педагогически оправданной меры помощи при индивидуальном подходе.

Н. В. Лукашевич

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Н. Купо**, канд. техн. наук, доцент

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ»

Изучая тему «Поверхностное натяжение», мы рассматриваем формулу Лапласа для разности давлений по разные стороны искривленной поверхности жидкости:

$$\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных сечений.

Чтобы закрепить данный материал в памяти, мы попробуем, используя формулу Лапласа, определить избыточное давление в мыль-

ном пузыре. Так как мыльный пузырь представляет сферу, то радиусы $R_1 = R_2 = R$ и избыточное давление будет

$$\Delta P = 2 \frac{\sigma}{R}. \quad (2)$$

Однако на практике оказалось, что измеренное давление в два раза больше (2). В таком случае возникает вопрос: почему?

Чтобы ответить на этот вопрос необходимо детально рассмотреть строение мыльного пузыря. При изучении строения выясняется, что мыльная пленка, образующая пузырь, имеет две поверхности: наружную и внутреннюю. Избыточное давление в пузыре обусловлено обеими поверхностями пленки:

$$\Delta P = \Delta P_e + \Delta P_i = 2 \frac{\sigma}{R_c} + 2 \frac{\sigma}{R_i}, \quad (3)$$

где R_c и R_i – радиусы наружной и внутренней поверхностей. Так как толщина плёнки мала, то радиусы поверхности можно считать одинаковыми. Тогда для избыточного давления в пузыре мы получим:

$$\Delta P = 4 \frac{\sigma}{R}, \quad (4)$$

которое в два раза больше, чем в формуле (2).

Противоречия в данной ситуации возникает потому, что тонкая мыльная пленка, образующая пузырь, воспринимается как одна поверхность, разделяющая объёмы внутри и снаружи, подобно пузырьку воздуха в жидкости. В данном случае из вида упущено, что формула Лапласа даёт скачок давления по разные стороны поверхности раздела двух сред, например, жидкости и газа.

Н. С. Морозов

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОБЛЕМНОГО МЕТОДА ОБУЧЕНИЯ

Использование опорных конспектов позволяет распространить метод проблемного обучения на процесс повторения теоретического

материала. При этом не только экономится время учащегося, но процесс повторения делается активным и в силу этого более продуктивным. Работа с опорным конспектом, организующим постановку и решение проблемы, позволяет при повторении учебного материала уйти от зубрежки, заставляет сосредоточить внимание, требует размышления. Реализуется также такое важное достоинство опорных конспектов как свертка информации. Как мысль человека может быть то свернутой, то развернутой, так и знания, информация «сворачивается» опорными сигналами в схему, которое с использованием различных приемов мнемотехники делается легко запоминаемой. Схема остается в памяти, и, пользуясь ею, можно выдать информацию в развернутом виде. Это дает основание называть опорный конспект «мнемосхемой».

Целесообразно использовать не искусственно сконструированную ситуацию, а проблему, органически присущую изучаемому материалу, проблему, с которой столкнулся исследователь, впервые изучающий данное явление.

Рассмотрим конкретный пример. В опорном конспекте В. Ф. Шаталова используется изображение пизанской башни с падающими с нее двумя ядрами различных диаметров. Данные опыты Галилея ярко и подробно описаны М. Ивановским в книге «Законы движения». Стоит зачитать данные опыты учащимся. В книге рассказывается, каким образом наблюдатель определял визуально, что 100-фунтовое ядро на два пальца опережало 1-фунтовое. Это тогда использовалось соратниками Аристотеля с чуть более быстрым падением тел для критики выводов Галилея.

Интересны опыты со стальным и теннисным шариком. Они показывают, что инерция не дает услышать двойной стук при ударе шариков при падении о землю, даже если бросать их одновременно с разницей высот в 10 см. Ученики должны найти метод для определения запаздывания легкого шарика. В процессе рассмотрения возможностей скоростной фотографии, и соответственно микрофонных датчиков удара шариков о землю и др. ученики должны самостоятельно найти метод пусть не столь точный, но совершенно не требующий сложных приборов. И вот после этого обсуждая процесс, подводим учеников к рассмотрению того, что если эти шарики будут падать на равномерно движущуюся платформу и далее, приводим к мысли бросить под небольшим углом к горизонту стальной и теннисные шарики. Начальные условия движений обоих шариков одинаковы, однако железный шарик пролетает большее расстояние. Поставленный перед

учащимися вопрос о действительной причине замедления теннисного шарика не вызывает затруднения: сила сопротивления воздуха. Тут же ставится новый вопрос: но ведь размеры шариков одинаковы и сила сопротивления должна быть одинаковой, почему же теннисный шарик замедляется сильнее? Обычно далеко не сразу учащиеся находят правильный ответ. Сила сопротивления одна и та же, но масса меньше для теннисного шарика, и соответственно ускорение, вызываемое силой сопротивления для теннисного шарика, будет больше.

Таким образом оценить силу сопротивления позволяют результаты опыта. Сила сопротивления оказывается гораздо больше силы вычисленной по формуле Стокса. В результате, развивая проблемную ситуацию, можно перейти и к изучению лобового сопротивления в турбулентном потоке.

Использование опорных конспектов в комплексе и также лекционного эксперимента позволяет повысить качество проблемного изложения материала, что в свою очередь требует от учеников постоянного внимания, и простое конспектирование становится затруднительным. Поэтому лучше раздать учащимся мнемосхемы для их последующего вклеивания в конспект, а фрагмент мнемосхемы при изложении материала проецировать на экран.

Е. Н. Науменко

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. В. Шалупаев**, канд. физ.-мат. наук, доцент

БОРЬБА С КЛИПОВЫМ МЫШЛЕНИЕМ НА УРОКАХ ФИЗИКИ

Мы живем в 21 веке – веке информационных технологий. За день, только через офис одного новостного агентства проходит больше данных, чем все человечество создало за 23 века с момента смерти Сократа и вплоть до изобретения телефона. В связи с этим привычное понятийное(линейное) мышление, свойственное человеку, сменилось на клиповое мышление или же, правильнее будет сказать, клиповое восприятие.

Мышление как таковое – это совокупность умственных процессов, лежащих в основе познания. К мышлению относят активную сторону познания: внимание, восприятие, процесс ассоциаций, образова-

ние понятий и суждений. Оно включает в себе образование суждений и умозаключений путём анализа и синтеза понятий.

А эти умственные процессы, лежащие в основе познания, клиповому мышлению не свойственны. Оно прямо противоположно понятийному мышлению, которое позволяет человеку находить и выделять существенные признаки предметов, легко углубляться в информацию, осуществлять ее анализ.

Клиповое мышление – это приобретенное качество, которое формируется на основе изменяющихся условий существования и ритма жизни. Особенности такового являются быстрота обработки данных, преобладание визуального восприятия, проблемы с восприятием длительной линейной последовательности и однородной информации.

Яркими представителями клипового мышления являются школьники. Вследствие чего стандартный подход при обучении уже не так эффективен, как раньше.

Однако, для начала, лучше всего разобрать достоинства и недостатки клипового мышления. С одной стороны, исходя из того, что уже было выше сказано, данному типу мышления характерно расстройство внимания, отсутствие усидчивости, гиперактивность, утрата мыслительной функции, а также, в принципе, отсутствие желания познавать и способности творить. Кроме того, можно добавить нехватку коммуникативных навыков и небольшой словарный запас. Преобладание конкретного мышления над абстрактным, отсутствие собственного мнения (подмены его взятым из интернета), не критичность мышления.

Что касается достоинств такого мышления, то к ним можно отнести быстроту реакции и принятия решений, умение подстраиваться под постоянно изменяющиеся условия. Скудный словарный запас компенсируется способностью поглощать объемы информации в динамичной форме через образы, символы и схемы. За счёт этого у школьников увеличивается объём внимания, которое неплохо переключается и распределяется. Кроме того, данный тип мышления для современного общества – это защитный механизм позволяющий отфильтровывать необходимое из всего потока информации, что обрушивается на нас каждый день.

Задачей современного педагога является не борьба с клиповым мышлением учеников, поскольку это бесполезно, а умение использовать его для учебного процесса. Именно поэтому должен измениться сам стиль обучения.

Для этого можно выделить несколько важных критерий объяснения материала для лучшего его усвоения учениками с клиповым мышлением.

1. Структурный вид урока.

Ученикам будет проще воспринимать схемы, таблицы, логические цепочки и тому подобное. Случаи, когда можно проследивать ход решения задачи, примеры от начала и до самого конца.

2. Яркое объяснение материала.

Как уже говорилось выше, носители клипового мышления воспринимают и лучше запоминают тот материал, что вызывает у них больше всего эмоций. Необходимы яркие ассоциации. Лучше всего это делать, приводя примеры, связанные с самими учениками, используя для этого их интересы, хобби, увлечения и др.

3. Дебаты, дискуссия, мозговой штурм, круглый стол и т. п.

Такой вид работы благоприятно повлияет на восприятие новой и обработку старой информации. Помимо этого, ученики смогут практиковать свои навыки изложения мыслей и умения делать выводы, исходя из представленной ими же информации.

4. Минимум информации.

Современная молодежь привыкла получать информацию из небольших статей, где текст написан максимально просто. При этом объем такого материала небольшой. Необходимо сократить получаемую информацию, при этом логически ее связывать при объяснении. Лучше всего разбивать ее на блоки.

5. Разные источники информации.

Объяснение материала с точки зрения разных наук. Рассматривая какие-либо проблемы, вопросы с разных позиций, ученики выстраивают собственную картину восприятия данной информации.

6. Конспект.

Меняя устное восприятие информации на письменное, у учащихся вырабатывается усидчивость.

7. Многократное повторение материала, дополняя и расширяя его.

При многократном повторении, учащимися лучше усваивается материал, а расширяя его, создается ощущение новизны, что заставляет школьников вновь взглянуть на уже изученную теорию и самостоятельно сделать какие-либо выводы. И т. д.

Борьба с клиповым мышлением – это значит приспособливать учащихся не к реальной жизни, а к существующей на данный момент системе образования. Клиповое мышление – особенность мышления современного человека, а задача педагога заключается в том, чтобы

помочь ребенку научиться мыслить полноценно, т.е. при необходимости переключаться с клипового мышления на понятийное и обратно.

В. А. Никитюк, А. Д. Садловский, Д. А Буланов

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Ю. В. Никитюк**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА И ПОСТАНОВКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GOOGLE COLAB И ANSYS MECHANICAL APDL

Искусственные нейронные сети построены по принципу сетей нервных клеток живого организма. В настоящее время искусственные нейронные сети широко применяются для решения проблем, которые не могут быть успешно решены с помощью традиционных подходов. Преимущества нейронной сети включают возможность предсказывать выходные параметры, даже если взаимодействие входных параметров не полностью изучено. Нейронные сети применяются в том числе для моделирования и оптимизации технологических процессов, прогнозирования качества, диагностики эффективности обработки. Применение созданных на основе нейронных сетей систем достаточно эффективно, сравнительно просто и не требует больших затрат. Эти возможности делают нейронную сеть полезным инструментом при исследовании различных технологий [[1–2](#)].

В ряде случаев при решении научно-практических задач оказывается эффективным сочетание возможностей нейросетевых технологий и метода конечных элементов, который реализован в программном комплексе ANSYS [[3–4](#)].

Программные продукты ANSYS используются ведущими компаниями мира при создании наукоемких изделий. Академическая программа ANSYS предлагает учебные материалы, а студенты имеют возможность воспользоваться бесплатными загрузками программного обеспечения [[5–6](#)].

В настоящее время для создания нейронных сетей самым популярным инструментом является TensorFlow – программный продукт, разработанный компанией Google. Несмотря на то, что существует множество интерфейсов, доступных в JavaScript, C ++, C #, Java, Python является основным языком программирования для работы с TensorFlow. Нужно отметить, что TensorFlow обеспечивает возмож-

ность использования графических процессоров (GPU) и компьютерных сетей, что значительно повышает скорость работы соответствующих алгоритмов. TensorFlow является низкоуровневым фреймворком, при этом пакет Keras является надстройкой над TensorFlow и значительно упрощает процесс проектирования нейросетей. При использовании программного интерфейса приложения Keras в действительности создается нейросеть на TensorFlow. [7–8].

Наиболее простой вариант применения программных продуктов TensorFlow и Keras предоставляет коллаборатория Google. Это специальный бесплатный сервис для работ с нейронными сетями. Преимущество такого варианта в том, что для работы нужен только браузер и выход в интернет [9]. В Google Colab используется интерфейс Jupyter Notebook (рисунок 1).

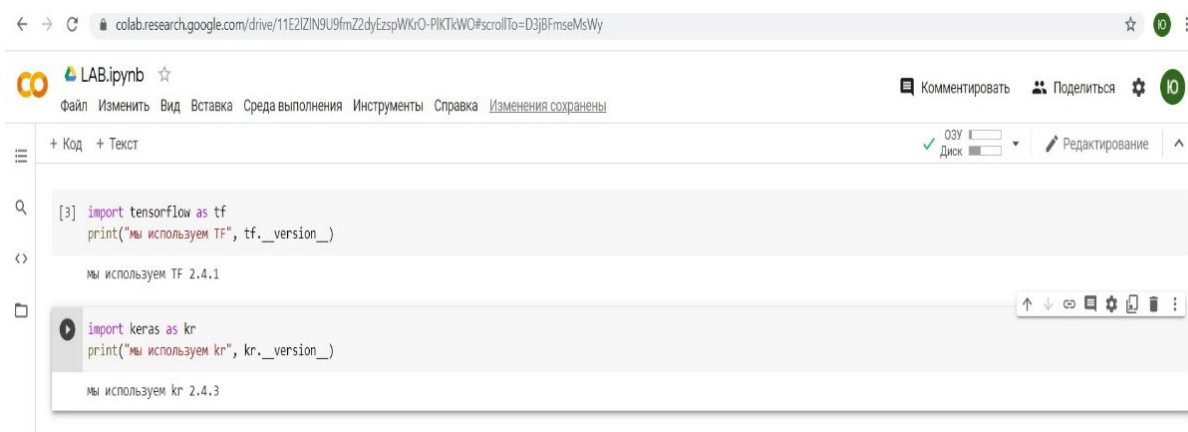


Рисунок 1 – Интерфейс Google Colab

На факультете физики и информационных технологий изучается дисциплина «Введение в технологии компьютерного моделирования» [10]. Представляется целесообразным разработку дополнительных лабораторных работ по совместному использованию при моделировании физических процессов программных продуктов Ansys, TensorFlow и Keras.

Применение в лабораторном практикуме данных работ в сочетании с разработкой соответствующих лекционных материалов и расширением тестовых заданий обеспечит более эффективное использования ЭУМК по дисциплине «Введение в технологии компьютерного моделирования».

Литература

1. Нгуен Мань. Повышение качества плоского шлифования деталей из высокопрочных коррозионно-стойких сталей высокопористыми нитридборовыми кругами: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / – Иркутск, 2017. – 176 с.
2. Mohd Idris Shah Ismail, Yasuhiro Okamoto, Akira Okada, Neural Network Modeling for Prediction of Weld Bead Geometry in Laser Microwelding, Hindawi Publishing Corporation Advances in Optical Technologies Volume 2013, Article ID 415837, 7 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/415837>.
3. Соловьев А. Н., Нгуен З. Ч. Занг, Идентификация круговых трещин, выходящих на поверхности труб с помощью сочетания метода конечных элементов и искусственных нейронных сетей. Экологический вестник научных центров ЧЭС, 2014. – № 1. – С. 76–84.
4. Светашков П. А. Оптимизация пространственных конструкции на основе гибридной нейросетевой программы: автореферат дис. ... канд. техн. наук: Красноярск, 2005. – 20 с.
5. Официальный сайт компании ANSYS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ansys.com/>. – Дата доступа: 10.03.2021.
6. Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.: ил.
7. Top 10 Deep Learning Frameworks in 2021 You Can't Ignore [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.upgrad.com/blog/top-deep-learning-frameworks>. – Дата доступа: 10.03.2021.
8. Andreas C. Mueller, Sarah Guido «Introduction to Machine Learning with Python» O'Reilly Media, 2016 год. – 400 с.
9. Что такое Colaboratory? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://colab.research.google.com>. – Дата доступа: 10.03.2021.
10. Никитюк Ю. В., Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Введение в технологии компьютерного моделирования». Регистрационное свидетельство №5142022849 от 23.06.2020.

А. А. Петегерич

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Н. Годлевская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

КОРРЕКЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ УЧАЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ

Физика – один из самых сложных учебных предметов, что обусловлено не только обширностью подлежащего изучению материала, высокими требованиями, предъявляемыми в программе к знаниям и практическим умениям, но и зависимостью результатов изучения физики от уровня математической подготовки учащихся. Значение математических знаний учащихся увеличивается и в связи с тем, что в Республике Беларусь повышается статус централизованного тестирования (ЦТ) как рейтингового экзамена. При этом структура тестов изменяется – с тенденцией к увеличению относительной доли заданий части В. При оценке письменных работ учащихся учитель начисляет то или иное количество баллов и за частично выполненное решение задачи. В условиях ЦТ такой возможности нет: задание считается выполненным только при условии указания правильного конечного ответа. По этой причине и вследствие неодинаковости критериев, которых придерживаются разные учителя при оценке знаний, при ЦТ школьные отметки часто не подтверждаются.

Чтобы системно и методически грамотно выстроить образовательный процесс и своевременно организовать коррекционную деятельность учащихся по физике и математике учитель физики (желательно, при тесном взаимодействии с учителем математики) должен по обоим предметам производить анализ структуры и содержания тестовых заданий, а также допущенных при их выполнении ошибок.

Анализируя результаты единого государственного экзамена (ЕГЭ) в России и результаты ЦТ в Беларуси, следует отметить, что учащиеся плохо справляются с решением качественных (в ЕГЭ) и расчетных задач. В таблице 1 приведены данные о результатах выполнения ЕГЭ за 2019 и 2020 год, разделенные по группам заданий в зависимости от способа действий [1]. Несложно заметить, что доля выполненных заданий, состоящих в решении задач, снизилась на 5,1%.

В результате анализа статистических данных по итогам ЦТ показано, что ежегодно экзаменуемые лучше всего справляются с заданиями, направленными на проверку знания основных формул и законов физики, умения производить простейшие расчеты с применением тех

формул, которые часто используются в процессе обучения. Вероятно, это обусловлено тем, что содержание тестовых заданий ЦТ, в отличие от ЕГЭ, не выходит за рамки школьной программы. У большинства тестируемых вызывают затруднения задания по физике, при выполнении которых требуется применение теоретических знаний в сочетании с практическими умениями из области математики. Прежде всего, это задания с выполнением действий с векторами, решением систем уравнений, действиями со степенными функциями, вычислениями и округлением результатов и т. д.; необходимостью работать с невербальными источниками информации (графиками, таблицами, схемами, схематичными рисунками); комплексным использованием знаний, полученных при изучении разных разделов курса физики, для решения комбинированных задач [2].

Таблица 1 – Результаты оценки умений учащихся на ЕГЭ по физике

Способы действий	Средний процент выполнения по группам заданий	
	2019 г.	2020 г.
Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях	67,5	67,7
Анализ и объяснение явлений и процессов	60,3	62,1
Методологические умения	61,2	70,9
Решение задач	25,8	20,7

Для лучшего понимания сущности проблемы подготовки учащихся к ЦТ по физике нужно принять во внимание и проблемы, выявленные при анализе итогов ЦТ по математике. Пробелы в знаниях – основная причина восприятия тестовых заданий части В из тестов ЦТ как «запредельно сложных» [3]. Большинство заданий части В построены на материале темы «Уравнения и неравенства», и подготовленные участники ЦТ демонстрируют умение решать системы линейных неравенств, квадратные неравенства, неравенства с модулем, логарифмические неравенства, системы рациональных уравнений, выбирать наиболее рациональный способ решения показательных, тригонометрических, иррациональных, комбинированных уравнений, а также текстовых задач. Ошибки при решении заданий данного раздела связаны с отсутствием четкого представления о понятиях системы и совокупности, о геометрическом смысле модуля, об алгоритме решения квадратных уравнений, о свойствах числовых неравенств.

С учетом результатов произведенного анализа можно выстроить оптимальную систему подготовки учащихся по физике, в том числе и

к ЦТ. Включая в урочные занятия и домашние задания комбинированные задачи по механике, электродинамике, основам молекулярно-кинетической теории и другим разделам, требуя построения чертежей, диаграмм, графиков, обоснованного решения с комментированием способа получения систем уравнений (линейных, квадратных), выбора системы координат (при работе с векторами и построении диаграмм состояний), учителю удастся создать условия не только для устранения пробелов в изучении физики, но и для пополнения математических знаний учащегося, для углубления его физико-математической подготовки с использованием межпредметной связи.

Апробировать собственные разработки автор сообщения имела возможность в ходе педагогической практики в восьмом классе ГУО «Гимназия № 14 г. Гомеля» – при подготовке и проведении уроков по разделу «Электромагнитные явления». На уроках решения задач с применением законов постоянного тока, закона Джоуля–Ленца и задач о расчете работы и мощности электрического тока отдавалось предпочтение комбинированным задачам, от учащихся требовали вычерчивания электрических схем, соответствующих условиям задачи, логического обоснования алгоритма действий по получению формулы для вычисления искомой величины, рациональных вычислений с соблюдением правил округления и оценкой правдоподобия полученного результата. Основанием для вывода об эффективности такого подхода являются результаты контрольной работы. Абсолютное большинство учащихся справились с заданиями, предложенными в контрольной работе; при этом ~ 60% полученных отметок не ниже семи баллов.

Литература

1. Демидова, М. Ю. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2020 года по физике / М. Ю. Демидова // Педагогические измерения – 2020. – № 3 – С. 92 – 113.

2. ЦТ : фізика. Најбольшіе трудности вызывають комбінірованне задачі / Упраўленне па распрацоўцы і сертыфікацыі тэстаў // Настаўніцкая газета, ад 21 студзеня 2020 г.

3. В математике не может быть пробелов / Управление по разработке и сертификации тестов // Настаўніцкая газета, ад 21 лютага 2010 г.

А. Ю. Савицкая

(БрГТУ, Брест)

Науч. рук. **Ю. В. Савицкий**, канд. техн. наук, доцент

МЕТОД АНАЛИЗА КАЧЕСТВА УЧЕБНЫХ ТЕСТОВ НА БАЗЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В настоящее время в сфере высшего технического образования наблюдается стремительное усиление интереса к автоматизации промежуточного и финального контроля результатов обучения студентов. Наиболее актуальным методом такого контроля является тестирование, основанное на диалоге вычислительной системы с пользователем [1]. Стремительный рост быстродействия компьютерных систем, появление мощных систем программирования, а также возрастающие из года в год требования к техническим знаниям специалистов увеличили потребность в производительных и объективных тестирующих системах.

В то же время детальный анализ существующих систем выявил ряд недостатков, значительно ограничивающих эффективность их практического использования в процессе обучения. Один из наиболее существенных недостатков связан с различным уровнем качества тестовой выборки (по критериям адекватности, сложности, определенности, однозначности и т.д.), предъявляемой слушателю для контроля знаний. Как показывает опыт, тестовое множество не является однородным в контексте критериев качества. Типичными ситуациями здесь являются: некорректная (слабо понимаемая) формулировка тестового задания, вариантов ответов; слабое отличие правильного и неправильных вариантов ответов; большое различие в сложности заданий и др. Наибольшую актуальность приобретает поставленная задача в случае организации тестового множества большого объема (несколько сотен вопросов), включающего несколько тематик и формируемых различными лицами (например, тестовые наборы для проведения комплексных экзаменов). Очевидно, что с этой точки зрения проблема оценивания качества тестовой выборки, являясь достаточно актуальной, относится к категории плохо формализуемой задачи, в связи с чем для ее решения предлагается использовать аппарат искусственных нейронных сетей (НС).

Нейропостановка и решение задачи исследования. В контексте поставленной задачи в качестве базовой архитектуры предлагается использовать гетерогенную многослойную НС с нейронами сигмои-

дального типа в скрытом слое и линейными нейронами выходного слоя сети [2, 3]. При этом количество M элементов входного рецепторного слоя должно соответствовать количеству наблюдаемых параметров (факторов оценки качества тестовой выборки), используемых для построения нужного отображения. Размерность L выходного вектора НС определяется количеством параметров, выбираемых исследователем для оценки теста.

Для обучения НС применяется алгоритм обратного распространения ошибки (и его более быстродействующие модификации), использующий метод градиентного спуска для минимизации функции среднеквадратичной погрешности [4]. Благодаря высокой точности алгоритм позволяет достигать малой погрешности обучения, что является крайне важным фактором для решения большинства практических задач в нейросетевом базисе. Пусть для обучения сформировано обучающее множество, состоящее из пар векторов $T = \{X_p, D_p\}$, $p=1, \dots, P$ размерностью, соответствующей количеству входов и выходов сети. Тогда задача процедуры обучения заключается в адаптации параметров сети (синаптических связей нейронов) таким образом, чтобы на любой входной вектор X_p обучающей выборки было сформировано корректное отображение Y_p , отличающееся от желаемого D_p с минимальной ошибкой [4].

На основании вышеприведенного сформулируем предлагаемый подход генерации адаптивной модели для оценки качества тестовых заданий.

1) Выполнить инициализацию трехслойной гетерогенной нейронной сети, с количеством входных элементов M равным количеству вариантов ответов тестового задания, с количеством выходных нейронов L , равным размерности оценочной шкалы.

2) Сформировать обучающее множество T на основе эталонной тестовой выборки. Для этого обеспечить формирование набора типичных эталонов, покрывающих по характеристикам качества шкалу оценок. Программное обеспечение тестовой системы должно предусматривать сбор необходимой статистики для формирования как эталонной тестовой выборки для обучения НС, так и получение соответствующих данных, используемых НС на этапе экспертного оценивания качества тестовой выборки в целом. Например, такими данными могут являться относительные частоты событий, характеризующих, по мнению исследователя, качество тестового задания. Выходные

эталонны содержат значения, соответствующие определенному рангу качества эталона.)

3) Выполнить обучение нейронной сети до достижения приемлемой погрешности.

В процессе обучения реализуются обобщающие свойства нейронной сети, на основании чего модель способна пролонгировать результаты обучения и в процессе функционирования выполнить задачу эксперта: путем сканирования имеющихся тестовых наборов выдать оценки качества тестовых заданий.

Предлагаемый в работе подход к организации модели оценки тестовых выборок имеет следующие особенности: дает возможность динамически, по мере необходимости изменять обучающую выборку оценок, а, следовательно – адаптивно изменять свойства функции оценки; позволяет избежать формализации модели оценивания; инвариантен относительно критериев оценивания. В данном контексте подход может быть более широко применен в задачах оценки качества тестирования программного обеспечения различного назначения.

Вместе с тем нейросетевые модели обладают повышенной временной сложностью процесса обучения, высокими требованиями к репрезентативности обучающего множества, что обуславливает необходимость наличия определенных навыков в использовании НС при решении практических задач подобного класса [4].

Литература

1. Моисеев В. Б., Усманов В. В., Таранцева К. Р., Пятирублевый Л. Г. Оценивание результатов тестирования на основе экспертно-аналитических методов // "Открытое образование", №3. – 2001. – с.32–35.
2. Kroese B. An Introduction to Neural Networks. – Amsterdam: University of Amsterdam. – 1996. – 120 p.
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И. Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 334 с.
4. V. Golovko, Y. Savitsky, N. Maniakov. Neural Networks for Signal Processing in Measurement Analysis and Industrial Applications: the Case of Chaotic Signal Processing // chapter of NATO book "Neural networks for instrumentation, measurement and related industrial applications". – Amsterdam: IOS Press, 2003. –pp. 119–143.

А. Ю. Савицкая

(БрГТУ, Брест)

Науч. рук. **Ю. В. Савицкий**, канд. техн. наук, доцент

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ АНИМАЦИОННЫХ ПРОГРАММ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Одним из приоритетных направлений в области повышения качества обучения техническим дисциплинам является разработка и внедрение инновационных образовательных технологий, основанных на применении современных аппаратно-программных средств вычислительной техники. Практика применения компьютерных обучающих систем совместно с традиционными средствами обучения демонстрирует существенное улучшение качества знаний и навыков слушателей. При этом на первый план выходит задача принципиально нового построения содержания учебного материала, деятельности преподавателя и учебной работы студента в компьютерной среде.

В контексте данной задачи наиболее перспективным направлением можно считать использование интерактивных анимационных программ (ИАП) и элементов виртуальной реальности. Они позволяют слушателю самостоятельно исследовать процессы, протекающие в изучаемом объекте, понять основные закономерности, получить всестороннее представление об излагаемом материале. Часто компьютерная анимация позволяет наглядно представить материал, словесное описание которого объемно и достаточно сложно для восприятия, а показ на натурном образце невозможен или затруднен (например, физические, информационные процессы и др.). Важным положительным свойством ИАП является возможность визуализации функционирования таких объектов и систем, в которых работа различных взаимосвязанных в систему компонентов полностью или частично совмещена во времени. Большим достоинством ИАП также является возможность имитации и моделирования протекания различных явлений и процессов в реальном, ускоренном или замедленном масштабах времени; это позволяет акцентировать внимание обучаемого на принципиальных моментах функционирования системы. ИАП предлагают обучаемому не «прочтение» с помощью компьютера целого курса или его фрагментов, а более высокий уровень представления в учебном процессе самого осваиваемого объекта.

Таким образом, по мнению автора, ИАП являются одним из важнейших компонентов современных электронных учебно-методических материалов, а процесс их проектирования и разработки – как правило, один из самых сложных в практике создания электронно-обучающих систем. Опыт автора в области разработки технических ИАП позволил сформулировать следующие ключевые этапы, позволяющие осуществить системный подход к проектированию и разработке анимационных средств обучения:

- 1) детальный анализ объекта анимации – предполагает всестороннее исследование натуральных образцов (моделей) и их характеристик (методов, алгоритмов, чертежей, схем функционирования объекта), технической документации, фотографий, видеоматериалов и других информационных источников;
- 2) выделение принципиальных (ключевых) событий функционирования объекта – имеет своей целью обобщить информацию об объекте и определить перечень сцен, которые, с научно-методической точки зрения, в наибольшей степени отражают специфику работы исследуемого объекта;
- 3) определение структуры динамических сцен в ИАП и построение графа переходов;
- 4) предварительная разработка сценариев динамических иллюстраций. Реализация данного этапа предполагает: детализацию сцен до уровня отдельных компонентов; проектирование интерфейса взаимодействия с пользователем; определение расположения основных и периферийных объектов в окне сцены; решение вопросов изображения крупным планом принципиальных компонентов сцен и схематизации иных визуальных объектов, наличие которых в сцене необходимо для понимания слушателем принципа функционирования системы в целом;
- 5) проектирование и разработка отдельных базовых элементов динамических сцен (конкретных объектов, систем, подсистем и др.) – осуществляется, как правило, с использованием программных систем векторной графики. При этом положительным свойством анимационных инструментов является возможность импортирования готовых компонентов. Важным аспектом разработки на данном этапе является ведение и использование библиотек базовых элементов, что во многих ситуациях позволяет унифицировать и существенно снизить трудоемкость программирования сцен;
- 6) программирование видеоматериалов сцен, включающее в себя разработку опорных (ключевых) кадров и анимационных переходов между ними;
- 7) программирование обработчиков элементов управления сценами с использованием встроенного языка анимационного редактора;

8) обязательная разработка подсистемы методических указаний, включающих детальные описания характеристик и принципов работы исследуемого объекта, элементов управления анимацией и правил их использования для демонстрации возможных режимов работы объекта. Отсутствие в программе информации подобного типа в ряде случаев превращает анимацию в «головоломку», снижая практически до нуля обучающий эффект от разработки; 9) согласование сцен и интегрирование в единую систему; 10) обязательное тестирование полученного варианта системы с привлечением в качестве экспертов лиц соответствующей квалификации; 11) опубликование, защита и электронное тиражирование ИАП.

Разработанные автором принципы построения ИАП были практически реализованы в интерактивных обучающих программных системах: «Маршрутизация потоков в базовой сети обмена данными» и «Принципы межсетевого взаимодействия по протоколу без установления соединения Internet Protocol (IP)». Данные системы представляют собой программные комплексы для исследования принципов межсетевого взаимодействия и адаптивной маршрутизации в объединенных гетерогенных IP-сетях; позволяют на базе современных средств информационных технологий обеспечить всестороннее изучение наиболее сложных динамически протекающих многоуровневых процессов передачи и маршрутизации в вычислительных сетях TCP/IP [1] с активным участием обучаемого. Очевидно, что специфика данного материала (при его представлении в традиционной форме) создает объективные затруднения в его комплексном понимании.

Таким образом, современные информационные технологии предлагают сегодня широкие возможности для создания высокоэффективных компьютерных средств, позволяющих внедрять в образовательный процесс активные методики обучения. Однако, важно понимать, что наилучший эффект может быть достигнут только при использовании компьютерных разработок в совокупности с традиционными, проверенными временем и практикой, методами обучения.

Литература

1. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2016. – 992 с.

А. Д. Садловский, Д. А. Буланов, В. А. Никитюк
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Ю. В. Никитюк**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА И ПОСТАНОВКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НА ТЕМУ «РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ANSYS MECHANICAL APDL»

Изучение студентами технологий компьютерного моделирования на базе изучения систем автоматического инженерного анализа (CAE – Computer Aids Engineering) необходимо не только для выполнения качественного моделирования систем различной физической природы, но и для определения отклика этих систем на внешние воздействия в виде распределения напряжений, температур, скоростей, электромагнитных полей и т.д. Использование таких программных продуктов позволяет сократить цикл разработки, снизить стоимость изделий и повысить качество продукции. Это обуславливает необходимость подготовки специалистов, владеющих современными программными комплексами инженерного анализа [1].

Программный комплекс Ansys используется для компьютерного моделирования во многих университетах мира, что обеспечивает возможность учащимся осваивать современные методы компьютерного моделирования и применять их при подготовке своих квалификационных работ. При этом у студентов есть возможность использования учебных версий программы.

На факультете физики и информационных технологий программа ANSYS применяется при изучении дисциплины «Введение в технологии компьютерного моделирования» [2–3].

ANSYS обеспечивает возможность решения методом конечных элементов стационарных и нестационарных, линейных и нелинейных задач из таких областей физики, как теплопередача, механика деформируемого твердого тела, механика жидкости и газа, электродинамика и др. При этом основная часть лабораторных работ этой дисциплины посвящена решению задач о нахождении тепловых и термоупругих полей.

В связи с этим возникла необходимость модернизации существующего учебного курса и подготовки дополнительных лабораторных работ на тему «Расчет электромагнитных полей в ANSYS Mechanical APDL».

Система помощи программы ANSYS содержит достаточно большое количество учебных примеров, в том числе по расчету электромагнитных полей (рисунок 1) [4]. Частично их адаптированные версии приведены в работе [5].

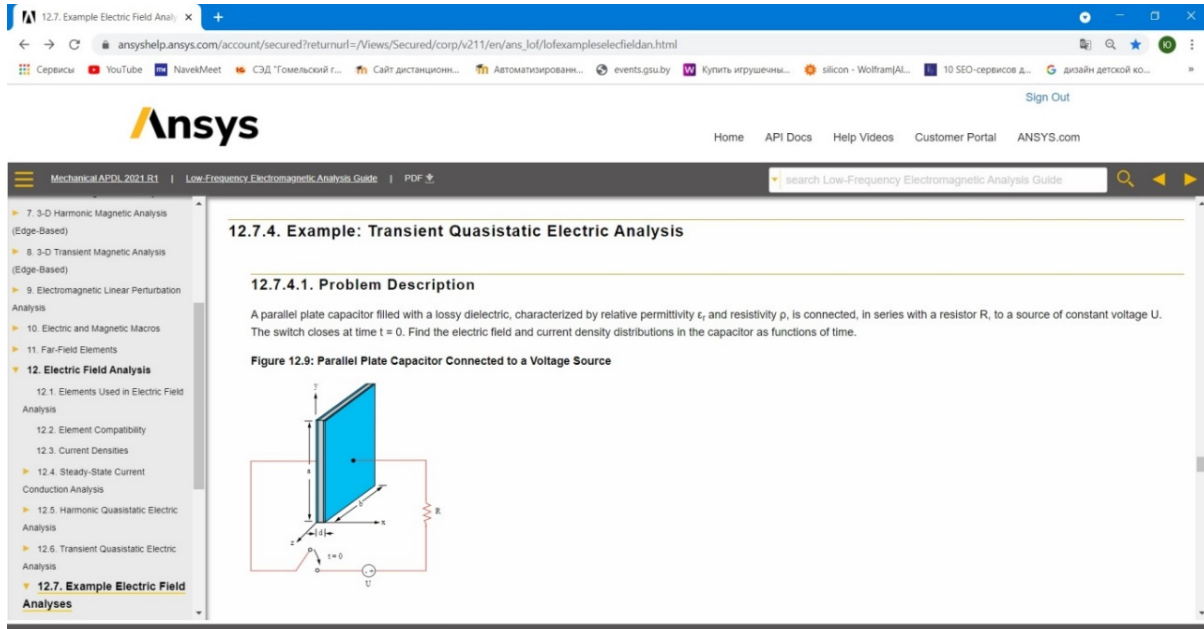


Рисунок 1 – Учебные материалы ANSYS

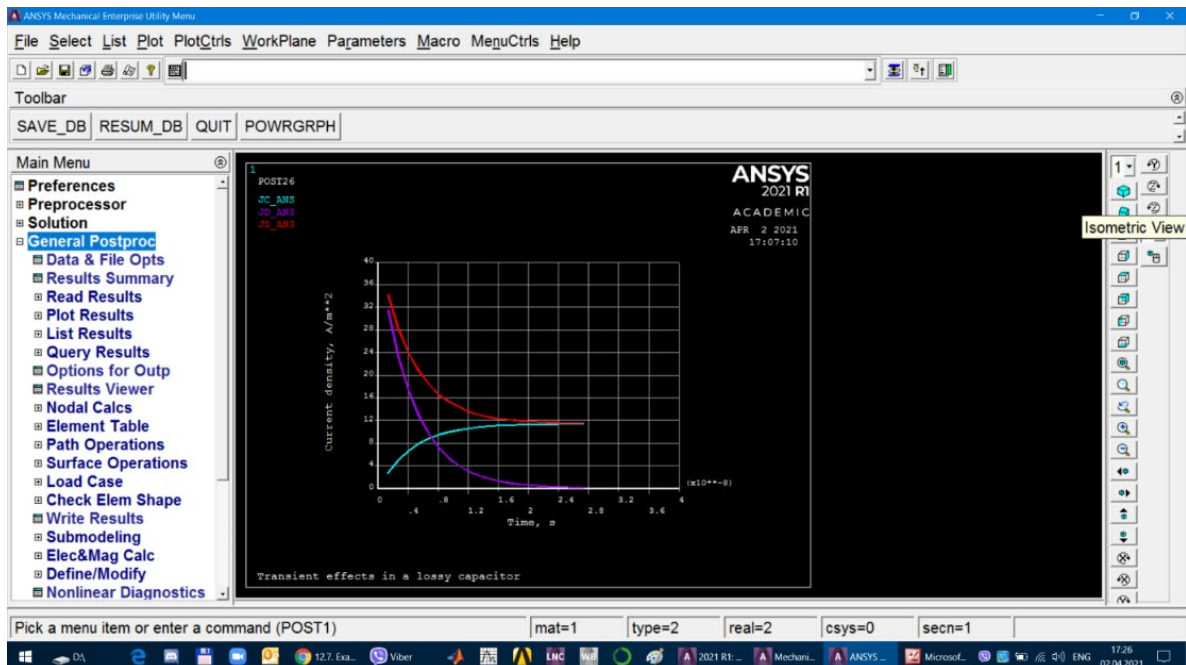


Рисунок 2 – Результат выполнения учебного примера

Применение подготовленных лабораторных работ в сочетании с разработкой соответствующих презентаций лекций и тестовых зада-

ний обеспечит повышение эффективности ЭУМК по дисциплине «Введение в технологии компьютерного моделирования».

Литература

1. Цифровая трансформация и всеобъемлющее инженерное моделирование с помощью ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.integral-russia.ru/>. – Дата доступа: 10.03.2021.
2. Введение в технологии компьютерного моделирования : практ. пособие / сост. Ю. В. Никитюк, А. А. Середа, С. В. Шалупаев; Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2019. – 44 с.
3. Никитюк Ю. В., Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Введение в технологии компьютерного моделирования». Регистрационное свидетельство №5142022849 от 23.06.2020.
4. Официальный сайт компании ANSYS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ansys.com/>. – Дата доступа: 10.03.2021
5. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS, Учебное пособие для студентов вузов. М.: Академия, 2006, 288с.

С. Д. Сидский

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФРОНТАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Повышение эффективности урока физики в большей мере связано с совершенствованием учебного физического эксперимента, составной частью которого являются фронтальные лабораторные работы.

Ведущими учеными в области методики физики признанно, что на лабораторные и другие практические занятия должно быть выделено менее 25% учебного материала. В связи с этим рекомендуется увеличить число кратковременных фронтальных блоков, которые позволяют практически ознакомить учащегося с приборами и обеспечить предварительную обработку наиболее трудных этапов лабораторных работ, увеличивая время работы их с приборами.

С целью активизации деятельности учащегося в процессе выполнения фронтальных лабораторных работ некоторые учителя, в ряде случаев, выяснив с учащимся цель предстоящей работы, предлагают самостоятельно составить план ее выполнения. После составления плана они сознательно приступают к ее выполнению. Этот методический прием оправдывает себя в значительно большей степени, чем выполнение работ по готовым инструкциям.

Большая часть фронтальных лабораторных работ выполняется учащимися после прохождения соответствующих тем. В таких работах почти полностью отсутствует элемент наследования, что не способствует привитию интереса к физике. Исследовательский характер таким работам может быть придан, если дополнить их некоторыми отдельными задачами, например, при выполнении работы по определению поверхностного натяжения жидкости можно дополнительно предложить учащимся выяснить, как зависит поверхность натяжения от температуры воды.

С этой же целью ряд работ в старших классах можно провести при наличии кратких инструкций или вообще без них.

С целью совершенствования методики проведения лабораторных работ необходимо выполнять их не только после объяснения нового материала, но и в процессе его объяснения или перед объяснением, обращать больше внимания на отработку конкретных практических умений и навыков, настойчиво прививать учащимся навыки общей культуры, совершенствовать методику оценки лабораторных работ.

Из всех программных лабораторных работ некоторые из них целесообразно провести в процессе или до объяснения нового материала. Например: в 7-ом классе это могут быть такие темы как – «Измерение силы трения, скольжения и сравнение ее с весом тела», «Определение выталкивающей силы, действующей на погруженное в жидкость тело», «Вычисление условий равновесия рычага»; в 8-ом – «Сравнение количества тепла при смешивании разной температуры», «Наблюдение за процессом плавления и отвердевания кристаллического тела» и т.д.; в 9-ом – «Изучение движения тела, брошенного горизонтально», «Выяснение условий равновесия тел под действием нескольких сил» и т.д.; в 10-ом – «Наблюдение действия магнитного поля на ток», «Изучение явлений электромагнитной индукции» и т.д.; в 11-ом – «Наблюдение интерференции и дифракции света», «Наблюдение линейного спектра» и т.д.

К. И. Филипенко

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. В. Шалупаев**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РОЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ УЧАЩИХСЯ СРЕДНИХ ШКОЛ

В жизни современного общества роль физики трудно переоценить. Физика лежит в основе всего научно-технического прогресса. В средней школе физический эксперимент основной метод обучения, как и в физической науке в целом, но заключающийся в изучении природных явлений в специально подготовленных условиях [1–6].

В школах физике уделяется явно недостаточно времени – всего 2 занятия в неделю, это приводит к тому, что объяснить учащемуся ту или иную тему бывает сложно, не столько из-за нехватки, сколько интереса учащихся к предмету, столько из-за нехватки времени на более детальное изучение конкретных вопросов. Одним из способов решения этой проблемы является активное использование экспериментальные задачи по физике. Они дают учащимся наглядно увидеть физические законы, вызывают спектр различных эмоций, что приводит к повышению внимания и лучшему запоминанию темы, развивает умения самостоятельной работы учащегося и устраняются недопонимание по теме.

Экспериментальные задачи желательно использовать уже с самого начала изучения физики, так как они оказывают положительный эффект на понимания учащихся связи теории с реальностью. Тем более что физический эксперимент проводятся самими учащимися, так как эксперимент дает им возможность освоить основные физические понятия, такие как сила, давление, механическая работа и так далее. То есть решение экспериментальных задач необходимо применять вместе с другими традиционными методами обучения

Экспериментальные задачи также полезны и для классов, которые еще не начали изучать физику, так как эксперимент даст им такие основные понятия как давление, сила давления, механическая работа и другие. Но обучение, основанное на использовании большого количества экспериментальных задач в ущерб других методов преподавания физики, имеют отрицательный результат так, как они служат для показания физических законов в действии, выявляя их объективности.

Методика решения экспериментальных задач может быть представлена в следующем образом:

1. Тщательное изучение условия задачи и анализ предлагаемого оборудования. Необходимо сформулировать цели, которых необходимо достичь в результате эксперимента физические величины, которые должны быть при этом определены. Если задание предполагает экспериментальную проверку формулы или закона, необходимо уточнить зависимости, какие именно зависимости следует получить.

2. Кинетическое описание модели рассматриваемого явления. Если задача достаточно сложна необходимо, привести вид искомых зависимостей при этом желательно графическое представление результатов, следует отметить необходимость приведения достаточно числа измерений для построения функциональной зависимости с достаточной степенью точности.

3. Сборка экспериментальной установки. При сборке электрических цепей необходимо графическое изображение установки, то есть практически следует нарисовать принципиальную электрическую схему устройства, оптических установках необходимы графические изображения хода лучей, все установки должны быть надежны и устойчивы, а измерительные приборы устойчивы в своих показаниях и удобны в работе.

4. Приведение измерений и обработка их результатов. Здесь учащиеся должны использовать свои навыки приобретенные на уроках физики.

5. Анализ сопоставимости теоретических результатов с экспериментальными измерениями, при этом не следует ждать полного соответствия между ними.

Литература

1. Тарасова Н. М., Петрова Р. И. Методика обучения учащихся решению экспериментальных задач по физике // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 2.

2. Абекова Ж. А., Оралбаев А. Б., Серикбаева Г. С., Ермаханов М. Н. Преимущества и значение экспериментальных задач для усвоения теоретического материала по физике // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 3. – С. 7–9.

3. Слободянюк, А. И. Физика. Экспериментальные задачи в школе / А. И. Слободянюк. – 2011. - С.10-38.

4. Уокер Дж. Физический фейерверк/ Дж. Уокер. – 2-е изд. Перевод с английского А. С. Доброславского под ред. И. Ш. Слабодецкого. – Москва, 1989.

А. В. Чернова

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. В. Шалупаев**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИНДУКТИВНЫЙ И ДЕДУКТИВНЫЙ МЕТОДЫ ОБЪЯСНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ

Методика преподавания физики многогранна. Такие методы преподавания как беседа и фронтальные лабораторные работы являются наилучшим средством для ознакомления учащихся с физическими законами. Их не может заменить никакое самое образное и точное описание явления. Однако, задача каждого из методов преподнесения информации – раскрывать логику движения содержания учебного материала.

Для наглядного примера рассмотрим индуктивный и дедуктивный методы изучения газовых законов, соответственно выделим два вида раскрытия содержания рассматриваемой темы – от частного к общему и от общего к частному. Целью урока будет являться получение и формулировка газовых законов, формирование понятия «изопроецесс», а также развитие навыков экспериментальной работы. Данная тема в средней школе изучается в 10 классе после изучения основ молекулярно-кинетической теории и введения понятия температуры.

1. Индуктивный метод изложения газовых законов.

Индуктивный метод – это метод исследования, познания, связанный с обобщением результатов наблюдений и эксперимента, то есть познание от частного к общему; от знания меньшей степени общности к знанию большей степени общности.

Деятельность преподавателя изначально заключается в актуализации опорных знаний. Например, предложением учащимся ответить на вопросы, подводящие к изучаемой теме («Какие макропараметры характеризуют состояние идеального газа?», «Как записывают уравнение состояния идеального газа при неизменных массе и молярной массе?» и т.д.). Далее для обеспечения наилучшего восприятия учащихся, повышения их уровня заинтересованности, продемонстрировать баллон любого аэрозоля и поставить перед учащимися проблемные вопросы («В каком состоянии вещество содержится в баллоне?», «Какой параметр здесь постоянен?», «Что будет происходить с веществом в баллоне, если один из параметров остаётся постоянным, а два других изменяются?»). Наглядные примеры и ситуации подводят учеников к формулировке темы и цели урока.

Все законы, в том числе и законы Бойля – Мариотта, можно продемонстрировать с помощью опыта с цилиндром переменного объема (рисунок 1).

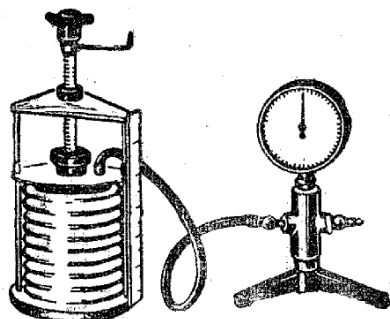


Рисунок 1 – Схема установки

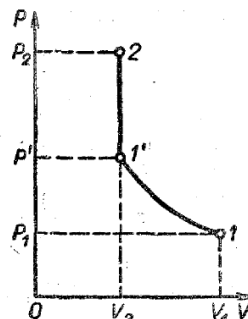


Рисунок 2 – График зависимости

Целесообразно, по данным опыта, построить график зависимости давления от объема и обсудить с учащимися возникновение погрешности опыта и ее границы. Вводится закон Шарля, через фокусирование внимания учащихся на давление при температуре 0°C и его изменение при увеличении температуры на один градус.

Далее выводится уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона) с использованием двух частных газовых законов. Например, законы Бойля – Мариотта и Шарля. Записывают закон Шарля в виде:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Строится график (рисунок 2) и описываются переходы состояния газа из одной точки в другую.

После чего получают:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \text{или} \quad \frac{pV}{T} = \text{const.}$$

Из уравнения состояния идеального газа получают закон Гей – Люссака, считая давление постоянным. Уравнение Менделеева – Клапейрона получают из уравнения Клапейрона.

Учитель вводит понятие «изопроецесс». Рассмотрение изопроецессов ($T=\text{const}$ – изотермический, $p=\text{const}$ – изобарный, $V=\text{const}$ – изо-

хорный) происходит с помощью заполнения таблиц и построения графиков.

Недостатком индуктивного метода служит то, что для описания свойств идеального газа не используются уравнения и положения молекулярно-кинетической теории. Но данный способ изложения материала понятен и доступен для обучающихся и не требует высокого уровня абстрактного мышления.

2. Дедуктивный метод получения газовых законов.

Дедуктивный метод в преподавании основывается на объяснении с помощью математической логики. Вначале идет презентация экспериментального результата, а потом следует его развертывание в получении частных закономерностей и упражнения на их отработку (от общего к частному). Уравнения для изопроцессов рассматриваются как следствия уравнения состояния идеального газа.

Вначале следует активизировать знания основ молекулярно-кинетической теории и напомнить смысл понятия температуры, далее выводятся основное уравнение молекулярно-кинетической теории и уравнение состояния идеального газа, как следствия уравнения Клапейрона – Менделеева, а затем вводится понятие изопроцессов (изотермический, изобарный, изохорический процессы) и даются словесная формулировка и математическая запись газовых законов. Полученная информация закрепляется решением задач и построением графиков.

Дедуктивный метод преподавания имеет некоторые преимущества над индуктивным. За время, выделенное на рассмотрение газовых законов, возможен более глубокий охват изученного материала. Учащиеся тренируются в выдвижении гипотез и получении выводов из проверяемых следствий, способности их доказать или опровергнуть. Однако индуктивный метод лучше подготовит учащихся к экспериментальным исследованиям.

Индуктивный и дедуктивные методы преподавания газовых законов формируют у учащихся средней школы научное мировоззрение и развивают мышление. Однако не следует абсолютизировать один из данных методов так как они дополняют друг друга. Должно быть найдено их рациональное сочетание. Индуктивный - лабораторного типа, а дедуктивный, в свою очередь, к точным подсчётам и выводам нужных формул.

Литература

1. Каменецкий, С. Е. Теория и методика обучения физике в школе, Частные вопросы / С. Е. Каменецкий, Н. С. Пурьшева, Т. И. Носова. – М.: Академия, 2000. – 381с.
2. Горячкин, Е. Н. Методика обучения физике (Том 1. Общие вопросы методики) / Е. Н. Горячкин, 1948. – М.: Учпедгиз. – 496 с.
3. Каменецкий, С. Е. Теория и методика обучения физике в школе, Частные вопросы / С. Е. Каменецкий, Н. С. Пурьшева, Н. Е. Важеевская. – М.: Академия, 2000. – 367с.

Содержание

Для перехода к тексту материалов перейдите по гиперссылке
на соответствующем докладе

Секция 1 «Новые материалы и технологии»

Абукара Т. А. Подход к разработке программного средства для расчета лимитов на банки-контрагенты.....	9
Акулич В. А., Лапцевич Н. А., Патапович М. П. Оценка общего содержания кальция в образцах плазмы крови человека методом атомно-эмиссионной спектроскопии.....	11
Алифировец Н. Н., Корольков А. С., Заболотный О. Д. Исследования содержания воды в синтетическом моторном масле Shell марки 5W40.....	14
Алифировец Н. Н., Корольков А. С. Исследование содержания механических примесей в синтетическом моторном масле Shell марки 5W-40.....	16
Анисимов С. А., Ковалёва Я. А. Разработка приложения для анализа распределения частиц фторопласта по размерам на основе алгоритма «Лесного пожара».....	20
Анискевич В. Э., Славинский И. Ю. Получение цветных изображений на поверхности нержавеющей стали методом лазерного окисления.....	23
Беглик В. В., Кривошеев П. Д., Охрименко И. П. Детектор гравитационных волн на основе системы спутников S-LIGOxR-Gy.....	26
Бельков Е. А. Разработка устройства для прецизионного измерения температуры на основе ядерного квадрупольного резонанса.....	29
Бердиев А. Г. Оптические свойства тонкопленочных поляризаторов на основе поливинилового спирта и тугоплавких оксидов.....	32
Божко Е. И., Линько Р. А. Исследование изменения содержания механических примесей в синтетическом моторном масле марки MOTUL SAE 5W30 в зависимости от пробега транспортного средства.....	35
Брундуков А. С., Шилько И. С. Современные полимерные композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетона и технология их переработки.....	38

Буланов Д. А., Садловский А. Д., Никитюк В. А. Проектирование системы видеонаблюдения на предприятии.....	41
Бурова В. Ю., Заболотный О. Д. Исследования содержания воды в полусинтетических моторных маслах марки SAE 10W40	44
Воляк Е. В., Алифировец Н. Н., Корольков А. С. Исследование изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40.....	46
Ворошкевич Д. С. Имобилизованные фотокатализаторы на основе диоксида титана для очистки воды.....	49
Гарбарук В. Ю. Исследование эффективности фильтрующих элементов на основе стекловолокна для очистки сжатого воздуха от масляного тумана.....	52
Гвоздовский Д. Ч., Баранова М. С. Поверхностные плазмон-поляритонные волны на границе раздела «графен / диэлектрическая подложка».....	55
Гончаров А. С. Исследование коррозионной стойкости стали с нанокпозиционным покрытием на основе хрома.....	58
Гришкевич Е. В. Исследование влияния наночастиц индия на интенсивность аналитических спектральных линий плазмы латуни.....	61
Громыко И. Л., Белькин В. О. Применение искусственного интеллекта для диагностики неисправностей трансформатора... Джумаев Б. Г. Влияние природы подложки на оптические свойства многослойных покрытий на основе оксидов циркония и кремния.....	64
Дун Лэй Голографическая интерферометрия на основе кристалла силиката висмута.....	67
Ермак О. К., Заболотный О. Д., Нестер С. С. Исследование изменения содержания механических примесей в полусинтетических моторных маслах, используемых в бензиновых двигателях.....	69
Ермак О. К., Заболотный О. Д. Изучение изменения плотности полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях.....	72
Ермакова А. Е. Плотность защитных порошковых покрытий... Заболотный О. Д., Тонко Ю. Ю. Исследование температуры вспышки полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40.....	75
	78
	81

Заболотный О. Д. Исследование кинематической вязкости полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях внутреннего сгорания.....	83
Запорожченко Ю. В., Аксютин А. В. Обработка поверхности материалов биомедицинского назначения в плазме при атмосферном давлении.....	86
Зглюй А. А. Структурные свойства тонких пленок Cu_2ZnSnS_4 , синтезированных методом спрей-пиролиза.....	89
Зырянова А. С. Влияние термической обработки на характеристики тонких пленок диоксида гафния.....	93
Капцевич И. В., Валюк А. Ю., Струк А. В. Композиционные материалы на основе регенерированных термопластов.....	96
Кисель О. В., Чарьев Д. Р. Оценка сложности автобусного городского маршрута.....	99
Клакевич М. С. Особенности спектральной диагностики процессов удаления фоторезистивных пленок в плазме ВЧ и СВЧ разрядов.....	101
Клочко П. В., Вань Сюеминь, Лесун А. Н. Композиционные материалы для изготовления функциональных конструкций.....	104
Ковалец А. В. Программа тестирования по курсу «Основы программирования мобильных систем».....	107
Койпиш Е. В. Анализ влияния параметров процесса плакирования обратным выдавливанием на условие схватывания.....	108
Комяк К. Г. Преобразование поляризации лазерного излучения дифракционными жидкокристаллическими элементами.....	111
Конакова О. В. Перспективы разработки биоутилизируемых материалов нового поколения.....	114
Корольков А. С., Алифировец Н. Н., Заболотный О. Д. Исследование изменения плотности синтетического моторного масла Shell марки 5W40.....	117
Корольков А. С., Алифировец Н. Н. Исследование изменения щелочного числа синтетического моторного масла марки Shell SAE 5W40, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания.....	120
Курьян Н. Н. Исследование элементного состава надземной части и клубней картофеля.....	123
Курьян Н. Н. Исследование элементного состава различных типов почв.....	126

Лахмицкий Н. В. Исследование кинетики процесса окисления ультрадисперсных алмазов детонационного синтеза при отжиге на воздухе.....	129
Левончук Н. В. Создание систем тестирования.....	134
Линько Р. А., Медведева Н. В. Исследование изменения щелочного числа синтетического моторного масла марки Motul SAE 5W30, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания.....	135
Линько Р. А. Исследование изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Motul SAE 5W30....	138
Лысенко Д. А. Реологические свойства композиций на основе низкоплавких полиэфирных смол.....	141
Магомедов Н. О. Анализ тепловыделения от пластической деформации в зоне соединения при плакировании.....	143
Малашенко Е. А. Проектирование системы видеонаблюдения в торговом центре.....	147
Малец М. А., Рябцева А. С. Применение атомного спектрального анализа для определения концентрации магния в образцах биологических жидкостей человека.....	151
Манцевич В. Г., Линько Р. А. Исследование изменения содержания воды в синтетическом моторном масле марки Motul SAE 5W30 в зависимости от пробега автомобиля.....	154
Маркевич Я. Я., Линько Р. А., Заболотный О. Д. Сравнительный анализ изменения плотности моторных масел, используемых в бензиновых двигателях.....	157
Медведева Н. В., Заболотный О. Д. Определение индекса вязкости полусинтетических моторных масел SAE 10W40 при эксплуатации легковых транспортных средств.....	160
Нгуен Куанг Шан Метод эквивалентных фотонов для модулированного пучка электронов.....	163
Николаев М. В. Математическая модель автоматизированной системы оптимизации работы маршрутного такси.....	166
Охрименко И. П. Геостационарные системы детектирования гравитационных волн S-LIGO-NxR-Gy.....	169
Пантелеева Е. П. Волноводные электрически управляемые планарные жидкокристаллические элементы.....	172
Песецкий В. А., Алифировец Н. Н., Корольков А. С. Определение кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell марки SAE 5W40.....	175

Пилипович А. С. Дуальная флуоресценция 10-гидроксиакридин (1,8) дионов в полярных растворах.....	178
Рудько О. С. Построение технологического комплекса интеграционного взаимодействия распределенных систем.....	181
Сазанков А. П. Расчетно-экспериментальное исследование вязкоупругих свойств шинных резин.....	182
Свечко А. Д. Люминесценция в системах, содержащих графеновые квантовые точки с люминолом и окислителями...	185
Сернов Н. А. Использование сверхпроводящих материалов в магнитах.....	189
Слепенков Д. В. Создание трёхпикового поглотителя в диапазоне 1–6 ГГц.....	191
Сомов П. В. Киральные метаматериалы на основе волнистых поверхностей.....	194
Стрельченко Е. В. Получение данных о погоде с помощью модуля PYOWM.....	197
Судан А., Губар С. В. Особенности FDM-печати изделий на основе углепластика УПА 6-10.....	199
Сумаренко А. М., Лычковский В. В. Оптические и акустические спектры плазмы при импульсном лазерном воздействии на кремний и медь в воздухе.....	201
Тимофеенко А. А. Проблемы рециклинга вторичных полиуретанов.....	205
Тихон О. И. Исследование режима работы СВЧ магнетрона от инверторного блока питания.....	208
Точеный В. А. Формирование фторуглеродных покрытий ионно-лучевым распылением мишени из политетрафторэтилена....	211
Черевач М. С. Влияние ультразвуковых эффектов на качество прессования композитов на основе ПТФЭ.....	214
Шанчук А. А. Морфология поверхности разрушения вакуумных покрытий карбонитрида хрома.....	216
Шумская В. Ю. Многослойные фильтрующие системы для средств антибактериальной и противовирусной защиты органов дыхания.....	219
Эйсмонт Я. А. Новые технологии для повышения эффективности солнечных батарей.....	223
Яночкин П. С. Исследование адсорбционной активности золь-гель SiO_2 покрытий, легированных нанокристаллами YAGG:RE (RE=Yb, Nd, Eu).....	227

Секция 2 «Моделирование физических процессов»

Асвинова П. В. Функция Грина уравнения Шредингера.....	230
Балыкин И. В., Найдуннов А. А. Анализ качества бесселевых световых пучков первого порядка, сформированных из излучения полупроводникового и гелий-неонового лазеров с использованием двуосных кристаллов.....	234
Балыкин И. В. Структура небесселевых конических световых пучков для эффективного преобразования в кристаллах.....	237
Барахоев А. Л. Оценка влияния потока озона-воздушной смеси на профиль нагрева обрабатываемого объекта.....	240
Головин Е. Д. Генерация суммарной частоты в нелинейном сферическом слое в приближение ВКБ: напряжённость электрического поля излучения суммарной частоты.....	243
Горицкая Д. А. Реализация трехмерного метода молекулярной динамики.....	246
Гришечкина А. А. Парциальные двухчастичные уравнения в релятивистском конфигурационном представлении в случае единичного орбитального момента для потенциала « δ -сфера»...	249
Громыко И. Л. Математическое моделирование межвитковых замыканий в трансформаторе.....	253
Жиженьский А. С. Декларативный пользовательский интерфейс на Android.....	256
Жулего А. А. Разработка учебного web-ресурса по методу молекулярной динамики.....	258
Збышинская М. Е. Моделирование ионисторного накопителя энергии.....	261
Златина В. Ю. Функция Грина уравнения Дирака.....	265
Златина В. Ю. Рассеяние на кулоновском потенциале.....	269
Ивашкевич А. В. Структура плоских волн для безмассовой частицы со спином $3/2$, калибровочная симметрия.....	272
Ивашкевич А. В. Структура плоских волн для массивной частицы со спином $3/2$	276
Каленчак Е. В. Методы моделирования адресной доставки в дыхательных путях.....	280
Климович В. А. Влияние неоднородности переохлаждения фазовой границы кристаллизации на ее кривизну.....	283

Козел Н. В. Сложное механическое движение маятника Максвелла.....	286
Кольчевская М. Н. Моделирование процесса формирования изотропного раствора углеродных нанотрубок в полимерах.....	289
Кольчевская И. Н. Моделирование анаберрационной преломляющей линзы для рентгеновских лучей.....	293
Комяков Д. Е. Моделирование метаматериалов в программе COMSOL MULTIPHYSICS.....	296
Крылов В. И. Разработка сайтов с использованием современных технологий.....	298
Куриленко В. Р., Синегрибов Д. В. Модельно независимый анализ эффектов новых тяжелых калибровочных бозонов на электрон-позитронных коллайдерах высоких энергий.....	303
Максименко Д. А. Анализ работы эллипсоидной звезды в цепной передаче.....	305
Маркова М. В. Механико-математическая модель колебаний круговой трёхслойной пластины переменной толщины.....	308
Николаев А. О. Моделирование маховичной системы ориентации наноспутника.....	310
Никонович А. Ю. Экранирование символов в JAVA.....	313
Павленко А. В. Решение уравнения Логунова–Тавхелидзе с сепарабельным потенциалом в двумерном случае.....	316
Пимошенко А. С. Характеристика гибочных операций и напряженно-деформированное состояние металла при гибке.....	319
Пискунова Е. Д. Визуализация физических моделей в программе Blender на примере молекулы ДНК.....	320
Ритарева М. В. Моделирование процессов взаимодействия элементарных частиц в пакете GEANT4.....	323
Садовский А. А. Экстремумы физических наблюдаемых величин в процессе аннигиляционного рождения мюонных пар.....	326
Селивёрстов Н. С. Эволюционные свойства волны возмущения линии роста дендрита в переохлажденном расплаве.....	328
Слепенчук И. О. Моделирование метаматериалов в программе Ansys HFSS.....	332
Толкачёв А. И. Анализ эффективности плотности мощности поля второй гармоники–суммарной частоты в тонком сферическом слое для волн одинаковой эллиптичности.....	334
Хулуп В. О. Расчет волновых функций полей в рамках класса моделей с объединенным калибровочным и хиггсовским секторами.....	339

Чудаков Е. А. Задача многоугольной эллипсометрии металлической пленки при диффузном рассеянии электронов на ее границах.....	342
Шаршуков Е. В. Моделирование движения потоков газа при обтекании лопастей ветроэнергетической установки малой мощности.....	345
Шекелевский В. В., Логунов К. Т. Использование языка программирования Python для моделирования магнитных полей магнитной системы магнетронной распылительной системы.....	348

Секция 3 «Автоматизация исследований»

Аверков И. А. Программное средство для минимизации времени простоя автомобиля на светофорах.....	351
Акулич В. С. Заменяющий механизм и его применение при расчете на контактную прочность.....	353
Андреев В. А. Реализация клиентской части модуля для мониторинга заказов при разработке системы управления автомойками..	357
Антоненко А. В. Web-приложение «Игры ММО» с использованием стека MERN.....	358
Бандарик С. Д. Оптимизация шага поворотного механизма фотоэлектростанции.....	359
Бандарик С. Д. Разработка модуля для ориентации фотоэлектрической станции на Arduino.....	360
Банза П. К. Программное обеспечение для управления работой модуля вращательного движения машины трения.....	363
Березовский М. С. О тестировании разработанного игрового приложения «Spaceship».....	366
Брель В. В. Разработка приложения для автоматизации работы менеджера агентства недвижимости.....	367
Буйновец Н. С. Создание приложения для управления задачами	369
Булай А. Е., Протосовицкая С. Б. Программирование голосовых помощников на примере навыков умной колонки Яндекс Алиса.....	370
Бурикин В. Ю. Один подход к извлечению и обработке данных с сервера WHO.....	372
Буторин А. А. Разработка web-сайта «Рекламные игры и акции в Беларуси».....	375

Василенко С. В., Корбут Б. А. Автоматизация процесса калибровки датчика направления на Солнце.....	376
Веренчикова А. В. Разработка Android-приложения для писателей.....	379
Гайдук А. Н., Судан А. Оптимизация конструкции корпуса шарового крана с применением технологий прототипирования.....	380
Галецкий Д. А. Разработка устройства контроля и мониторинга микроклимата.....	383
Гончаров В. А. Разработка устройства экосистемы с собственным контролем и стабилизацией температуры и влажности воздуха и почвы.....	385
Городков А. С. Разработка серверной части приложения интернет-магазина «GameShop».....	388
Городнянская А. С. Разработка системы регистрации пассажиров на авиарейсы.....	389
Гресько Л. Л. Разработка фриланс платформы «Artistify».....	390
Громько И. Л., Белькин В. О. Диагностика трансформаторов с помощью комплексного анализа данных и искусственного интеллекта.....	391
Громько И. Л. Применение нейронной сети для идентификации межвиткового замыкания в трансформаторе.....	394
Губаревич И. К. Регистрация быстропротекающего процесса образования плазменного облака вблизи поверхности образца при воздействии на него лазерного излучения.....	397
Джепбаров К. Н. Проектирование и разработка web-сайта «Искусство Дубай».....	400
Епишкин И. М. Описание приложения для систематизированного сбора и обработки отзывов пользователей.....	401
Зяц К. М. Мобильное приложение создания актуального расписания преподавателя.....	402
Зезюлин В. М. Разработка приложения для проигрывания аудиофайлов с помощью Xamarin.....	404
Иванова П. Р., Дашко В. С. Автоматизация расчета площади под реографической кривой современными средствами анализа данных.....	405
Исмайлова А. С., Грушевич А. Ю., Кокорев А. Г., Телегина А. Г., Барсугачев К. О., Мелешкевич А. В., Матвеева А. А., Титович Е. П., Гарбуз И. С., Найдунув А. А., Силин И. Р. Создание автоматизированной кормушки для домашних животных с использованием микроконтроллера Arduino UNO R3.....	408

Караваева М. А. Интернет-магазин кастомной одежды: основные характеристики клиентской части.....	411
Карась О. В. Программные средства 3D реконструкции черепа человека на основе КТ-изображений.....	412
Каревский А. А., Шилко В. И. Алгоритмы искусственного интеллекта в работе систем дистанционного обучения.....	414
Католикова А. С. Система для создания мобильных приложений	416
Кижнерова О. А. Автоматизированное рабочее место менеджера мастерской по ремонту техники.....	417
Кислова К. В. Создание приложения для систематизации информации на основе фреймворка «Django».....	420
Ковальчук А. Д. Разработка мобильного приложения для навигации и коммуникации в космосе.....	421
Козлов А. В. Разработка серверной части web-приложения для учета данных о сотрудниках.....	422
Козляк Т. Е. Идентификация человека по лицу в задаче интеллектуального видеонаблюдения.....	423
Козляк Т. Е., Шилко В. И. Создание игровых ботов для соревнований по программированию задач искусственного интеллекта	425
Кузнецов Ю. В. Разработка автоматизированной системы удаленного управления антенной.....	428
Куликов Д. А., Лелевич А. Г. Технологии прокторинга и их уязвимости в условиях дистанционного обучения.....	430
Ляпко А. П. Разработка web-приложения «Расписание».....	432
Ляшко В. А. Создание приложения «Сортировки» с использованием технологии Windows Forms.....	434
Мальцева Т. В., Удавихин Е. А., Плевако Е. И. Разработка системы беспроводной передачи экспериментальных данных на платформе Ардуино.....	435
Михайлов А. В. Средства игрового движка Unreal Engine 4 для создания приложения «Afina».....	437
Можаев И. В. Разработка web-сайта «Достижения Гомельской области».....	439
Назаров Д. В. Разработка приложения-мессенджера для использования организациями.....	440
Нечай А. Д. Разработка web-приложения по продаже комплектов для персонального компьютера.....	444
О Сучан, Евчик В. Е. Моделирование движения беспилотного летательного аппарата измерительного назначения.....	445

Расторгуев В. В. Разработка web-сервера системы «Умный дом» на Angular 11.....	448
Рубин В. А. Структурированное нейронное обучение в TFХ.....	451
Скрежендевский А. В. Разработка android-приложения для настройки гитары на языке Java.....	453
Смирнова Ю. В. Разработка базы данных сайта «Личная Бухгалтерия».....	455
Соболенко В. В. Разработка «Умной остановки» на базе аппаратной платформы Arduino.....	456
Соловьева А. А. Параметрическое моделирование деталей «Втулки кондукторные постоянные» в Autocad.....	458
Стельченко А. В. Об использовании движка Unreal Engine 4 для создания игрового приложения «Ocean Story».....	461
Ступкина Е. П. Разработка клиентской части web-приложения «Ювелирный магазин».....	462
Сухомеров О. В. Мультиплатформа Defold для разработки Android.....	463
Текаева М. М. Разработка параметрических моделей на детали «втулки кондукторные постоянные с буртиком».....	466
Федоренко А. В. Об использовании платформы Unity для создания игрового приложения «Ascension».....	469
Флягин А. Ю. Автоматическое распознавание формы объектов при помощи набора ультразвуковых датчиков.....	470
Хвесюк Д. А. Обзор нереляционной СУБД для хранения больших данных – HBase.....	473
Хомбак А. А., Юдин Г. В. Базовые принципы реализации плагина для системы прокторинга.....	474
Чекан Г. В. Разработка серверной части интернет-магазина «Книжный мир».....	477
Чэнь Ваньли Оценка и прогнозирование угроз для автоматизированных производств.....	478
Шаховский А. В. Разработка автоматизированной системы управления почтовым отделением.....	480
Якубов К. А. Современные web-технологии в реальной жизни.	481
Яцковец М. В. Использование нейронных сетей при прогнозировании продаж.....	485

Секция 4 «Методика преподавания физики и информатики»

Борботько Ф. Т., Турло А. В., Трофимов А. С., Кочурко Я. Д., Славинский А. А., Серкевич Д. С. Использование социальных сетей проекта «Эвристика в физике» при проблемно-эвристическом обучении в БГУИР.....	488
Быкава А. А. Метапрадметнасць фізікі, інфарматыкі і матэматыкі.....	491
Гайдаш И. И. Использование Altium Designer для разработки сквозных проектов электронных устройств систем безопасности	494
Гапанюк В. А. Физические парадоксы в обучении физике.....	496
Гормаш А. С., Дедина А. В., Мелеховец Е. И., Ахапкина А. М. Статистический анализ участников проекта «Эвристика в физике» в БГУИР.....	498
Гусарова Я. А. Интерактивное внеклассное занятие как приём мотивации к изучению физики.....	500
Дрозд В. К. Информационные технологии в обучении алгоритмам школьной математики.....	504
Дубовская В. А. Научно-педагогический принцип изучения темы «Магнитное поле в вакууме» в средней школе.....	507
Лонская А. В. Управление познавательной деятельностью учащихся в процессе проблемного обучения.....	508
Лукашевич Н. В. Проблемная ситуация при изучении темы «Поверхностное натяжение».....	509
Морозов Н. С. Опорный конспект при организации проблемного метода обучения.....	510
Науменко Е. Н. Борьба с клиповым мышлением на уроках физики.....	512
Никитюк В. А., Садловский А. Д., Буланов Д. А. Разработка и постановка лабораторных работ с использованием Google Colab и Ansys Mechanical APDL.....	515
Петегерич А. А. Коррекция математической подготовки учащихся при изучении физики.....	518
Савицкая А. Ю. Метод анализа качества учебных тестов на базе нейронных сетей.....	521
Савицкая А. Ю. Организация и применение интерактивных анимационных программ в системе технического образования...	524

Садловский А. Д., Буланов Д. А., Никитюк В. А. Разработка и постановка лабораторных работ на тему «Расчет электромагнитных полей в Ansys Mechanical APDL».....	527
Сидский С. Д. Методические приемы при проведении фронтальных лабораторных работ.....	529
Филипенко К. И. Роль экспериментальных задач в процессе обучения учащихся средних школ.....	531
Чернова А. В. Индуктивный и дедуктивный методы объяснения газовых законов.....	533

Научное электронное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

X Республиканская научная конференция
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 22 апреля 2021 года)

Сборник материалов

В двух частях

Часть 1

Подписано к использованию 14.05.2021.

Объем издания 15,5 Мб.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

<http://www.gsu.by>