АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

IX Республиканская научная конференция
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 23 апреля 2020 года)

Гомель
2020

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

IX Республиканская научная конференция
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 23 апреля 2020 года)

Материалы

В двух частях

Электронное научное издание

Гомель
ГГУ имени Ф. Скорины
2020

ISBN 978-985-577-631-5
ISBN 978-985-577-632-2 (Ч. 1)
ISBN 978-985-577-633-9 (Ч. 2)

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени Франциска
Скорины», 2020

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

IX Республиканская научная конференция
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 23 апреля 2020 года)

Материалы

В двух частях

Часть 1

Электронное научное издание

Гомель
ГГУ имени Ф. Скорины
2020

ISBN 978-985-577-631-5
ISBN 978-985-577-632-2 (Ч. 1)

©Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени Франциска
Скорины», 2020

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

УДК 530

Актуальные вопросы физики и техники [Электронный ресурс] : IX Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 23 апреля 2020 г.) : материалы : 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 (12,5 МБ). – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – 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 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, использования мультимедийных и компьютерных технологий, проектного обучения; вопросы использования информационных технологий в научных исследованиях, процессах и системах передачи, хранения и защиты информации.

Статьи участников конференции размещены в алфавитном порядке. Издание адресуется научным работникам, аспирантам, магистрантам, студентам, учителям школ, гимназий, колледжей, преподавателей вузов.

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

Редакционная коллегия:

Д. Л. Коваленко (главный редактор),
А. Л. Самофалов (зам. главного редактора),
А. А. Середа (ответственный секретарь),
В. Н. Мышковец, В. Е. Гайшун, Г. Ю. Тюменков,
Е. А. Дей, В. Д. Левчук, А. В. Воруев, Е. Б. Шершнев, С. В. Шалупаев

ГГУ имени Ф. Скорины
246019, Гомель, ул. Советская,104,
тел. (232) 50-49-03, 57-75-20
http://www.gsu.by

© Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», 2020

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

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

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

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. – Ответственный за НИРС 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.
Воруев 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.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ПОРЯДОК РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

23 апреля 2020г.

11^{00}–12^{00} – открытие конференции, пленарное заседание – корпус 5, ауд. 2-11 (ул. Советская, 102). (онлайн трансляция)

СЕКЦИИ (ЗАОЧНОЕ УЧАСТИЕ)

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. 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»

Перспективы участия факультета физики и ИТ в программе ERASMUS+ (акроним CybPhys)

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»

Золь-гель синтез ферромагнитных наноматериалов по программе HORIZON 2020 на факультете физики и информационных технологий (проект «TransFerr»)

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

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

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Проект «Radium» программы Erasmus+: подготовка высококвалифицированных специалистов и повышение культуры ядерной безопасности

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Секция 1 «Новые материалы и технологии»

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

A. Sudan, M. Purouski (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Скаскевич,** канд. техн. наук, доцент

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF FDM-PRINT ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF SAMPLES OF POLYAMIDE

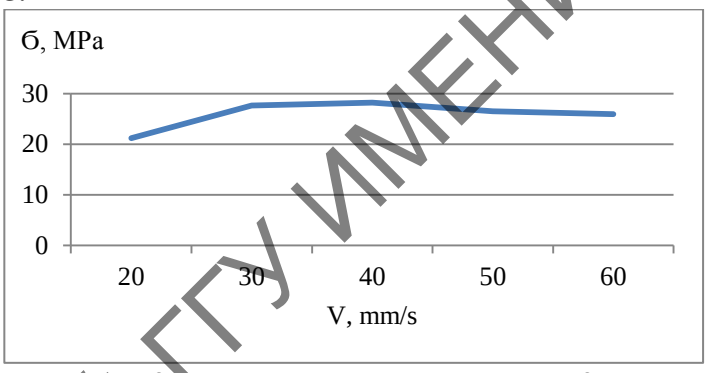
It is known that one of the main factors determining the deformation-strength characteristics of polymer products obtained by the FDM technology of 3-dimensional printing is the nature of the interlayer auto-adhesion of the polymer. Interlayer autohesion is a type of adhesion that characterizes the interlayer interaction of surfaces of polymers homogeneous in chemical composition [1]. Autohesion determines the basic properties of a product, its strength and durability. Issues of autohesion are especially relevant in the manufacture of large-sized products and serial printing due to the significant temperature difference between successively applied polymer layers. Low autohesion combined with high shrink stresses cause warping, deformation and premature failure of 3D products. This is appeared when the temperature and speed parameters of printing are incorrectly selected most clearly [2]. The problems of autohesion of polymer layers in products obtained by FDM printing are currently poorly understood and consumers of polymer filament for 3D printing rely on the recommendations of manufacturers of equipment and supplies for printing. In [3], the authors found out the effect of 3D printing technological parameters on the interlayer interaction in semi-finished products based on ABS plastic and polylactide (PLA) and established an increase in autohesion interaction with an increase in the contact temperature of polymer layers.

Polyamide 6 (PA6) from the manufacturer SANVIGOJ (China) in the state of delivery of the filament with a diameter of 1.75 mm was used as an object of study. Printing standard samples in the form of blades type 1 according to GOST 11262-80 in various settings of the 3D printer Flash-Forge Dreamer was performed for research. The deformation-strength characteristics of the test samples were evaluated on a tensile testing machine RM-500 in the uniaxial tension mode at a speed of 50 mm / min with

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

fixation of the strain and the corresponding tensile force. Printing of polymer blades in the established test modes was carried out in an amount of at least 5 sets for the reliability of the research results.

It is generally accepted among users of FDM printing technology that the minimum print speed (less than 20 mm/s) combined with the minimum print layer thickness (less than 100 microns) allows to achieve high accuracy in the dimensions and geometry of the product. However, it was shown in [4] that the strength characteristics of various grades of polyamides reach their maximum values when the thickness of the printed layer increases to a value corresponding to the diameter of the nozzle of the printing extruder. In addition, the influence of the extrusion rate on the autohesion processes of interlayer interaction in the process of FDM printing should be taken into account. Thus, a study of the effect of print speed on the strength characteristics of standard samples based on PA6 (Figure 1) indicates the need for additional studies to explain the nature of the established dependence.



Figrue 1 – Dependence of the uniaxial tensile strength of samples based on PA6 obtained by FDM printing technology, on the print speed

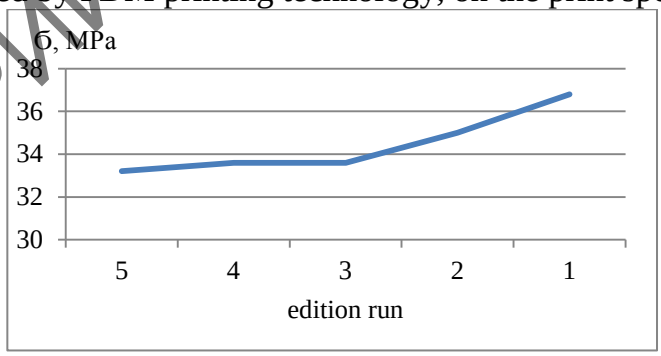


Figure 2 – Dependence of uniaxial tensile strength of samples based on PA6 obtained by FDM printing technology on the number of simultaneously printed products

It can be assumed that the strength characteristics of polymer products based on PA6 obtained by FDM technology are also dependent on their size (the area of the printed layers).

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

To evaluate this assumption, standard samples were printed in the form of Type 1 blades with a circulation of 1 to 5 products printed simultaneously in layers. It should be noted that an increase in the time of subsequent overlapping of the printed layer with PA6 melt at a printing speed of 40 mm / s over 200 s (Figure 2, circulation of 3 products or more) leads to a noticeable decrease in the tensile strength of the samples. This, in turn, also requires a detailed examination of the identified dependence.

Thus, when determining the technological parameters of 3D printing of polymer products using FDM technology, it should be taken into account that engineering products based on PA6 along with accuracy criteria also require taking into account the manifestation of interlayer autohesion, the nature of which is determined by various printing parameters, the main of which are print temperature, print layer thickness and printable area.

References

1. Zimon, A.D. Colloid chemistry: General course / A.D. Zimon // Textbook. - 6th ed. – M.: Krasand, 2015. – 342 p.

2. Brochard-Wyart, F. Kinetic of polymer-polymer interdiffusion / F. Brochard-Wyart // Fundamental of adhesion. – New York: Plenum Press, 1990. – Chapter 6. – PP.181-206.

3. Kravtsevich, A.V. Interlayer autogesia of thermoplastic materials used in 3D technologies / A.V. Kravtsevich, L.I. Shashura, A.I. Sviridenok, J.I. Bernatskaya // Vesnik Grodzenskaga dzyarzhaўnaga iнiiversiteta imeya Ya. Kupala. Seryaya 6, Tehnika. T.7, №. 1. – 2017. – PP.66-74.

4. Tartakowski, Z. Właściwości mechaniczne wyrobów wytworzonych technologią FDM z poliamidu / Z. Tartakowski, K.Mydłowska. // Przetwórstwo Tworzyw. – № 6. – 2015. – P. 75-79.

А. Г. Бердиев (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель).
Науч. рук. **Н. Н. Федосенко**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОХРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Фотохромные материалы применяются в качестве светофильтров переменной оптической плотности в средствах защиты глаз и приборов от светового излучения, светочувствительных регистрирующих

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

сред в устройствах регистрации и обработки оптической информации и в лазерной технике [1]. Одним из перспективных методов получения фотохромных покрытий является золь-гель метод [2].

Целью данной работы является исследование спектра пропускания фотохромных покрытий, полученных золь-гель методом.

Приготовление золя на основе тетраэтилортосиликата (ТЭОС), содержащего фоточувствительные добавки (таблица 1) происходило следующим образом: требуемое количество $Si(OC_2H_5)_4$ (ТЭОС) заливали ацетоном CH_3COCH_3, затем добавляли дистиллированную воду 0,1N с заранее введенной в нее соляной кислотой HNO_3H_2O. Полученную смесь перемешивали.

При этом происходило нагревание раствора (гидролиз и поликонденсация). Для созревания раствора его выдерживали при температуре окружающей среды в течении 2 дней. Затем в пленкообразующие растворы вводили фотохромный краситель $C_{20}OH_2ON_2O_4$ (дигидро-5-метокси-3-триметил-6-нитроспирон).

Таблица 1 – Состав золя

Вещество	Количество содержимого в масс. %
$Si(OC_2H_5)_4$	31
$C_{20}OH_2ON_2O_4$	1
H_2O	16
CH_3COCH_3	52

Пленкообразующий раствор наносили на подложки из кварцевого стекла методом центрифугирования. Установлен оптимальный диапазон частот вращения обрабатываемой подложки требуемого диаметра для формирования однородной пленки заданной толщины: для пластин 100–200 мм в диаметре оптимальная частота вращения составила 2000 об/мин. Перед нанесением золя на стекло необходимо тщательно его очистить, во многом результат зависит от качества очистки поверхности подложки.

После нанесения золя на поверхность образцы были помещены в печь, где были нагреты до температуры 100 ^{0}C и отжигались в течение 1 часа, затем образцы извлекались и остывали на воздухе. В результате чего получили стекла с фоточувствительными покрытиями, представленными на рисунке 2.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

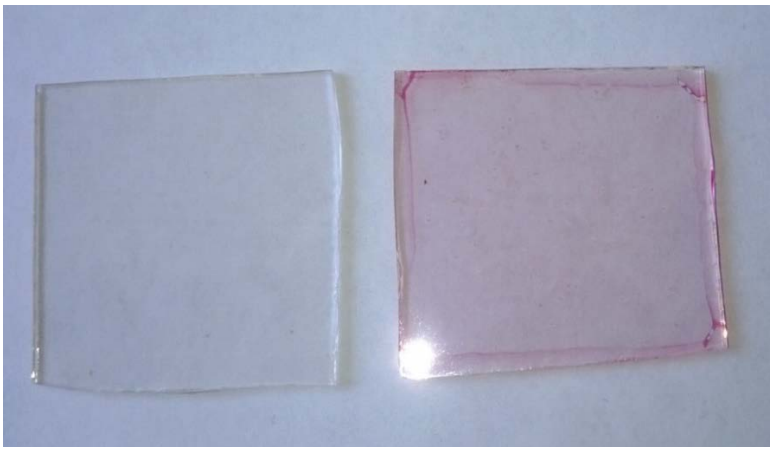


Рисунок 1 – Кварцевые стекла с фоточувствительными покрытиями

Спектры пропускания полученных покрытий были получены на спектрофотометре Cary 50. На рисунке 2 изображен спектр пропускания исследуемого образца с золь-гель покрытием.

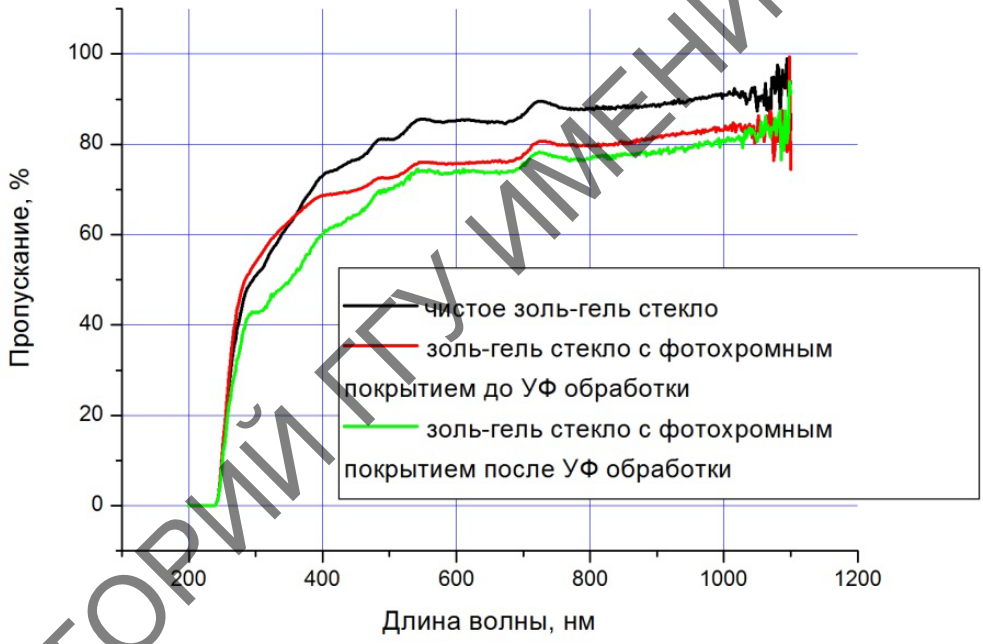


Рисунок 2 – Спектры пропускания исследуемых образцов

На стекле была сформирована пленка, содержащая фотохромный краситель $C_{20}OH_2ON_2O_4$. После нанесения покрытия стекло приобрело окраску. Затем был снят спектр пропускания образца до обработки УФ излучением и после. Зеленым цветом выделен спектр пропускания чистого золь-гель стекла. Анализ спектров пропускания показывает, что коэффициент пропускания в интервале длин волн от 400 до 1000 нм уменьшился по сравнению с чистым золь-гель стеклом. Далее образец был подвергнут УФ обработке в течение 30 минут. Для

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

обработки был использован источник УФ ДРШ-250-3 с длиной волны до 360 нм. Затем исследовали образец после УФ обработки. В результате полученных данных наблюдается эффект снижения коэффициента пропускания данного образца в интервале длин волн от 300 до 1000 нм.

Таким образом, полученные фотохромные покрытия могут быть использованы для получения новых перспективных материалов, применяемых для изготовления фотохромных линз, светофильтров с модулируемым пропусканием, голографических устройств.

Литература

1. Фотохромные нанокомпозиты на основе спиропиранов / Б.С. Лукьянов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – №10. – С. 2649–2654.

2. Мошников, В.А. Золь-гель нанотехнология / В.А. Мошников, О.А. Шилова // Нано-технология: физика, процессы, диагностика, приборы / под ред. В.В. Лучинина, Ю.М. Таирова. – М.: Физматлит, 2006. – с. 205–249.

А. В. Береснева, А. С. Крупинская, А. А. Лукашина
(ГрГУ имени Янки Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ И ОСОБЕННОСТИ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Для обеспечения безопасности функционирования транспортных систем в современной дорожной инфраструктуре широко используют функциональные элементы транспортных коммуникаций, способствующие снижению виктимологических предпосылок образования дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [1]. Полимерные композиционные материалы являются одним из перспективных видов сырья, используемого при промышленном производстве изделий специального назначения, применяемых при дорожном строительстве и обустройстве автомобильных дорог. В условиях реализации Государственной стратегии устойчивого социально-экономического развития и Стратегии «Наука и технологии: 2018–2040» особый научный и практический интерес пред-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ставляет применение импортозамещающих составов композиционных материалов на основе регенерированных термопластов. Одним из эффективных способов ингибирования неблагоприятных структурных процессов в регенерированных термопластах, обусловленных образованием в процессе рециклинга активных составляющих вследствие протекания процессов механо-химической и термоокислительной деструкции полимерных макромолекул и побочных составляющих композиций является введение в их состав дисперсных модификаторов, реализующих наносостояние на стадии пластикации матричного полимера [2].

Вместе с тем, широкое применение регенерированных материалов (отходов производства) и интенсивное развитие наноматериаловедения и технологии получения и переработки наноматериалов в изделия различного функционального назначения вызывает в качестве первоочередных проблему совершенствования правового регулирования изготовления, эксплуатации и утилизации изделий из этих материалов и минимизации негативного техногенного действия на компоненты окружающей среды путём реализации требований экологического императива [3–5].

Целью данной работы являлась разработка составов нанокомпозиционных материалов на основе регенерированных термопластов для функциональных элементов транспортных коммуникаций и рекомендаций по совершенствованию правового регулирования их производства.

Объектом исследования выступали нанокомпозиционные материалы на основе регенерированных термопластов класса полиолефинов и полиамидов для изготовления обозначающих знаков и ограничительных элементов, используемых при прокладке подземных коммуникаций в дорожном строительстве.

Разработаны составы композиционных материалов на основе регенерированных полиолефинов (ПП, ПЭНД, ПЭВД) и алифатических полиамидов (ПА 6, ПА 6.6, ПА 11, ПА 12), модифицированных наноразмерными частицами углерод-, металл- и кремнийсодержащих компонентов, позволяющие по сравнению с матричными компонентами повысить:

– параметры деформационно-прочностных характеристик в 1,5–2,0 раза;

– параметры триботехнических характеристик в 1,5–2,5 раза;

– стойкость к термоокислительной деструкции.

К немаловажным направлениям формирования предпосылок для стабильного и безопасного функционирования социальных систем, в

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

том числе промышленных хозяйственных комплексов, безопасной эксплуатации транспортных коммуникаций, следует отнести совершенствование нормативно-правовой и законодательной базы, регламентирующей применение композиционных материалов на основе вторичных ресурсов (отходов производства), создание, использование и утилизацию наноматериалов, применение нанотехнологий, которые наряду с уникальными эксплуатационными и техническими характеристиками несут потенциальную опасность для здоровья человека и природных экосистем.

Целесообразно внесение в действующее законодательство, регулирующее сферу обращения продуктов интеллектуальной и промышленной собственности, положений, определяющих негативные последствия изготовления и использования инновационных объектов с неоднозначно установленными параметрами характеристик. Перед созданием новых продуктов с использованием наноматериалов и нанотехнологий следует предварительно идентифицировать их потенциальные риски для здоровья рабочего и обслуживающего персонала. Выявленные риски должны быть отражены в разрабатываемой нормативной и технической документации, регламентирующей создание, переработку и утилизацию изделий из наноматериалов.

Исследования проводились при финансовой поддержке БРФФИ в рамках выполнения научно-исследовательской работы по договору № Т18М-139 от 30.05.2018 «Реализация феномена наносостояния в механизмах нецепной стабилизации полимерных композитов» (№ 20181468).

Литература

1. Береснева, А. В. Основные направления предупреждения дорожно-транспортных преступлений / А. В. Береснева, И. А. Моисеева, А. С. Антонов // Вестник ГрГУ им. Янки Купалы. Сер. 4. Правоведение. – 2017. – Т. 7. – № 2. – С. 75–84.

2. Авдейчик, С. В. Фактор наносостояния в материаловедении полимерных нанокомпозитов / С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2017. – 468 с.

3. Струк, А. В. Принципы экологизации законодательства в сфере обращения с отходами / А. В. Струк, А. Г. Авдей, И. В. Гущин // Вестник ГрГУ им. Янки Купалы. Сер. 4. Правоведение. – 2014. – № 6. – С. 85–94.

4. Струк, А. В. Промышленные отходы как фактор отсроченного техногенного экологического риска / А. В. Струк, О. В. Авдейчик,

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. В. Береснева // Новые горизонты – 2018 : материалы V-ого Белорусско-китайского молодежного инновационного форума, Минск, 15–16 ноября 2018 г. : в 2 т. / БНТУ. – Минск, 2018. – Т. 2. – С. 101–103.

5. Основы экологической безопасности получения и применения наноматериалов : учеб.-метод. пособие для студентов учреждений высшего образования по химико-технологическим и инженерно-техническим специальностям / И. В. Войтов [и др.] ; под ред. Н. А. Свидуновича. – Минск : БГТУ, 2019. – 181 с.

Е. И. Божко, А. С. Корольков
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ МАРКИ GEELY ATLAS В ПЕРИОД ГАРАНТИЙНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Гарантийным периодом обслуживания автомобиля принято считать временной промежуток, установленный заводом-изготовителем, в который он обязуется производить ремонт и (или) замену деталей, имеющих дефекты, несвязанные с эксплуатацией автомобиля на безвозмездной основе. В современном машиностроении выделяют два типа гарантийных обязательств: по сроку эксплуатации – данный тип наиболее среди представителей европейских производителей, таких как BMW, Volkswagen AG, Daimler AG и других; по пробегу и времени эксплуатации – данный тип наиболее распространен среди производителей азиатского региона, например, Hyundai, Geely, KIA и других. Так же имеются поводы в отказе выполнения гарантийного ремонта. Ими могут быть нарушение условий эксплуатации автомобиля (участие в нем в гонках) и нарушение проведения технического обслуживания (ремонт у неофициального дилера, использование неоригинальных материалов).

В ходе выполнения настоящей работы произведен статистический анализ гарантийных ремонтов автомобиля марки Geely Atlas в период с 01.05.2018 г. по 01.11.2019 г.

Необходимо также отметить, что количество обращений по гарантийным ремонтам следует учитывать с объемом продаж автомобилей. В рассматриваемый период по данному автомобилю принято 77 обращений от покупателей, по которым осуществлено 92 ремонтные ра-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

боты. В процентном соотношении объемы кузовных и слесарных работ представлены на рисунке 1.

Исходя из представленных данных (рисунок 1) 23 % обращений относятся к кузовным работам. Возможной причиной столь частых обращений по данной проблеме является качество нанесения ЛКП на элементы автомобиля. Касательно слесарных работ (77 % обращений), необходимо отметить, что замена накладки бампера, осуществлялась в слесарном цеху, так как данная работа имела обозначение «классификация – слесарный».

Рисунок 1 – Распределения гарантийных обращений
по типам работ автомобиля Geely Atlas

Проанализировав статистические результаты, можно утверждать, что основными проблемами для автомобиля Geely Atlas являются покраска пластиковых деталей (бампер – 30 %) и замена стекол двери багажного отделения (25 %). Так же проблемным моментом является проверка качества сборки автомобиля. Согласно общедоступным данным, только лишь 3 % автомобилей, от общего числа произведенных проходят проверку в отделе технического контроля. И поэтому 15 % обращений клиентов связаны с регулировкой зазоров кузовных элементов автомобиля.

На рисунке 3 приведены статистические данные по распределению слесарных работ по дефектным элементам.

Можно видеть (рисунок 3), что на автомобилях из первых партий имелись проблемы с блоками электроники (11 %). Начиная от BCM заканчивая блоком системы TPMS. В последствии были пересмотрены способы защиты этих дорогостоящих элементов, и данный дефект не появлялся.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Рисунок 2 – Распределение кузовных работ по дефектным элементам

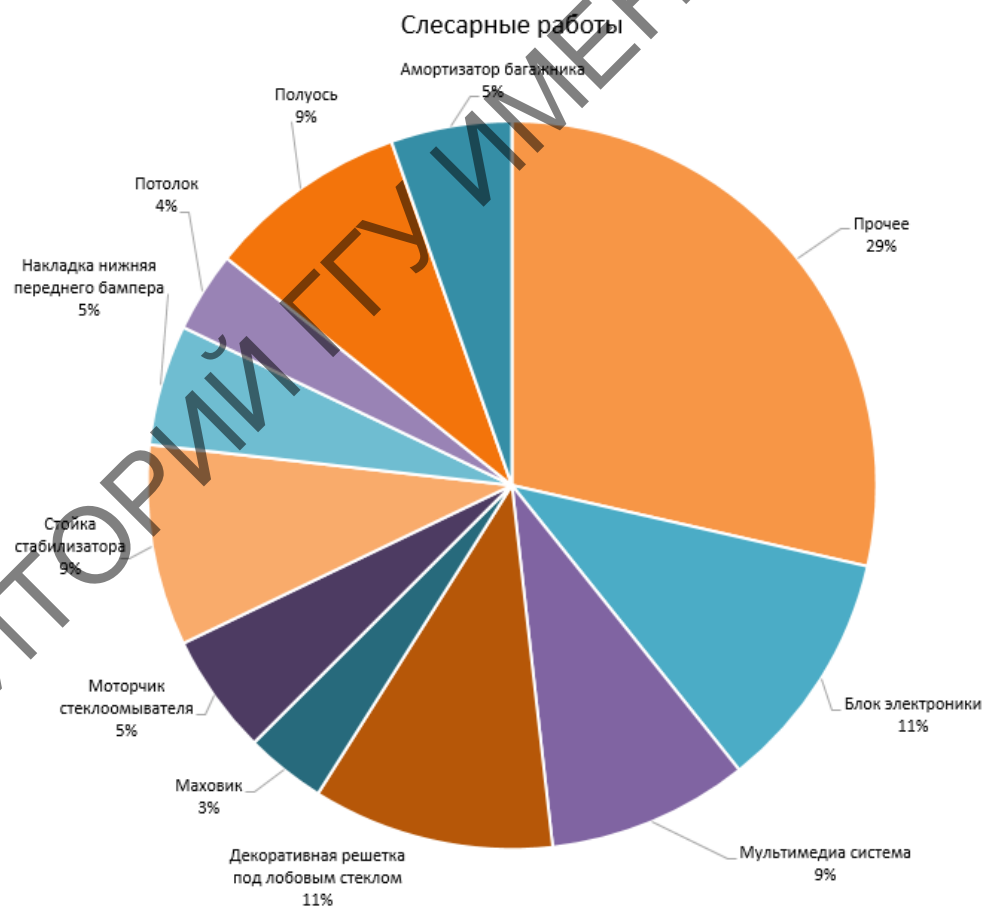


Рисунок 3 – Распределение слесарных работ по дефектным элементам

Показано (рисунок 3), что дефект системы мультимедиа наблюдался в автомобилях до 2019 года производства. У данных машин

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

имелся неустранимый дефект прошивки операционной системы блока мультимедиа (9 %) и был связан с ошибкой работы алгоритмов сброса частот центрального процессора при высоких температурах на ядре. Моторчики стеклоомывателей также заменялись по гарантии (5 %). Однако они не являлись первоисточником проблемы. Опрос владельцев данных автомобилей показал, что моторчики стеклоомывателей интенсивно эксплуатировали в холостом режиме, что и являлось причиной выхода из строя данных элементов.

Д. Ю. Варламов (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **М. Н. Дудак**, преподаватель

ЭФФЕКТ ПРИСУТСТВИЯ СОБЕСЕДНИКА: ГОЛОГРАФИЯ – ТЕХНОЛОГИЯ БУДУЩЕГО

Человечество все больше и больше становится зависимым от компьютерных технологий, а виртуальное общение уже давно вошло в обиход любого, кто знаком с компьютерными технологиями. И каждый хоть раз задумывался о том, что было бы хорошо пообщаться с человеком лично, будто он находится с вами в одной комнате, сидит рядом и просто видеть его объемное изображение. Все это может в скором будущем осуществиться благодаря применению такого метода регистрации информации, как голография.

Оптическая голография является методом регистрации светового поля, в результате которого получается объемное изображение, называемое голограммой. На данном этапе развития технологии применение в повседневной жизни голографии все еще недоступно, так как съемка такого изображения является достаточно сложным процессом и возможна только в специально оборудованной лаборатории, однако следует отметить, что двум операторам Verizon и Korea Telecom удалось совершить первый голографический звонок с помощью технологии 5G.

Для достижения эффекта объема в голографии, в отличие от стереофотографии, кроме амплитуды регистрируется еще и фаза световой волны. Для записи такого рода изображения необходимо высококогерентное лазерное излучение, так как качество оптического излучения лазера является наилучшим. Еще одним необходимым условием для записи голограммы является наличие двух пучков лазерного излучения. Один из пучков будет создавать опорную волну, которая

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

будет содержать информацию об источнике света, который освещает предмет и голограмму и которая является началом отсчета фаз регистрируемого сигнала. Второй пучок создает объектную волну, которая содержит информацию непосредственно о самом объекте. Наложение этих двух волн как раз и даст нам интерференционную картину, которая содержит голограмму записанного объекта. Для того, чтобы увидеть данное изображение необходимо полученную голограмму осветить опорным пучком лазерного излучения, в результате возникает объектная волна, которая содержала информацию об объекте. В результате получается трехмерное изображение объекта.

Для создания голограмм живых объектов необходимы импульсные лазеры с наименьшей длительностью импульса для создания четкого трехмерного изображения. Отсюда и возникает одна из проблем общения с живым объектом в реальном времени: для передачи движений и мимики объекта и придания ему плавности необходима постоянная фиксация и запись голограмм, что потенциально ведет к передаче огромного объема информации по сети.

Для записи голограмм на сегодняшний день используется две наиболее известные схемы: схема записи Лейта-Упатниекса и схема записи Денисюка.

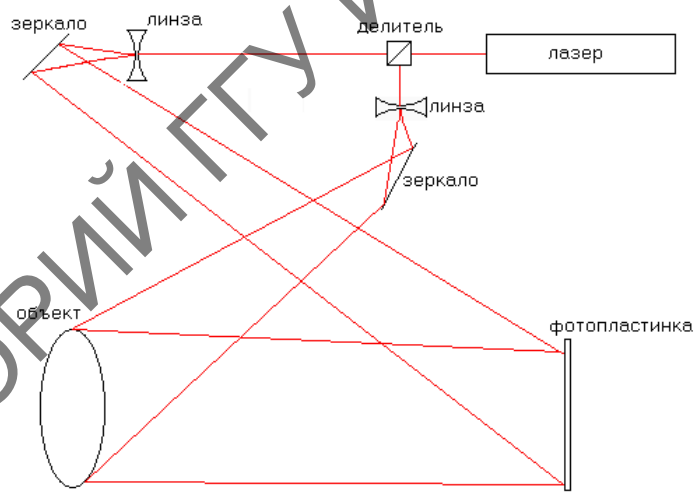


Рисунок 1 – Схема записи Лейта-Упатниекса

На рисунке 1 изображена схема Лейта-Упатниекса. Отличительной особенностью данной схемы является наличие делителя, который разделяет лазерный поток на опорный и объектный. Затем с помощью рассеивающих линз данные потоки расширяются и направляются на объект и фотопластинку. Отраженный от объекта свет также падает на регистрирующую среду, в результате чего на фотопластинке про-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

исходит регистрация амплитуды и фазы светового сигнала, что и является голограммой.

На рисунке 2 изображена схема записи Денисюка. Основным отличием данной схемы является отсутствие делителя лазерного потока. С помощью линзы происходит рассеивание лазерного потока, который направляется на регистрирующую среду. Затем часть прошедшего через фотопластинку потока отражается от объекта, формируя тем самым объектный поток. В результате чего и происходит регистрация объемного изображения.

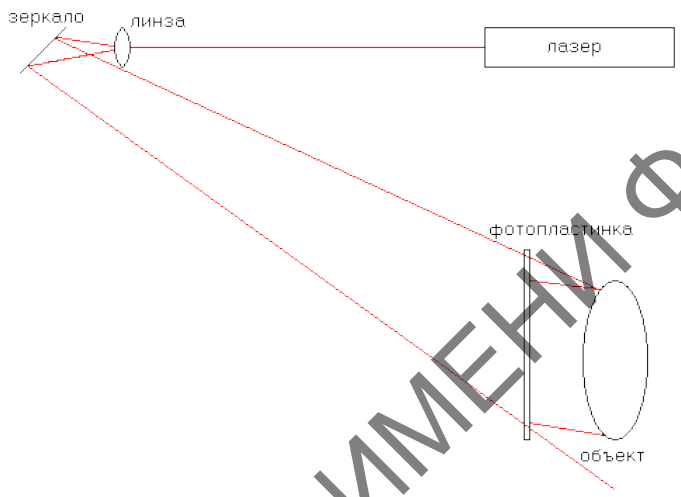


Рисунок 2 – Схема записи Денисюка

Таким образом, на сегодняшний день существуют необходимые схемы записи голограмм, а в качестве регистрирующей среды для динамически изменяющихся объемных изображений используются кристаллические сегнетоэлектрики с линейным электрооптическим эффектом. Одной из причин, почему использование голографии в качестве метода общения невозможно на данный момент, является дороговизна компонентов системы для обеспечения динамической передачи голограмм. Второй причиной является огромный объем данных, который необходимо передать по сети. Для решения этой проблемы необходим широкий канал с высокой скоростью передачи данных. И возможно, что появление сетей стандарта 5G станет мощным толчком в развитии науки и связи с использованием голографии.

Литература

1. Г. Колфилд, Оптическая голография / С. Б. Гуревич. – М.: «Мир», 1982. – Т. 1 – 376 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. С.Г. Одулов, М.С. Соскин, А.И. Хижняк, Лазеры на динамических решетках – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1990. – 272 с.

3. Путилин А. Голограмма [Электронный ресурс] – 2018. Режим доступа: https://postnauka.ru/video/83763 – Дата доступа: 04.03.2020.

М. М. Войтович, В. Г. Манцевич
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Известно [1–3], что существенное влияние на износ автомобильных шин оказывают климатические условия: температура и влажность окружающего воздуха и дороги. Отмечается [2–3], что чем выше температура окружающего воздуха, тем больше теплообразование в шинах, тем быстрее изнашивается протектор и уменьшается срок службы шин. С увеличением температуры окружающего воздуха происходит понижение герметичности шины вследствие увеличения диффузии воздуха через стенки камеры. Низкая температура окружающего воздуха уменьшает температуру в работающих шинах, благодаря чему уменьшается общий их износ. Однако практический интерес представляют исследования с использование конкретных марок автомобильных шин.

Целью данной работы является исследование величины износа протектора всесезонных автомобильных шин от различных производителей в зависимости от величины пробега транспортного средства и климатических условий.

Исследования величины износа автомобильных шин проводили на пяти грузовых автомобилях марки Hyundai HD 78. Для качественного измерения высоты протектора шины выполняли следующие действия: на задних правых колёсах транспортных средств было нанесено белым несмываемым маркером 5 равноудаленных отметок. С целью исключения влияния деформации шины на показания измерений, водитель по команде подъезжал вперед, для того, чтобы измерять высоту протектора в одном и том же месте относительно транспортного средства. Таким измерительным местом было выбрано окончание крыла транспортного средства. Точку измерения относительно ширины про-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

тектора шины выбирали в середине, для того чтобы исключить негативное влияние неправильного развал-схождения колёс, из-за которого повышается износ краёв протектора. Перед каждым последующим измерением высоты протектор предварительно очищали от загрязнений.

Окончательное значение высоты протектора определяли как среднеарифметическое значение трех измерений.

Дорожные покрытия, по которым передвигались транспортные средства составляли от общей величины пробега следующие значения: асфальтное – 98 %, бетонное – 1 %, грунтовое – 1 %.

Средством измерения высоты протектора выступал глубинометр модели Digital Tread Depth Gauge с диапазоном измерений от 0 до 25,4 мм, погрешность измерения прибора составляет 0,01 мм. Необходимо также отметить, что при проведении исследований транспортные средства имели различный пробег.

С целью получения объективных данных был выполнен пересчет итоговой величины износа протектора автомобильной шины на 20 тыс. км пробега при использовании всех исследуемых марок шин.

Результаты исследования величины износа протекторов всесезонных автомобильных шин в зимний период при пробеге грузовым транспортным средством 20 тыс. км представлены на рисунке 1.

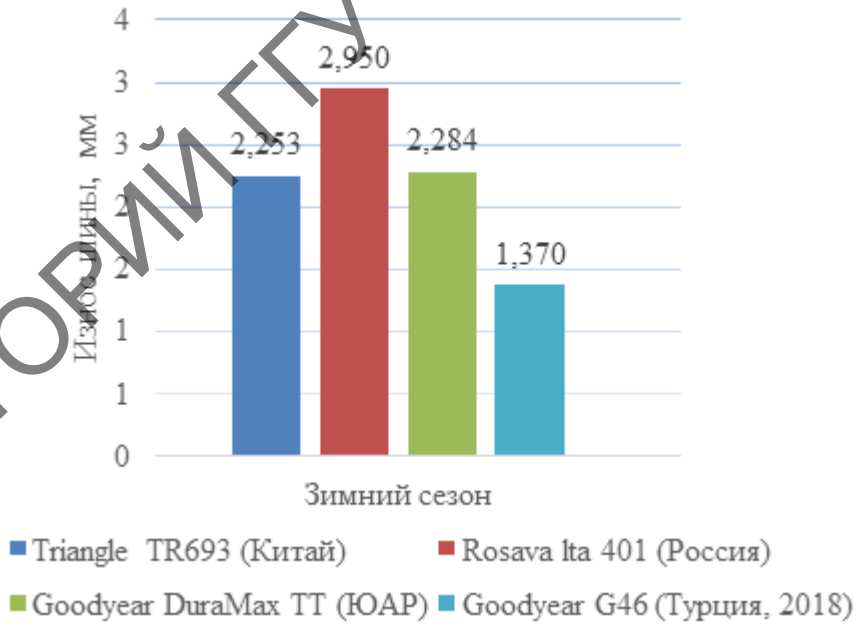


Рисунок 1 – Величина износа протектора всесезонных автомобильных шин разных производителей в зимний период при пробеге 20 тыс. км

Показано (рисунок 1), что максимальный износ протектора шины в зимний период эксплуатации грузовых транспортных средств, при пробеге 20 тыс. км наблюдается при использовании шины марки

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Rosava Lta 401 (Россия) (2,95 мм). Промежуточные и практически равные результаты получены при использовании шин марок Triangle TR 693 (Китай) и Goodyear Duramax TT (ЮАР) 2,253 и 2,284 мм соответственно. Лучший результат с точки зрения минимального износа протектора исследуемых шин получен при использовании шин Goodyear G46 (Бельгия) и Goodyear G46 (Турция, 2018) 1,635 и 1,37 мм. Таким образом, установлено, что величина износа протектора шин марок Goodyear G46 (Бельгия, 2017) и Goodyear G46 (Турция, 2018) в зимний период в среднем в 1,7–2,3 раза ниже, чем при использовании других исследуемых марок автомобильных шин.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в качестве всесезонных автомобильных шин при эксплуатации грузовых транспортных средств целесообразно использовать автомобильные шины марки Goodyear G46 от различных стран производителей.

Литература

1. Тарновский, В.Н. Автомобильные шины. Устройство, работа, эксплуатация, ремонт / В.Н. Тарновский, В.А. Гудков, О.Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

2. Бидерман, В.Л. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на износ, сцепление и сопротивление качению автомобильных шин / В.Л. Бидерман [и др.]. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1970. – 106 с.

3. Максименко, К.Д. Применение нагретых фрикционных материалов при зимнем содержании автомобильных дорог: дис. … канд. техн. наук: 18.05.2005 / К.Д. Максименко. СПб.: 2005. – 161 с.

М. М. Войтович, С. С. Нестер
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

На основании изложенных в работах экспериментальных и статистических данных [1–3], известно, что на износ автомобильных шин оказывают влияние климатические условия, а именно: температура и влажность окружающего воздуха и дорожного покрытия. Отмечается [2–3], что чем выше температура окружающего воздуха, тем больше

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

теплообразование в шинах, тем быстрее изнашивается протектор и уменьшается срок службы шин. С увеличением температуры окружающего воздуха происходит понижение герметичности шины вследствие увеличения диффузии воздуха через стенки камеры. Низкая температура окружающего воздуха уменьшает температуру в работающих шинах, благодаря чему уменьшается общий их износ. Однако практический интерес представляют исследования с использование конкретных марок автомобильных шин в конкретный период эксплуатации транспортных средств.

Целью данной работы является исследование величины износа протектора всесезонных автомобильных шин от различных производителей в весенний период эксплуатации транспортных средств.

Исследования величины износа автомобильных шин проводили на пяти грузовых автомобилях марки Hyundai HD 78. Для качественного измерения высоты протектора шины выполняли следующие действия: на задних правых колёсах транспортных средств было нанесено белым несмываемым маркером 5 равноудаленных отметок. С целью исключения влияния деформации шины на показания измерений, водитель по команде подъезжал вперед, для того, чтобы измерять высоту протектора в одном и том же месте относительно транспортного средства. Таким измерительным местом было выбрано окончание крыла транспортного средства. Точку измерения относительно ширины протектора шины выбирали в середине, для того чтобы исключить негативное влияние неправильного развал-схождения колёс, из-за которого повышается износ краёв протектора. Перед каждым последующим измерением высоты протектор предварительно очищали от загрязнений.

Окончательное значение высоты протектора определяли как среднеарифметическое значение трех измерений.

Дорожные покрытия, по которым передвигались транспортные средства составляли от общей величины пробега следующие значения: асфальтное – 98 %, бетонное – 1 %, грунтовое – 1 %.

Средством измерения высоты протектора выступал глубинометр модели Digital Tread Depth Gauge с диапазоном измерений от 0 до 25,4 мм, погрешность измерения прибора составляет 0,01 мм. Необходимо также отметить, что при проведении исследований транспортные средства имели различный пробег.

С целью получения объективных данных был выполнен пересчет итоговой величины износа протектора всесезонной автомобильной

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

шины на 20 тыс. км пробега при использовании всех исследуемых марок шин.

Результаты исследования величины износа протекторов всесезонных автомобильных шин в весенний период при пробеге грузовым транспортным средством 20 тыс. км представлены на рисунке 1.

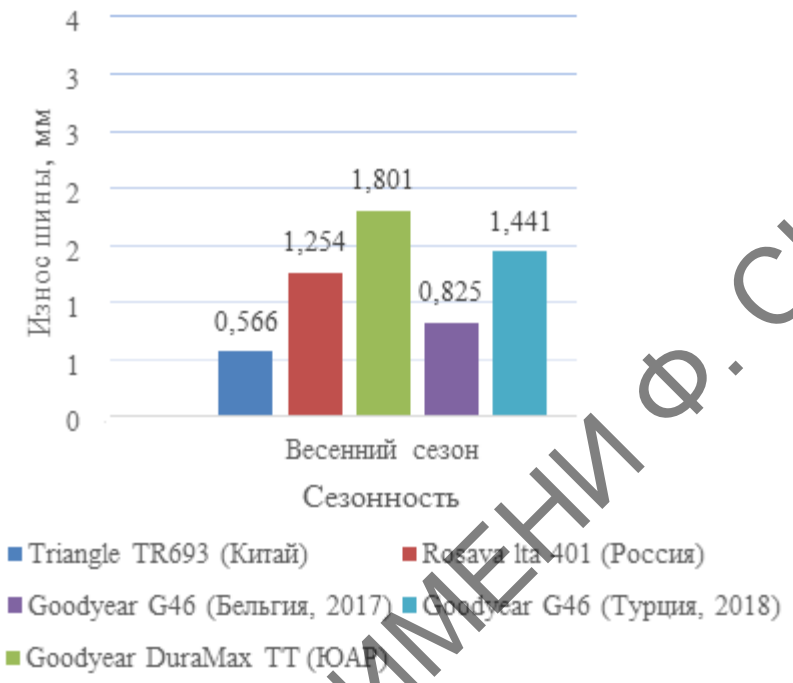


Рисунок 1 – Величина износа протектора всесезонных автомобильных шин разных производителей в весенний период при пробеге транспортного средства 20 тыс. км

Можно видеть (рисунок 1), что максимальный износ протектора шины в весенний период эксплуатации грузовых транспортных средств наблюдается при использовании шины марки Goodyear Duramax TT (ЮАР) и Goodyear G46 (Турция, 2018). Величина износа протектора за 20 тыс. км пробега транспортного средства для данных шин составила значение 1,801 и 1,441 мм соответственно. Промежуточный результат получен при использовании шины марки Rosava Lta 401 (Россия) 1,254 мм. Лучший результат с точки зрения минимального износа протектора исследуемых шин в весенний период получен при использовании шин марок Goodyear G46 (Бельгия, 2017) и Triangle TR 693 (Китай) 0,825 и 0,566 мм соответственно.

Таким образом в результате проведенных исследований установлено, что при эксплуатации грузовых транспортных средств целесообразно использовать шины марок Goodyear G46 (Бельгия, 2017) и Triangle TR 693 (Китай) т.к. величина износа протектора данных шин

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

в весенний период в среднем в 1,75–3,2 раза ниже, чем при использовании других исследуемых марок шин.

Литература

1. Тарновский, В.Н. Автомобильные шины. Устройство, работа, эксплуатация, ремонт / В.Н. Тарновский, В.А. Гудков, О.Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

2. Бидерман, В.Л. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на износ, сцепление и сопротивление качению автомобильных шин / В.Л. Бидерман [и др.]. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1970. – 106 с.

3. Балабин, И.В. Автомобильные и тракторные колеса / И.В. Балабин, В.А. Пугин / Челябинск: Челябинское книжное изд-во, 1963. – 335 с.

В. В. Грибович, Д. В. Жигулин (БГУ, Минск)
Науч. рук. **Я. А. Соловьёв,** канд. техн. наук, доцент

СРАВНЕНИЕ АДГЕЗИОННО-БАРЬЕРНЫХ СВОЙСТВ ВАНАДИЯ И НИХРОМА В МЕТАЛЛИЗАЦИИ С CU - СОДЕРЖАЩИМИ СПЛАВАМИ

Адгезионная прочность металлизации зависит от многих факторов: технологии получения покрытия, материалов пленки и подложки, и может изменяться как в процессе изготовления, так и в процессе эксплуатации готового изделия [1].

Металлизация обратной стороны кристалла должна обладать минимальным контактным сопротивлением и высокой надежностью в процессе сборки и эксплуатации. Для решения этой задачи используют адгезионные слои тугоплавких металлов (титан, хром, тантал, ванадий и т.п.), которые обеспечивают адгезию металлизации обратной стороны к кремнию с минимальным образованием возможных окисных прослоек [2].

Тонкопленочные металлические материалы являются уникальным объектом, имеющим широкую перспективу применения в самых различных областях современной науки и техники. Такая популярность тонких пленок обусловлена необычными физико-химическими свойствами, не характерными для материала в объемном состоянии, что открывает новые области их возможного применения. Металлические

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

тонкопленочные материалы на основе ванадия исследуют достаточно давно, однако их нельзя считать полностью изученными [3]. Использование в качестве адгезионного слоя V обусловлено применением данной металлизации при изготовлении пьезоэлементов высокочастотных кварцевых и лангаситовых резонаторов [4].

Нанесение адгезионного слоя из нихрома служит для улучшения адгезионно-барьерных свойств металлизации и снижение контактного сопротивления металлизации с кремниевой подложкой и применяются при изготовлении изделий силовой микроэлектроники (ИСМЭ) [5].

Настоящая работа посвящена исследованию адгезионно-барьерных свойств ванадия и нихрома в металлизации с Cu-содержащими сплавами.

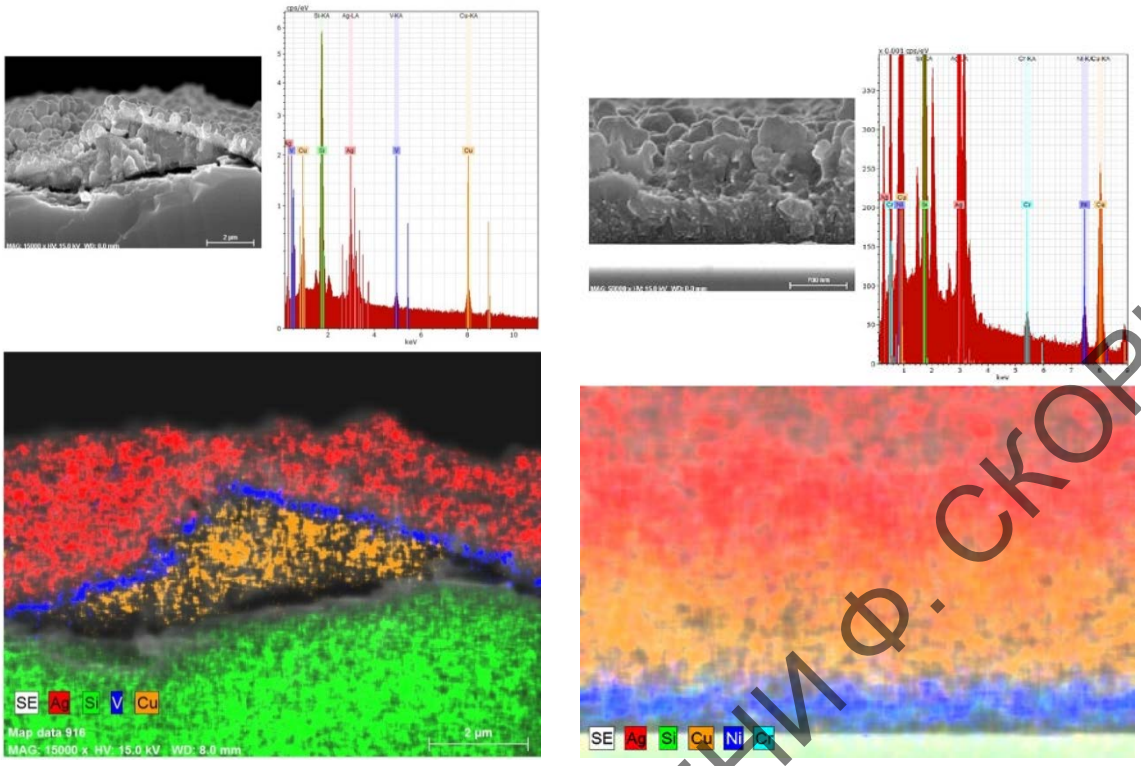
Нанесение многослойной металлизации осуществлялось в едином технологическом цикле на установке вакуумного напыления непрерывного действия типа «Магна-2М» последовательным магнетронным распылением. Разделение пластин на кристаллы проводилось на установке ЭМ2075 методом сквозной дисковой резки. Качество адгезии металлизации определялось после разделения пластин на кристаллы путем отрыва ленты от кристалла.

Анализ топологических слоев проводился на растровом электронном микроскопе S-4800 (ф.Hitachi, Япония). Элементный состав металлизации обратной стороны проводился методом энергодисперсионного рентгеновского микроанализа (EDX) при помощи энергодисперсионного спектрометра Quantex 200 (ф.Bruker, Германия).

При проверке адгезии и снятии кристаллов с ленты наблюдалось полное отслоение металлизации, где в качестве адгезионно-барьерного слоя использовался ванадий (V). При отрыве кристаллов с адгезионным слоем NiCr отслоения не обнаружено, края кристаллов ровные, без шелушений.

Как показал анализ (рисунок 1а), под адгезионным слоем ванадия (V) наблюдается медь, которая может взяться только из сплава ПСр15 (80%Cu и 15%Ag). Причиной этого является поверхностная реконструкция. Согласно диаграмме состояния Cu-V [6], смешения не происходит, соответственно, твердый раствор не образуется. Под температурным воздействием процесса нанесения металлизации медь (Cu) из сплава ПСр15 перемещается к подложке, тем самым ухудшая адгезионно-барьерные свойства металлизации непланарной стороны.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ



а) Металлизация V-ПСр15-Ag б) Металлизация NiCr-ПСр15-Ag

Рисунок 1 – Анализ элементного состава металлизации непланарной стороны

На рисунке 1,б видно, что слои металлизации непланарной стороны распределены равномерно, смешения слоев не наблюдается и при этом обеспечиваются хорошие адгезионно-барьерные. Использование в качестве адгезионного слоя NiCr снижает чувствительность слоя к поверхностной реконструкции.

Таким образом, в результате работы был проведен сравнительный анализ адгезионно-барьерных свойств V и NiCr в металлизации с Cu-содержащими сплавами и было установлено, что эффект сегрегации наблюдается при использовании в качестве адгезионного слоя V, что говорит о потенциальной ненадежности металлизации с ванадиевым адгезионным слоем и Cu-содержащими припоями. Такой эффект приводит к утрате адгезии. Использование NiC с Cu-содержащими припоями обеспечивает необходимые адгезионно-барьерные свойства.

Литература

1. Колесник, Л.Л. Повышение адгезии токопроводящих покрытий на керамических подложках оксида алюминия /Л. Л. Колесник, Мьо Чжо Хлаинг, Зау Пхо Аунг. // Нано-индустрия. Научно-технический журнал. 2018. – № 3. – С. 232–236.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. Method of forming metallization backing for silicon wafer: pat. US 3785892 / Terry L.E., Wilson R.W. – Publ. date 15.04.1974.

3. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры и нанотехнологии / А. И. Гусев. – М: Физматлит, 2005. – 416 с.

4. Ермоленко, С.В. Особенности нанесения и снятия тонкопленочных металлических покрытий при изготовлении пьезорезонаторов / С.В. Ермоленко, К.С. Лысенко, О.В. Прохоренко, А.М. Ярош // Вестник Ом. ун-та. 2012. – №2. – С.88-93.

5. Способ формирования металлизации обратной стороны кремниевой пластины: пат. BY 9677 / Турцевич А.С., Глухманчук В.В., Ануфриев Д.Л., Соловьев Я.А. – дата публ. 30.09.2005

6. Лякишева, Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Н.П. Лякишева. – М: Машиностроение, 2000. – С.85

З. Гусейнова
(КГУТИ имени Ш. Есенова, Актау, Республика Казахстан)
Науч. рук. **Д. Д. Абдешов**, ст. преподаватель

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Нанотехнология начала развиваться как наука в конце двадцатого века, что в основном было связано с основной работой Норио Танигуши и Ричарды Фейнмана, появившейся в 1981 году. Герд Бинниг и Генрих Рорер, сканирующий туннельный микроскоп из цюрихской лаборатории IBM Швейцария. Бурное развитие нанотехнологий началось в начале XXI века и связано с одобрением финансирования программ развития науки США, Японии и Китая. Сегодня наука, нанотехнологии, информационные технологии и электроника, методы производства материалов и их обработки открывают перспективные области в области охраны окружающей среды и энергетики, биологии и медицины, сельского хозяйства, аэрокосмической промышленности. Исторические и основные моменты развития нанотехнологий как науки. Нанотехнологии как наука в медицинской промышленности. Статья интересна как в общеобразовательном плане, так и в научном плане.

Начало XXI века определялось приближением следующей научно-технической революции, важнейшей связью которой является быст-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

рый переход к интенсивной разработке и внедрению высокотехнологичного и сопутствующего оборудования. Одна из перспективных областей науки и техники сегодня - это исследования в области нанотехнологий, которые могут создать беспрецедентные возможности для цивилизации и стать ключом к будущему жизнеобеспечению в различных областях человеческой деятельности. [1]

Актуальность этой проблемы обусловлена, прежде всего, необходимостью усилить контроль над развитием нанотехнологий и нанотехнологий для предотвращения антропогенного кризиса, и, во-вторых, значительным отсутствием исследований по этому вопросу, принимая во внимание современное широкое понимание концепции "технологии". Хотя проделана большая работа по анализу и изучению техники и технологии как зарубежными, так и российскими авторами. Однако нанотехнология, как показывает обзор литературы, все еще обсуждается главным образом в научно-техническом контексте, и в нынешнем довольно слабом социально-гуманистическом материально-философском дискурсе по проблемам нанотехнологий такие вопросы по существу не поднимались. Наконец, как сложная, универсальная динамическая система нанотехнологий, необходимы целостное и адекватное понимание, оценка ее основной роли, ее места и значения в современной человеческой культуре. Мы думаем, что такое понимание может быть составлено в особом метатеоретическом, философском и культурном подходе. Ключевые технологии всегда играли важную роль в истории цивилизации, определяя не только уровень развития производительных сил, но и социально-культурный прогресс в обществе. Взаимосвязь между теорией длинных волн Кондратьевой и технологическими структурами гипотетически определяет начало VI цикла, связанного с конвергенцией NBIC (N-нано-конвергенция; B-био; I-инфо; C-когно-технология).

С точки зрения развития, существует тесная связь между наукой и техникой; Одна из сторон заключается в том, что научные исследования более невозможны без самого высокого уровня современных технологий, и всегда внедряются самые передовые разработки в этих областях. Создание новой технологической структуры возможно благодаря развитию единой, взаимосвязанной, прогрессивной науки и техники, на которую также будут влиять людские, энергетические, природные, транспортные, региональные, трудовые, коммуникационные, финансовые и другие ресурсы, составляющие системные структуры, которые производят определенное поведение системы.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Сегодня ученые и инженеры, кстати, сталкиваются с ожиданием приобретения новых технологических способностей, имеющих большую историческую историю целенаправленных манипуляций с отдельными атомами вещества. В истории культуры известны древние примеры использования «наноматериалов» и «нанотехнологий»: «китайские чернила», «цветные стекла, окрашенные технологией металлических наночастиц, известных в древнем Египте», знаменитая дамасская сталь, изготовленная по наличию в ней нанотрубок, «римские рубиновые кубки» [2].

В нашем случае, при понимании нанотехнологий, акцент будет сделан на воспроизведение этих концепций с их сложными взаимодействиями и взаимозависимостями, и будущая нанотехнология считается аспектом нанотехнологии.

В итоге, любое серьезное изменение в жизни человека предполагает изменение самой культуры, и нанотехнология не является исключением, поскольку в качестве технической концепции она имеет прямые и косвенные отношения с культурой и будет влиять на нее.

Литература

1. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. - М.: Физматлит, 2007, - 416 с.
2. Ковшов, А.Н. Основы нанотехнологии в технике: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров, И.М. Ибрагимов. - М.: ИЦ Академия, 2011, - 240 с.

Д. С. Данилевич (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **Е. В. Телеш,** ст. преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК SiOF, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Для обеспечения перехода на меньшие проектные технологические нормы в микроэлектронной индустрии разрабатываются новые технологии формирования систем металлизации с использованием медных проводников и изолирующих диэлектрических слоев с низкой ($\varepsilon<3,8$) и с ультранизкой ($\varepsilon<2,2$) диэлектрической проницаемостью для увеличения быстродействия и уменьшения энергопотребления СБИС. Диоксид кремния (SiO_2), широко применяющийся в кремние-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

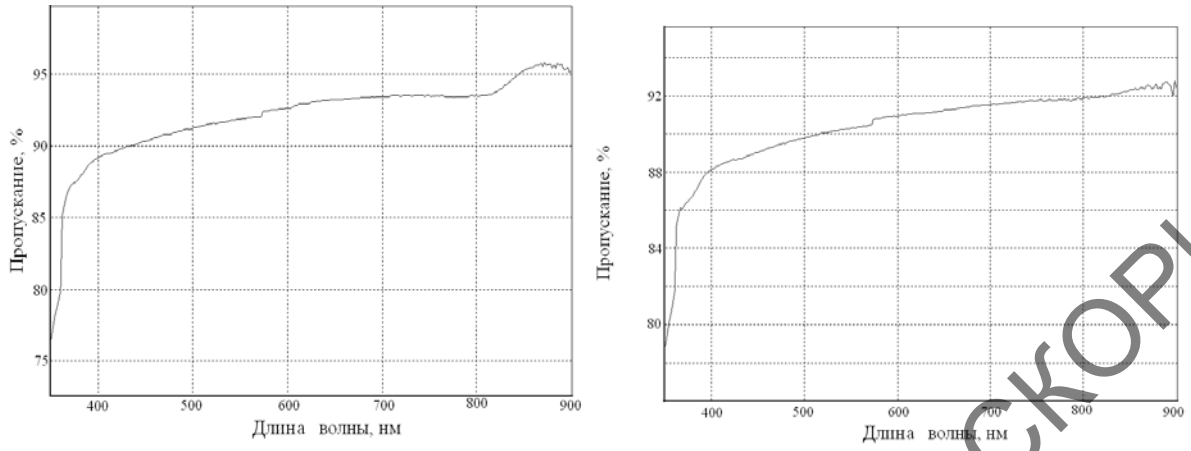
вой технологии, является одним из перспективных материалов для получения диэлектрических пленок, т.к. изменяя его структуру и состав, можно значительно понизить диэлектрическую проницаемость SiO_2 [1]. Существенно понизить значение ε удаётся с помощью легирования диоксида кремния фтором. При легировании оксида кремния фтором получается материал SiOF с ε = 3,5 (по сравнению с ε SiO_2 = 3,9) [2]. Слои обладают высокими защитными свойствами, устойчивы к воздействию влаги и могут использоваться в качестве изолирующих защитных слоев и для изоляции межсоединений ИС. Существующие вакуумные методы формирования межуровневого диэлектрика, основанные на термическом испарении, ионном распылении, связаны с использованием дорогостоящих мишеней и материалов для испарения. Энергия осаждаемых на подложку атомов составляет 0,01–5 эВ, что не позволяет получать тонкопленочные покрытия с высокой адгезией и требуемой микроструктурой при низких температурах подложки. Прямое осаждение из ионных пучков предполагает использования только рабочего газа, причем стоимость последнего намного ниже стоимости мишеней [3].

Экспериментальные исследования проводили на модернизированной установке ВУ-1А, оснащенной ионным источником на основе торцевого холловского ускорителя. Покрытия наносились на подложки из стекла К8, кремния и кремния с пленкой никеля, устанавливаемые на неподвижный держатель. Расстояние подложка–ионный источник составляло ~ 150 мм. В качестве рабочих газов использовались смесь моносилана с аргоном (5 % SiH_4 + 95 % Ar), хладон-14 CF_4 и кислород. Остаточный вакуум в процессе нанесения не превышал значения 4,0х 10^{-3} Па. Ток соленоида составлял 3 А, ток эмиттера электронов – 12–14 А, напряжение на аноде –75–80 В, ток разряда–3,0 А. Температура подложек составляла ~333–603 К. Толщина покрытий определялась с применением микроскопа-микроинтерферометра МИИ-4. Парциальное давление кислорода было постоянным и составляло $4{,}0\cdot10^{-2}$ Па. Давление фреона варьировалось от нуля до $1{,}2\cdot10^{-1}$ Па. Общее рабочее давление составляло $2{,}66\cdot10^{-1}$ Па. При таких режимах скорость нанесения составляла 0,40–0,53 нм/с, а толщина покрытий –100–160 нм.

Спектры оптического пропускания и поглощения в диапазоне λ=350…900 нм определялись при помощи спектрофотометра МС-121. На рисунке 1 приведены спектры оптического пропускания покрытий SiOF, нанесенных при различных парциальных давлениях хладона-14. Установлено, что повышение давления хладона способствует не-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

большому снижению пропускания и увеличению поглощения покрытий.



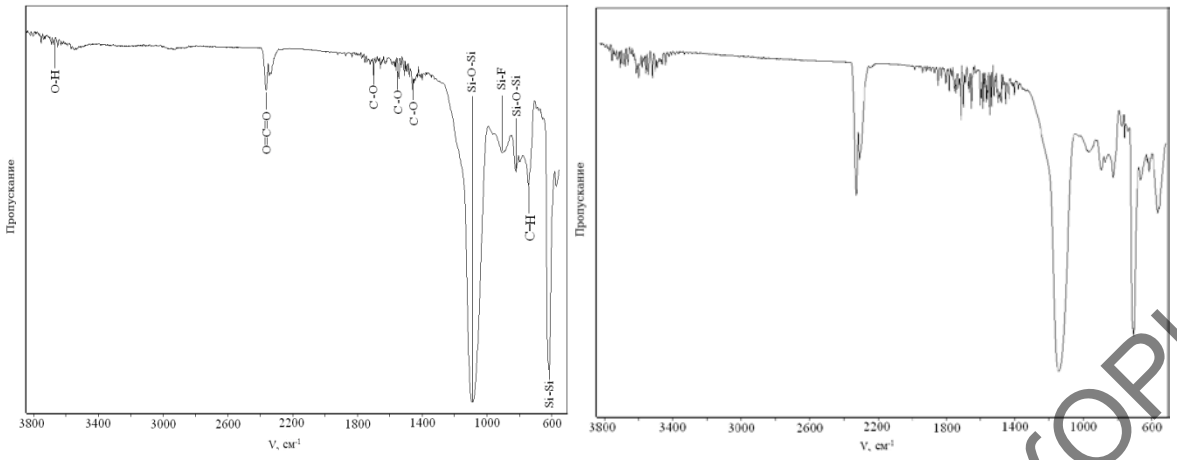
а б

Рисунок 1– Спектры оптического пропускания покрытий SiOF, нанесенных при давлении хладона-14 $6{,}65\cdot10^{-2}$ Па (а) и $1{,}05\cdot10^{-1}$ Па (б)

Нагрев подложки приводил к улучшению оптических характеристик пленок SiOF. Максимальное пропускание 94,5 % было получено при 543 К и парциальном давлении хладона-14 – $8{,}0\cdot10^{-2}$ Па. Нагрев подложки до 603 К привел к росту поглощения и снижению прозрачности до 91,8 %.

Исследования ИК спектров пропускания осуществлялось с помощью установки Фурье ИК спектроскопии Vertex 70 PAM II фирмы BRUKER. На рисунке 2 представлены ИК спектры пропускания пленок SiOF, полученных при разных температурах подложки. На спектре имеются следующие три характерные полосы поглощения SiO_2: ν_{as} =1085 см$^{-1}$, соответствующую валентным антисимметричным колебаниям Si←→O←Si, ν_s=820 см$^{-1}$, соответствующую валентным симметричным колебаниям Si→O←Si, δ_{as}=450 см$^{-1}$, соответствующую деформацион-ным дважды вырожденным колебаниям Si–O–Si. Также на спектре имеется четко выраженная полоса поглощения кремниевой подложки с частотой ~ 607 см$^{-1}$. Установлено наличие полосы поглощения фторида кремния Si–F на частоте ~ 935 см$^{-1}$. Наблюдались также полосы поглощения на связях C–H и C–O. Полоса поглощения на ν=2300–2400 см$^{-1}$ соответствует связи O=C=O. В спектре также были замечены полосы поглощения связи O–H (3800 см$^{-1}$).

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ



а б

Рисунок 2 – ИК спектры пропускания покрытий SiOF, нанесенных при температурах подложки 333 К (а) и 543 К (б)

Установлено, что увеличение парциального давления хладона способствовало уменьшению поглощения на связях О–Н и О=С=О. Нагрев подложки приводил к росту поглощения на связях С–О и О=С=О.

Литература

1. Зайцев, Н.А. Физико-технологические проблемы проектирования ультрабольших интегральных схем с пониженной мощностью потребления /Н.А. Зайцев, И.В. Матюшкин, А.И. Сухопаров // Электронный научный журнал «Исследовано в России».– 2007. – № 836.

2. Телеш, Е.В. Формирование пленок SiOF реактивным ионно-лучевым распылением кварцевой мишени / Е.В. Телеш, О.В. Гуревич, С.А. Юшкевич // Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции, г. Минск, 01–03 ноября 2017 г. БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2017. – С. 287–289.

3. Электрофизические процессы и оборудование в технологии микро- и наноэлектроники: монография / А.П. Достанко [и др.]; под общей ред. А.П. Достанко, А.М. Русецкого.– Минск: Бестпринт, 2011.– 210 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. С. Езерский (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. А. Гольдаде,** д-р техн. наук, профессор

РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОГО УСТРОЙСТВА ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ПЕЛЬТЬЕ

Эффект Пельтье – термоэлектрическое явление, при котором происходит выделение или поглощение тепла при прохождении электрического тока в месте контакта (спая) двух разнородных проводников или полупроводников [1; 2, с. 38]. Величина выделяемого тепла и его знак зависят от вида контактирующих веществ, направления и силы протекающего электрического тока.

Несмотря на широкое применение элемента Пельтье в различных устройствах, его потенциал еще не реализован полностью. На широком потребительском рынке терморегулирующих устройств можно найти лишь холодильники с использованием элементов Пельтье. С другой стороны, вследствие высокой разности температур обкладок, горячая сторона элемента имеет рабочую температуру около 50 °С, поэтому элемент может работать и в нагревательном режиме. Однако только для нагрева гораздо проще и дешевле использовать простые нагревательные элементы.

Цель работы заключается в создании компактного устройства, позволяющего в автономном режиме поддерживать внутри капсулы необходимую температуру. Особенностью устройства является то, что диапазон температур составляет порядка 50-60 градусов (максимальное верхнее значение 60 °С, а нижний предел ограничен лишь системой охлаждения горячей стороны элемента Пельтье).

Блок-схема устройства приведена на рисунке 1.

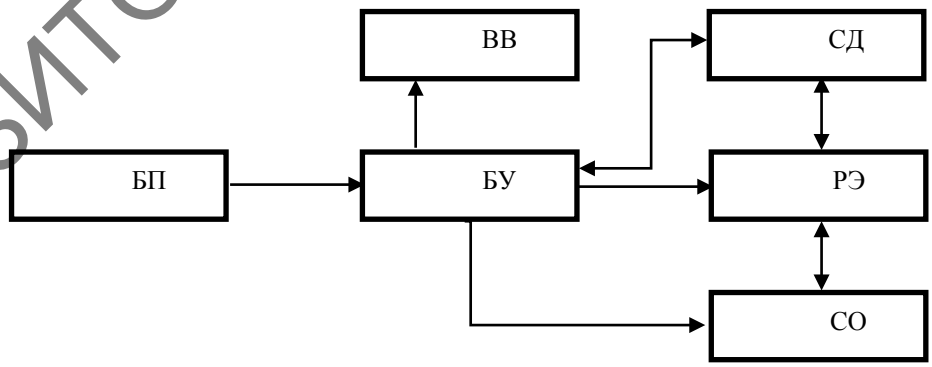


Рисунок 1 – Блок-схема устройства термостабилизации: БП – блок питания, БУ – блок управления, РЭ – рабочий элемент, СД – система датчиков, ВВ – ввод/вывод, СО – система охлаждения

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В устройстве термостабилизации наиболее важным, наряду с элементом Пельтье, является микроконтроллер блока управления. Разработка управляющего узла – первая и самая главная задача при разработке всего устройства. Этот узел можно разбить на составные элементы:

- микроконтроллер, отвечающий за обработку входящих сигналов и значение выходящего сигнала питания на рабочий элемент;
- элементы управления, позволяющие производить изменение входящего на микроконтроллер сигнала и добиваться изменения режима работы;
- датчики, отвечающие за контроль над процессом и позволяющие предотвращать выход из строя элементов системы.

В качестве микроконтроллера был выбран эмулятор Arduino Nano ввиду своей доступности и легкости в использовании.

Принцип работы устройства заключается в следующем. Питание подается на блок управления, к которому подключены все остальные элементы, причем блок управления отвечает за питание каждого из них. Система охлаждения и рабочий элемент взаимосвязаны между собой, а система датчиков позволяет микроконтроллеру блока управления поддерживать всю систему в надлежащем режиме. Экран ввода/вывода позволяет задавать необходимый режим работы и получать своевременную информацию о состоянии устройства.

По результатам измерений максимальный нижний порог (порог охлаждения) на «холостую» достигает порядка -25°С (при подаче максимально допустимого напряжения на элемент, равного 12 В). При этом необходимо использовать водяное охлаждение, т.к. воздушный поток не успевает эффективно отводить тепло от радиатора, что при длительной работе устройства может привести к повреждению элемента Пельтье.

Наиболее рационально использовать воздушное охлаждение при подаче блоком управления на рабочий элемент напряжения 5 В. При этом БП необходим на 12 В, так как эффективный нагнетатель воздуха работает именно при этом напряжении. В такой комбинации на «холостую» нижний предел достигает -5°С.

При проведении испытаний по нагреву и охлаждению объема жидкости 250 мл были получены следующие результаты (Рисунки 1 и 2).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что с помощью компактного маломощного устройства, работа которого основана на эффекте Пельтье, можно, наряду с охлаждающим

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

эффектом, нагревать небольшие объемы жидкости до достаточно высоких температур.

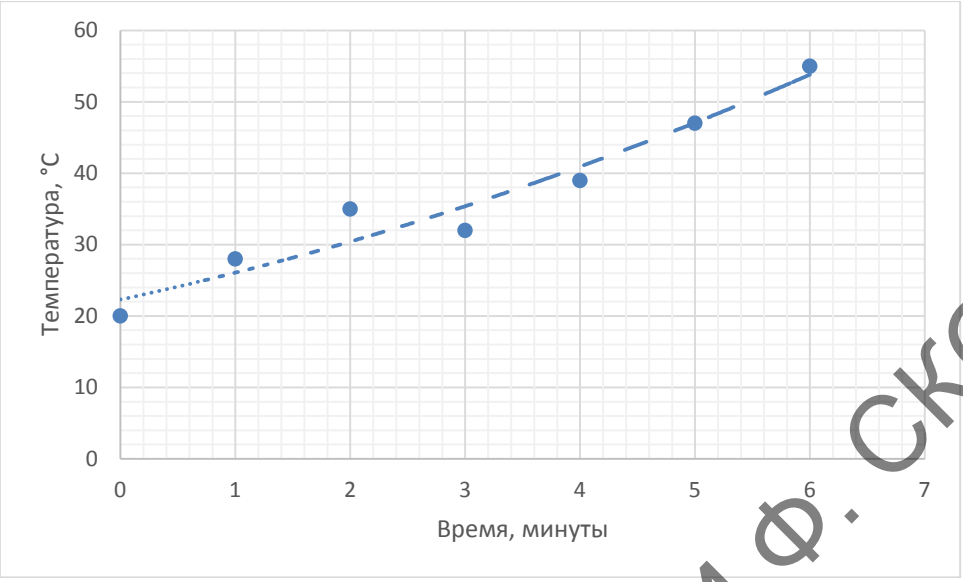


Рисунок 2 – График зависимости температуры нагрева от времени

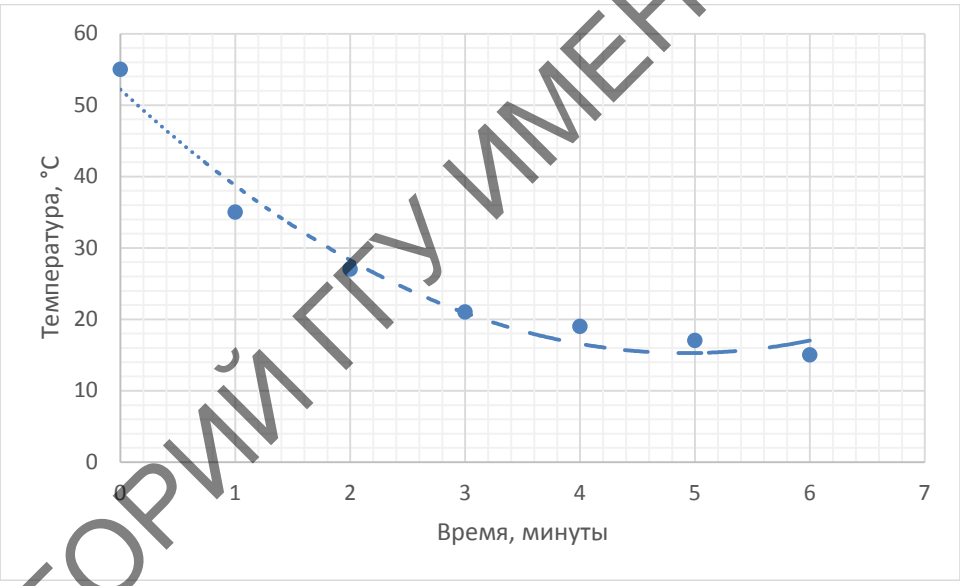


Рисунок 3 – График зависимости температуры охлаждения от времени

Литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. – Изд. 4-е, стереотипное. – М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 2004. – Т. III. Электричество. – 656 с. – ISBN 5-9221-0227-3; ISBN 5-89155-086-5.

2. Гольдаде В.А. Материалы электронной техники: Учебное пособие: в 2-х частях / М-во образования РБ, Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – Ч. 1. – 168 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

О. К. Ермак, Я. И. Тишкова
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОСТАВА СМАЗКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Постоянное совершенствование производственных процессов в области литья под давлением (ЛПД) предъявляет повышенные требования к эксплуатационным материалам, таким как разделительные покрытия (смазки) используемым при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов и полимерных изделий. Применение смазок, а именно нанесение их на рабочую поверхность пресс-формы, является непременным условием необходимым для выполнения следующих задач: предотвращения образования задиров на теле отливки, регулированию теплового режима работы пресс-формы, автоматизации технологического процесса ЛПД [1-3].

Известно [1-4], что в качестве исходных смазывающих материалов, используемых при разработке составов смазок для ЛПД алюминиевых сплавов и полимерных изделий, как правило, выступают растительные и животные жиры и их производные, минеральные и синтетические масла, побочные продукты переработки нефти, горный воск, сложные эфиры жирных одно основных кислот и спиртов (многоатомных или высокомолекулярных одноатомных), амиды жирных одноосновных кислот, синтетические полиэтиленовые воски (низкомолекулярный PE), соли жирных кислот, кремнийорганические жидкости, глицерин, вазелин и др. материалы.

Следует отметить, что выбор основы разрабатываемого состава смазки с применением научно обоснованного подхода, базирующегося на проведении экспериментальных исследований по определению основного технологического свойства смазки – смазывающая способность, позволяющего уменьшить вероятность образования задиров на теле отливок является важной задачей.

Целью настоящей работы является исследование триботехнических характеристик материалов, используемых при разработке многофункционального состава смазки, используемого при ЛПД алюминиевых сплавов, а также полимерных изделий.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В качестве исследуемых материалов выступали: вазелин, глицерин, полиметилсилоксановая жидкость, соапсток, фус, как наиболее перспективные материалы ввиду их экологичности, высокой эррозионной стойкости, низкой газотворности, доступности и относительно невысокой стоимости [1-5].

Триботехнические характеристики материалов, традиционно используемых в составах смазок и вновь предлагаемых выбранных материалов, оценивали по величине коэффициента трения с использованием микротрибометра комбинированного модели FT-2 по схеме «палец – диск». Трибометр комбинированный модели FT-2 предназначен для исследования характеристик трения и изнашивания материалов, а также характеристик смазочных материалов. Нагружение пары трения осуществлялось с помощью автоматизированной системы, приводимой в действие шаговым электродвигателем. При проведении исследований индентор из стали марки ШХ15, имеющий сферическую поверхность, в режиме возвратно-поступательного движения скользил по плоскости диска изготовленной из стали марки 09Г2С. Поверхность диска перед проведением испытания однократно смазывали испытуемыми материалами, формируя сплошной слой смазки толщиной не менее 100 мкм (режим гидродинамической смазки) с использование шприца. Количество наносимой смазки во всех случаях составляло 1 мл. Оценку коэффициента трения в указанной паре проводили под нагрузкой составляющей значение 20 ±1 Н при скорости скольжения индентора 0,015 м/с. При проведении исследований регистрировали силу (момент) трения, нагрузку на пару трения, а также температуру стальной подложки.

Установлено, что значение коэффициента трения для исследуемых материалов находится в пределе от 0,043 до 0,05. В течение времени проведения исследований свыше 2 до 5 с значение коэффициента трения для всех исследуемых материалов лежит в пределе от 0,06 до 0,12. Значение коэффициента трения при времени проведения исследований более 5 секунд практически не изменяется, и для всех исследуемых материалов находится в диапазоне значений коэффициента трения от 0,12 до 0,34, при этом слой смазочной пленки работает в граничном режиме.

Результаты исследований показали, что значение коэффициента трения в момент страгивания индентора по поверхности стального диска при использовании вазелина составило значение 0,065, при использовании ПМС100 – 0,06. Полученные результаты триботехнических испытаний вазелина и ПМС100 указывают на возможность их

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

использования в качестве компонентов технологических смазок для разделения контактирующих поверхностей на границе раздела отливка-стержень. В пользу данного утверждения свидетельствует низкое значение коэффициента трения в начальный момент подрыва индентора трибометра. Однако вазелин и ПМС100 не обладают достаточной несущей способностью смазочного слоя, что отражается в повышении значения коэффициента трения для данных материалов в режиме возвратно-поступательного движения индентора по поверхности стального диска (около 0,18 и 0,3).

Следует отметить, что в состоянии поставки перед проведением исследований триботехнических характеристик соапстока и фуса проводили предварительное отстаивание указанных материалов в течение 3 месяцев вследствие неоднородности состава названных материалов по объему.

Экспериментально установлено, что при использовании отстоявшейся фракции соапстока и фуса значения коэффициента трения в момент страгивания индентора по поверхности стального диска составляют 0,05 и 0,043 единицы соответственно, что в среднем в 1,4–1,8 раза ниже, чем при использовании не отстоявшейся фракции данных материалов. Полученный результат можно объяснить тем, что в отстоявшейся фракции (20 % от объема) присутствует меньшее количество воды и более значительное количество предельных и непредельных жирных кислот (стеариновая и олеиновая) общий процент которых в объеме достигает 78 %.

Литература

1. Пивоварчик, А.А. Исследование смазывающей способности материалов, используемых при разработке составов смазок для литья алюминиевых сплавов под давлением / А.А. Пивоварчик, А.М. Михальцов // Литье и металлургия. – 2012. – № 1 (64). – С. 95–97.

2. Михальцов, А.М. Материалы разделительных покрытий пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, С.К. Дятловский // Литейщик России. – 2012. – № 7. – С. 38–40.

3. Пивоварчик, А.А. Эрозионная стойкость разделительных покрытий при литье под давлением Al-сплавов / А.А. Пивоварчик // Литейное производство. – 2017. – № 1. – С. 23–26.

4. Пивоварчик, А.А. Влияние разделительных покрытий на качество отливок при литье алюминиевых сплавов под давлением / А.А. Пивоварчик, Е.А. Горбачевский, А.М. Михальцов // Литье и ме-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

таллургия. – 2014. – № 2 (75). – С. 78–81.

5. Михальцов, А.М. Перспективные материалы, используемые при разработке составов смазок для литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, А.А. Скаскевич // Литье и металлургия. – 2019. – № 3. – С. 70–73.

А. А. Зайцев (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. А. Ярмоленко**, д-р. техн. наук, доцент

АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ СМОЛЫ К42 И УГЛЕВОДОРОДОВ

Анализ композиционных слоев на основе кремнийорганической смолы и полиэтилена/политетрафторэтилена проводится по методике однокомпонентных. Такой подход обусловлен тем, что в композиционном слое оптические плотности полос поглощения углеводородного компонента в области 1300÷950 см$^{-1}$ значительно уступают величинам оптических плотностей полос кремнийорганического компонента. Фторопластовый компонент покрытия также не препятствует проведению ИК анализа кремнийорганического компонента композиционного покрытия.

Под воздействием низкоэнергетичного потока электронов композиционная мишень приобретала черный цвет. Такое же воздействие на порошки кремнийорганической смолы и ПТФЭ в отдельности не сопровождалось заметным изменением цвета. Процесс образования сажеподобного порошка косвенно указывает на протекание интенсивных химических реакций между продуктами деструкции компонентов мишени.

Давление продуктов диспергирования, генерируемых воздействием потока электронов на композиционную мишень К42 – ПТФЭ, не превышало 0,04 Па. Аналогичное воздействие на порошок ПТФЭ приводило к повышению давления в вакуумной камере до 0,06 Па. Увеличение массовой доли фторопластового компонента в смеси инициировало лишь незначительное монотонное увеличение давления генерируемых продуктов диспергирования. В целом, механическая смесь порошков при электронно-лучевом воздействии вела себя как однородный материал. В случае отсутствия химического взаимо-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

действия между продуктами диспергирования компонентов мишени подобное явление не имело бы места.

Следствием химических реакций является снижение доли циклических соединений D3 в тонком формируемом слое. Кремнийорганический компонент композиционного слоя характеризуется существенно более низкими значениями соотношения Si–O/C6H5 в сравнении с аналогичной величиной для однокомпонентного слоя. Таким образом, продукты электронно-лучевого разложения фторопластового компонента способствуют разложению Si–O связей. Это легко объяснимо, так как реакции разложения связей Si–O–Сгалогенводородами хорошо изучены. Образование HF в процессе разложения фтор- и водородсодержащих полимеров является термодинамически выгодным процессом. Увеличение массовой доли политетрафторэтилена должно в большей степени инициировать указанные процессы образования фторводорода и разрушения Si–O связей, что и подтверждается результатами ИК спектроскопии в таблице 1.

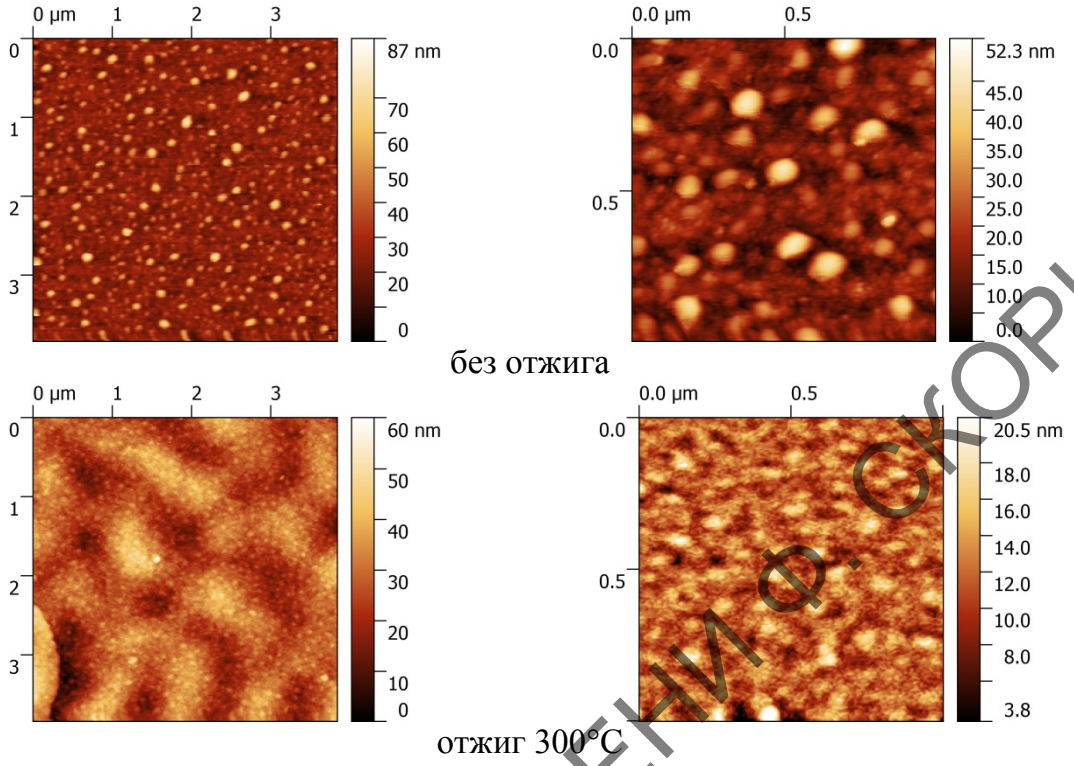
Таблица 1 – Результаты ИК спектроскопических исследований порошка кремнийорганической смолы К42

Материал	(C_6H_5/CH_3)	$Si–O/C_6H_5$	$D3/C_6H_5$	Si–O/D3
Исходный порошок	1,73	1,61	1,36	1,18
Исходный порошок после отжига (500°C)	1,59	1,51	1,05	1,44
Исходный порошок после воздействия потока электронов (начальный период)	1,99	1,51	1,11	1,36
Исходный порошок после воздействия потока электронов (заключительный период)	4,06	1,65	0,99	1,67
*D3 – циклотрисилоксан				

Согласно данным ИК спектроскопического анализа композиционные покрытия могут рассматриваться как высокодисперсные механические смеси модифицированных исходных компонентов мишени. Отжиг покрытий при температуре ниже 300°C не отражается на молекулярной структуре компонентов тонкого слоя.

Результаты АСМ исследований композиционных покрытий на основе ПТФЭ и кремнийорганической смолы представлен на рисунке 1.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ



без отжига

отжиг 300°С

4х4 мкм 1х1 мкм

Рисунок 1 – Результаты АСМ исследований покрытий К42 – ПТФЭ (4:1)

Фторопластовый компонент композиционного слоя ответственен за образование на поверхности крупных элементов. На это указывает то обстоятельство, что в процессе отжига происходит исчезновение данных поверхностных элементов. Ранее было показано, что крупные капельные образования на основе кремнийорганической смолы при отжиге не подвержены заметным изменениям формы. Интенсивно диспергируемый фторопластовый компонент мишени препятствует формированию сшитого керамического слоя на поверхности мишени. Соответственно снижается продолжительность терморадиационного воздействия на генерируемые продукты диспергирования кремнийорганической смолы. Массовая доля фторопласта обратно пропорциональна продолжительности подобного воздействия. Это косвенно подтверждается тем, что наименьший размер зерен характерен для композиционных слоев с наибольшим массовым содержанием ПТФЭ в мишени.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. В. Зеленко (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

ПОЛУЧЕНИЕ ФИКСАТОРОВ АРМАТУРЫ НА ОСНОВЕ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА

Современные полимерные материалы благодаря своим уникальным свойствам являются незаменимыми в различных отраслях промышленности и строительстве. Однако использование первичного сырья на основе полимеров сегодня является сравнительно дорогостоящим мероприятием. Поэтому, чтобы снизить стоимость конечной продукции, используют вторичное сырье [1].

Актуальной видится и проблема сохранения характеристик первичных материалов при регенерировании отходов полиолефинов.

Цель данной работы заключалась в получении фиксаторов арматуры, изготовленных из регенерированного полипропилена на базе предприятия ОАО «Белвторполимер» и последующего сравнения их характеристик с изделиями из первичного полипропилена.

Фиксаторы арматуры – небольшие закладные изделия из пластмассы, устанавливаемые в строительных конструкциях перед бетонированием. Позволяют фиксировать арматуру в определенном положении, а также создавать для нее защитный слой бетона.

Конструкции функциональных крепёжных элементов (рисунок 1) для использования в стройиндустрии могут быть изготовлены из материалов на основе регенерированного полипропилена методом литья под давлением [2, 3]. Как правило, фиксаторы изготавливают из высокопрочного, устойчивого к коррозии пластика. Такие материалы выдерживают достаточно большие перепады температур и не подвергаются окислениям и коррозии.

а) б) в)

Рисунок 1 – 3D-модель фиксатора арматуры различной конструкции
а) – колесико 30×4; б) – колесико 60×5; в) – универсальный

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Для проведения сравнительных испытаний использовали вторичный материал на основе полипропилена производства ОАО «Белвторполимер» (БП) и первичный полимер марки PP H250/3.

Образцы для испытаний были изготовлены на термопластавтомате марки ENGEL Victory 650/160.

Методологическую основу исследований составили методы определения реологических характеристик с использованием установки ИИРТ-119 предназначенной для определения показателя текучести расплава (ПТР) полимеров на основе термопластичных матриц по ГОСТ 11645-73. Результаты оценки параметров реологических характеристик по критерию ПТР в стандартных условиях испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Реологические характеристики материалов на основе первичного и регенерированного полипропилена

Полимерный материал	ПТР, г/10 мин	Т, °С
ПП (вторичный) БП	4,85	200
ПП (первичный) PP H250/3	5,90	200

Оценку деформационно-прочностных характеристик образцов осуществляли на разрывной машине ИР 5047–50. Исследования параметров деформационно-прочностных характеристик полимерных материалов проводили на образцах, изготовленных литьем под давлением с соблюдением общих требований по ГОСТ 12019-66. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры деформационно-прочностных характеристик материалов на основе полипропилена

Полимерный материал	Параметры характеристик					
	Физический предел текучести, МПа	Деформация при физическом пределе текучести, %	Прочность при максимальном усилии, МПа	Деформация при максимальном усилии, %	Прочность при разрушении, МПа	Деформация при разрушении, %
ПП (вторичный) БП	23,75	12,88	23,75	12,88	11,30	124,04
ПП (первичный) PP H250/3	30	15	27	14,5	18	80

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Результаты испытаний по определению ударной вязкости по Шарпи представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Стойкость образцов материалов на основе первичного и регенерированного ПП к воздействию ударных нагрузок

Полимерный материал	Параметр ударной вязкости по Шарпи, кДж/м^2
ПП (вторичный) БП	1,06
ПП (первичный) PP H250/3	1,44

Дифференциально-термический анализ проводили на приборе Термоскан-2, который предназначен для определения температуры и оценки теплоты фазовых переходов и других процессов, связанных с выделением или поглощением тепла.

В результате проведенной исследовательской работы, поставленная цель была достигнута и сделаны следующие выводы:

- параметры деформационно-прочностных характеристик показывают, что регенерированный полипропилен может быть использован для изготовления фиксаторов арматуры;
- результаты исследований по параметрам реологических характеристик показывают, что при ПТР в области температур переработки 200–220 °С регенерат полипропилена может быть переработан в крепежные изделия методом литья под давлением;
- результаты испытаний по определению ударной вязкости демонстрируют достаточную стойкость фиксаторов арматуры на стадии монтажа и обеспечивают фиксирующую функцию на стадии заливки бетонной смеси в опалубку;
- результаты исследований первичных и регенерированных материалов на основе полипропилена методом ДТА подтверждают, что термомеханические характеристики составов даже после рециклинга сохраняются и не оказывают существенного влияния на способ переработки, но требуют корректировки технологических режимов переработки в изделия.

Литература

1. Суворова, А.И. Вторичная переработка полимеров и создание экологически чистых полимерных материалов / А.И. Суворова // Федер. агентство по образованию, Урал. гос. ун-т им. А.М. Горького. – Екатеринбург, 2008. – 126 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. Струк, В.А. Структура композиционных материалов на основе механических смесей термопластов / В.А. Струк // Пластические массы. – 1985. – №12. – С. 37.

3. Бобович, Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы : учеб. пособие / Б.Б. Бобович. – М. : МГИУ, 2009. – 384 с.

П. А. Кацубо (БелГУТ, Гомель)
Науч. рук. **Д. И. Бочкарев**, канд. техн. наук, доцент

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕРМОПЛАСТКОМПОЗИТОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В течение последних лет полимерные материалы нашли применение во всех сферах строительства и стали конкурентоспособными по отношению к таким материалам как бетон, асфальтобетон, метал, дерево и керамика. На сегодняшний день трудно представить развитие современных технологий без использования новых полимерных материалов.

Современное развитие технологий строительного производства совместно с технологиями полимерных композитов, позволяет создавать дорожно-строительные материалы [1–3], имеющие более высокие физико-механические свойства, что способствует внедрению альтернативных традиционным технологических процессов строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог.

В ходе проведенного анализа физико-механических свойств термопласткомпозита и асфальтобетона определено, предел прочности при растяжении термопласткомпозита выше на 76 %, водонасыщение ниже на 95 %, а набухание ниже на 83 % в сравнении с аналогичными показателями асфальтобетона. Данное сравнение полученных физико-механических свойств термопласткомпозита со свойствами асфальтобетона позволяет предположить возможность его использования при ремонте и строительстве ответственных участков автомобильных дорог и прогнозировать повышение их долговечности. В то же время стоимость термопласткомпозита составляет 1056,0 бел. руб./т, что на 90 % выше стоимости асфальтобетона. Это затрудняет их широкое использование в дорожном строительстве [4].

На наш взгляд исследуемый материал может быть эффективен в качестве покрытия мостов и путепроводов, где требуется выдерживать

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

значительные нагрузки, а также на других высоконагруженных участках автодорог: полосах разгона и торможения, остановках общественного транспорта и других участках с большими транспортными нагрузками. Учитывая высокую стоимость таких сооружений и значительные затраты на их ремонт, а также возможный ущерб от потери несущей способности, применение термопласткомпозитов может дать экономический эффект, заключающийся в снижении затрат на эксплуатацию транспортного объекта вследствие повышенной долговечности материала.

Анализ свойств и технологических особенностей термопласткомпозита позволяет предложить следующие варианты их укладки в дорожное покрытие:

1. Изготовление крупногабаритных формованных изделий (плит, блоков, настила и т.д.) и их укладка в качестве дорожной одежды.

2. Укладка термопласткомпозита в вязкотекучем состоянии (аналогично асфальтобетону), что требует сохранения рабочей температуры термопласткомпозита в процессе укладки в дорожное покрытие. Выполнение данного требования возможно при перевозке в теплоизолированных миксер-бункерах с последующей гравитационной укладкой. При этом уплотнение в дорожном покрытии возможно производить также аналогично асфальтобетону. В то же время для успешной реализации процесса необходимо исследование закономерностей влияния массы катка при статическом воздействии на материал, а также частоты и амплитуды колебаний при вибрационном уплотнении на коэффициент уплотнения и физико-механические свойства полученного покрытия, что позволит оптимизировать рецептуру материала и технологические режимы воздействия на него непосредственно в слое дорожной одежды [4].

Литература

1. Datta M. Compose – future in progress. / M. Datta // Man-Made Text. India. – 2008. № 12, p. 421-428.

2. Ehrenstein G.W. Polymer materials: Structure, properties, applications. Munchen, Carl Hanser Verlag, 2001.

3. Кацубо, П.А., Доломанюк Р.Ю., Петрусевич В.В. Перспективы развития технологий покрытий автомобильных дорог / П.А.Кацубо и др. – Научная дискуссия современной молодёжи: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей IX Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019, с. 15 – 17.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

4. Оценка физико-механических свойств термопласткомпозитов для их применения в технологических процессах строительства и ремонта покрытий автомобильных дорог / Бочкарёв, Д.И., Кацубо, П.А., Петрусевич, В.В., Шаповалов, В.М. // Научн.-техн. журнал. Автомобильные дороги и мосты. – 2019. – № 2 (24). – С. 44–48.

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

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ АВТОБУСОВ МАЗ-107 НА ПРИМЕРЕ ОАО «АВТОБУСНЫЙ ПАРК Г. ГРОДНО»

При выполнении городских пассажирских перевозок широко используются серийно выпускаемые автобусы особо большой вместимости общего назначения. Например, автобус МАЗ-107 способен вместить более 150 человек. Городские перевозки характеризуются большими объемами пассажиропотока и максимальной загрузкой автобусов (до 15 тонн), особенно в часы пик. В этих условиях на среднестатистический маршрут протяженностью около 20 км и длительностью от 40 минут до одного часа приходится не менее 50 поворотов, 100 торможений и разгонов, 200 переключений передач, около 50 остановок (включая перекрестки и места посадки/высадки пассажиров). В связи с этим несущая система автобуса, его узлы и агрегаты испытывают воздействие комплекса нагрузок и моментов сил. Следует учитывать, что автобусы выходят на линию круглогодично при любых погодных условиях, работают при высоких и низких температурах окружающей среды, загазованности и запыленности городского воздуха Таким образом, эксплуатация подвижного состава в городском цикле сопряжена с его интенсивным физическим износом.

Для поддержания исправного технического состояния подвижной состав подвергается техническому обслуживанию (ТО) и текущему ремонту (ТР). Однако планово-предупредительная система ТО и ремонта не исключает вероятность возникновения отказа автобуса на линии. В связи с этим анализ отказов подвижного состава на линии позволит выявить наиболее характерные поломки для заданных условий эксплуатации и обоснованно предложить мероприятия по совершенствованию системы ТО и ТР подвижного состава автобусного парка.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Целью настоящей работы явилось проведение анализа отказов автобусов МАЗ-107, как первого этапа решения задачи более эффективного функционирования предприятия за счет совершенствования системы обслуживания и ремонта подвижного состава, сокращения издержек, возникающих при сходе автобусов с линии.

Исследования проводились на базе ООО «Автобусный парк» г. Гродно». Анализ проводился с целью выявления причин отказов автобусов на линии.

Статистические данные были получены в виде электронного журнала, который представляет собой набор не систематизированных записей по отказам и неисправностям автобусов, и поэтому одной из главных задач была систематизация и анализ этих данных.

На рисунке 1 представлены данные по причинам схода автобуса МАЗ 107 с линии, взятые за годичный период эксплуатации.

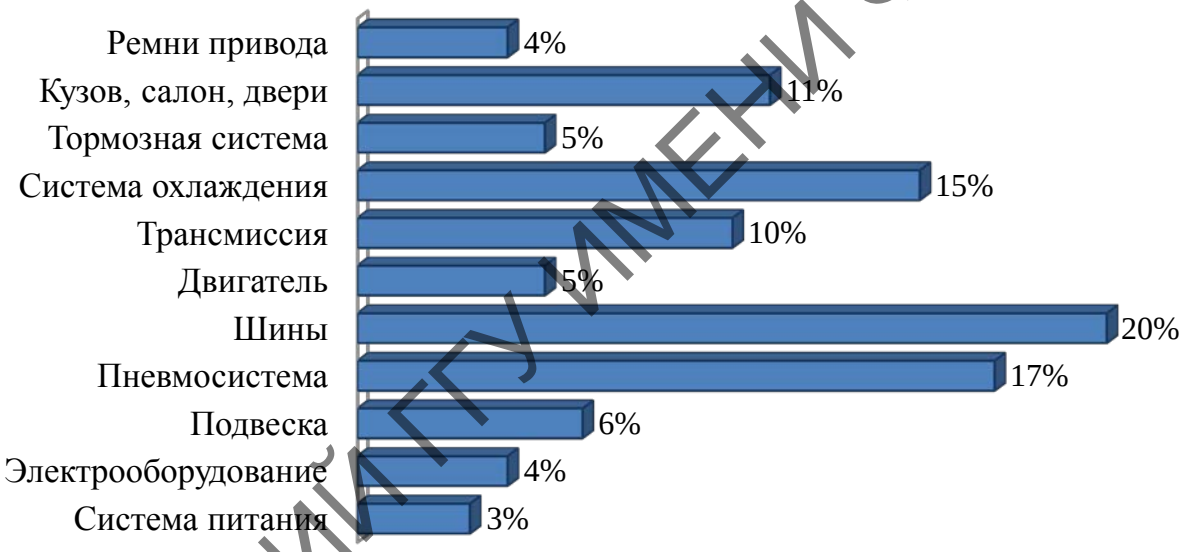


Рисунок 1 – Распределение отказов автобуса МАЗ 107 по узлам и агрегатам

Установлено, что при эксплуатации возникают отказы как регламентированного, так и специфического для пассажирского транспорта характера. Например, нередки неисправности дверей пассажирского салона, возникающие на линии. По приведенным данным максимальное число отказов было зафиксировано по следующим системам, узлам и агрегатам: шины, пневмосистема, трансмиссия, система охлаждения, двери салона.

Таким образом, полученные данные позволяют моделировать поток заявок на соответствующие ремонтные работы, снизить вероятность отказов за счет предупредительных мер, снизить простой автобусов на ремонте и в ожидании ремонта.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

М. С. Клакевич (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **С. В. Бордусов,** д-р. техн. наук, профессор

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В ПРОТОЧНЫХ ТУННЕЛЬНЫХ РЕАКТОРАХ ПРИ СРЕДНЕМ ВАКУУМЕ

Для ВЧ разрядов существует разные способы возбуждения. К первой группе относятся индукционные разряды, где разряд возбуждается путем подачи переменного тока в соленоид, внутри которого расположен реактор из диэлектрического материала. Ко второй группе относятся разряды, в которых переменное напряжение подается на электроды, которые могут находиться в непосредственном контакте с плазмой, либо быть изолированными от нее.

Материалом для реакторов объемных систем служит кварцевое стекло, окись алюминия, алунд. Тип материала стенки влияет на скорость гибели заряженных и нейтральных частиц в плазме.

Энергия внешнего источника превращает плазмообразующий газ в «активный» газ – плазму: ионы, электроны, атомы и радикалы. Компоненты плазмы реагируют с поверхностью обрабатываемого образца, где происходит рекомбинация и химическое или физическое взаимодействие с тонким поверхностным слоем [1].

Специфической особенностью травления материалов в плазме является наличие целого ряда одновременно и независимо друг от друга протекающих реакций, особенно при использовании многокомпонентных газовых смесей.

Опыт эксплуатации высокочастотных планарных и объемных реакторов показал на непригодность туннельных проточных реакторов с объемным расположением подложек для проведения прецизионных процессов травления пленочных материалов по следующим причинам: высокая неравномерность травления по пластине и в партии пластин; невоспроизводимость процесса от цикла к циклу обработки; сильный нагрев в процессе обработки; низкая анизотропия процесса и т.д.

Однако в ряде случае для многослойных структур требуется получение наклонного профиля травления.

Общей особенностью всех реакторов объемного типа является кассетная загрузка (26-100 подложек). Высокая производительность установок – их главное достоинство. В то же время кассетная загрузка

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

чрезвычайно затрудняется создания условий для проведения равномерной обработки всех подложек, находящихся в реакторе.

Установлено, что для достижения высокой равномерности плазмохимического удаления материалов необходимо: вводить стабилизацию температуры обратном с точностью ±2°С; выравнивать концентрацию активных частиц в зоне генерации с помощью устройств организации «газового потока» и обеспечивать эквидистантность зоны генерации и всех обрабатываемых поверхностей; вводить устройства для фиксации положения образцов в реакционной зоне и положения реакционной зоны в реакторе; обеспечивать возможность быстрой смены или очистки реакционной камеры перед каждым циклом обработки.

Стабилизация температуры подложек в процессе обработки не производится. Изготовив подложкодержатель специальной формы, в принципе можно добиться стабилизации температуры, но это усложнит конструкцию реактора [1].

На равномерность процессов обработки оказывает влияние соотношение поперечных размеров реактора и подложек. Это связано с газодинамическими условиями в зоне обработки подложек. Так как рабочее давление в реакторной камере $p \ll 7.3$ Па, то в этом случае реализуется вязкостный режим течения газа, при котором характер распределения скорости в поперечном сечении определяется силами внутреннего трения. Внесение пластин в зону движения газа приведет к искажению газового потока, а взаимная экранировка пластин выразится в неравномерной доставке активных частиц к различным точкам их поверхности, что должно отрицательно сказаться на равномерности обработки [1].

Экспериментально установлено, что для проведения плазмохимических процессов травления диаметр реактора должен быть в 3.5-4.5 раза больше диаметра подложки. Выдержать такое соотношение при обработке подложек диаметром 100-150 мм и более технически сложно, так как увеличение объема реакционной камеры вызывает необходимость повышения производительности откачных средств, мощности генератора электромагнитных волн и т.д. [2]

Невоспроизводимость процесса от цикла к циклу обработки возникает либо за счет разных температур стенок реакционной камеры, либо за счет откачки до различных степеней остаточных давлений, что сказывается на воспроизводимости скоростей травления материалов. При этом основную дестабилизирующую роль играют различные

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

примеси и загрязнения, попадающие в объем реакционной камеры вместе с воздухом во время разгерметизации [2].

Разогрев подложек в процессе травления приводит к повышению скорости обработки, но и к увеличению подтрава под маску и деградации фоторезистивных масок. Следствием неодинакового и неконтролируемого подогрева подложек в ходе процесса обработки могут являться различные скорости травления, что выражается в невоспроизводимости результатов от цикла к циклу и неравномерности обработки. В связи с этим температуру подложек стараются снизить и стабилизировать на одном уровне.

При работе на высоких давлениях вследствие уменьшения длины свободного пробега частиц снижается направленность и увеличивается хаотичность их движения. Это вызывает ухудшение профиля травления и выражается в подтравливании за счет снижения анизотропии процесса. Плазменное травление в объемном реакторе изотропно и величина подтрава и профиля травления зависят от давления и мощности, подводимой к разряду.

Наиболее очевидным технологическим преимуществом использования прямоточных реакторов туннельного типа является высокая скорость процессов плазмохимической обработки. Поэтому в производстве изделий электронной техники плазмохимическая обработка материалов в условиях среднего вакуума будет наиболее эффективна на операциях удаления фоторезиста, очистки поверхности подложек от органических и неорганических загрязнений, планаризации слоев маскирующих (фоторезисты, полиимид) покрытий, а также при травлении рельефа структур микроприборов, допускающих изотропный профиль травления [2].

Литература

1. Достанко А.П., Бордусов С.В. Плазменные СВЧ технологии в процессах инженерии поверхности // Физическая -инженерия поверхности – 2003. – Т. 1, №1. – С. 7-18

2. Галперин В.А., Данилкин Е.В., Мочалов А.И. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях : учебное пособие / под ред. С.П. Тимошенкова – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 283 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

П. В. Клочко, И. В. Капцевич, Ю. С. Ковалевский
(УО «ГрГУ им. Янки Купалы», Гродно)
Науч. рук. **В. А. Струк**, д-р. техн. наук, профессор

НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В различных областях функционирования социумов используют функциональные изделия, задачей которых является предотвращение или снижение интенсивности неблагоприятного действия эксплуатационного фактора или их сочетания на организм человека при выполнении им функциональных обязанностей, обусловленных его профессиональными компетенциями. К числу таких изделий относятся шприц-тюбики, используемые при проведении специальных операций для обеспечения функциональных действий подразделений в соответствии с их назначением, в том числе при возникновении экстремальных ситуаций.

Подобные изделия должны удовлетворять комплексу параметров, обуславливающих их эффективное применение в экстремальных ситуациях, в том числе деформационно-прочностных, технологических, в сочетании с биохимической активностью для предотвращения негативных процессов при действии различных поражающих факторов на спецподразделения.

Анализ литературных и патентных источников по проблемам создания функциональных материалов, сочетающих параметры деформационно-прочностных и биохимических характеристик в заданном диапазоне значений, указывает на перспективность исследований в области создания нанокомпозиционных материалов на основе термопластичных матриц, модифицированных нанокомпонентами органической и неорганической природы, находящимися в особом энергетическом состоянии – наносостоянии [1, 2].

Анализ показывает, что в научных и специализированных организациях и учреждениях Беларуси подобные исследования системно не осуществляются, а известные литературные данные носят, преимущественно, фрагментарный или предположительный характер.

При этом ведущие научные центры в странах ЕС, Южно-Азиатского региона и Америки интенсивно разрабатывают методологические подходы к созданию материалов с синергическим состоянием параметров деформационно-прочностных, технологических характеристик и выраженной бактерицидностью изделий, которые широко

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

используют на разных отраслях промышленного производства, прежде всего в качестве упаковочных компонентов медицинских изделий (эндопротезов, шприцов), а также для изготовления изделий специального назначения, используемых в системах обеспечения Вооруженных Сил и функциональных подразделений служб обеспечения безопасности.

Анализ научных, патентных и коммерческих исследований в области материаловедения и нанотехнологии функциональных полимерных нанокомпозитов позволил выдвинуть в качестве приоритетных гипотезу о возможности направленного использования феномена наносостояния для получения композиционных материалов с выраженным эффектом бактерицидности путем введения в состав термопластичных матриц наноразмерных частиц заданного состава и природы.

Целью данной работы являлась разработка композиционных материалов на основе полимерных матриц с заданным сочетанием деформационно-прочностных, биохимических и технологических характеристик для изготовления изделий специального назначения.

Объектом исследования выступали нанокомпозиционные материалы на основе термопластичных матриц, модифицированных компонентами, оказывающими влияние на параметры деформационно-прочностных, технологических характеристик и биохимическую активность в процессах эксплуатации изделий.

Разработаны составы и технологии изготовления нанокомпозитов на основе полиолефинов (ПП, ПЭНД, ПЭВД) и изделий с выраженным бактерицидным действием. В качестве целевых модификаторов нанокомпозиционных материалов использовали хитозан и хитиновые волокна различной технологии синтеза.

Хитозан в большинстве случаев обладает разнообразной биологической активностью [3]. Продукты на основе хитозана обладают биодеградируемостью, радиационной устойчивостью, биосовместимостью. Хитозан и его производные проявляют антибактериальные, иммуностимулирующие, противоопухолевые, ранозаживляющие и другие свойства. По токсичности хитозан относится к 4-му классу и считается безопасным [3], поэтому данный полимер находит все более широкое применение в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве и т.д. [3–5].

В результате использования энергетического потока с заданной интенсивностью на разных стадиях процесса подготовки модифицирующих компонентов (хитиновых волокон), изготовления композита,

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

переработки его в изделие, обработки изделий и их эксплуатации удалось получить направленное изменение морфологии поверхности слоя частиц функционального модификатора, целевое изменение её энергетических характеристик, структурирование поверхностного слоя изделия вследствие локального энергетического воздействия, приводящего к ликвидации дефектов в виде пор, кластерных структур и бесструктурных участков, формирование устойчивых разделительных слоёв со свойствами ингибиторов изнашивания.

Разработаны оригинальные конструкции элементов, используемых в лечебной практике, обеспечении подразделений Министерства обороны, Министерства чрезвычайных ситуаций, специальных ведомств – инъекторов для введения антидотов.

Литература

1. Введение в физику нанокомпозиционных машиностроительных материалов: монография / С. В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В. А. Лиопо, В. А. Струка. – Гродно : ГГАУ, 2009. – 438 с.

2. Авдейчик, С. В. Фактор наносостояния в материаловедении полимерных нанокомпозитов / С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2017. – 468 с.

3. Хитин и хитозан: получение, свойства и применение / под ред. К.Г. Скрябина, Г.А. Вихоревой, В.П. Варламова. – М.: Наука, 2002.– 368 с.

4. Технологические основы получения хитина и хитозана из насекомых / Курченко В. П. [и др.] // Труды БГУ. – 2016. – Т. 11, ч. 1. – С. 110–126.

5. Нанокомпозитные серебросодержащие раневые покрытия на основе хитозана / Р.И. Довнар, С.М. Смотрин, С.С. Ануфрик, О.В. Павлова, В.Н. Бурдь // Медицинские новости. – 2018. – № 8. – С. 71–78.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

М. А. Коваленко, В. Ю. Гарбарук (ГГУ имени Ф. Скорины)
Науч. рук. **В. А. Гольдаде,** д-р. техн. наук, профессор

ЭЛЕКТРЕТНЫЙ ЭФФЕКТ В НАНОКОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Электретное состояние характерно для большинства полимерных диэлектриков. Поверхностные и объемные заряды в диэлектрике формируются как при его непосредственном изготовлении (так называемый «технологический заряд»), так и при дополнительной поляризации образца. При этом последующая обработка образцов может приводить как к росту, так и к уменьшению первоначальной величины эффективной поверхностной плотности заряда (ЭППЗ).

В работе исследовали электретный заряд нанокомпозитов на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). В качестве наполнителя использовали глинистый минерал – высокодисперсный монтмориллонит (размер частиц ~20 нм).

Цель работы: определение ЭППЗ в ненаполненных полимерах и нанокомпозитах до и после их обработки в коронном разряде; сравнение полученных данных; перспективы использования нанокомпозитов на основе СВМПЭ и ПЭВД в качестве электретных материалов.

Для изготовления образцов использовали порошкообразные полимеры, которые механически смешивали с монтмориллонитом при содержании последнего от 0 до 3 % масс. Затем методом горячего прессования изготавливали образцы плёнок. Температура изготовления плёнок из ПЭВД составляла 130 ^{o}C, плёнок на основе СВМПЭ – 180 ^{o}C. При этом изготовление плёнок из СВМПЭ предусматривает несколько стадий, а именно: нагрев порошка, выдержка под давлением пресса, остывание вместе с прессом (во избежание сильной деформации поверхности образца). При охлаждении плёнок из ПЭВД необходимость оставлять образец зафиксированным при остывании отсутствует.

Поляризация образцов в коронном разряде (положительном и отрицательном) состояла из нескольких этапов:

1) Нагрев печи вместе с образцом до температуры 80 ^{o}C и её фиксация.

2) Включение коронного разряда и выдержка в нем в течение 15 минут.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

3) Естественное охлаждение печи до 25 °С, при этом коронный разряд не отключали.

Напряжение на игольчатом электроде было 25 кВ, при этом напряжённость поля между электродом и образцом составляла 10 кВ/см.

ЭППЗ образцов определяли с помощью измерителя параметров электростатического поля ИПЭП-1. Измерение проводили электродом на расстоянии 2 см от исследуемого образца. На рисунке 1 приведены экспериментальные данные по величине ЭППЗ для различных образцов. Погрешность измерений (на каждую точку от 5 до 8 образцов) не превышала 10 %.

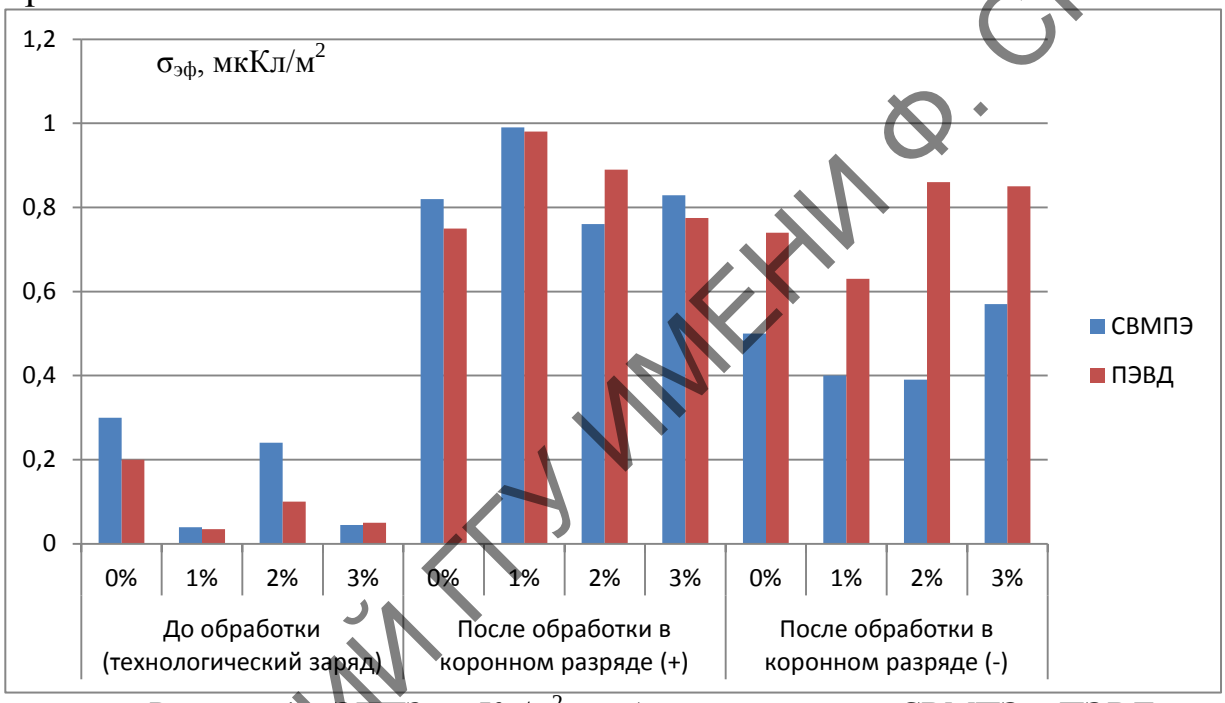


Рисунок 1 – ЭППЗ, мкКл/м^2, в образцах на основе СВМПЭ и ПЭВД, при различном содержании наполнителя, до и после обработки их в коронном разряде положительной (+) и отрицательной (–) полярности

На основе полученных результатов можно сделать следующее заключение.

1) На всех образцах (как СВМПЭ, так и ПЭВД) после формирования методом горячего прессования образуется небольшой технологический заряд. Он несколько больше в СВМПЭ, чем в ПЭВД, причем наполнение монтмориллонитом лишь уменьшает его величину, особенно в СВМПЭ. Возможно, это обусловлено релаксацией поляризации Максвелла-Вагнера на границе раздела наполнитель/связующее, которая протекает более интенсивно при повышенной температуре формирования образцов.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2) Обработка образцов в коронном разряде (как положительной, так и отрицательной полярности) приводит к существенному росту эффективной поверхностной плотности заряда. В положительной короне образцы СВМПЭ и ПЭВД приобретают примерно одинаковый заряд, причем их модифицирование ненамного увеличивает заряд. Незначительный рост ЭППЗ при содержании наполнителя 1 % масс. обусловлен, по-видимому, так называемым «эффектом малых концентраций», когда в полимерных нанокомпозитах при небольшой концентрации наполнителя наблюдается существенное улучшение параметров некоторых физико-механических свойств [1]. Полученные результаты согласуются с данными работы [2], в которой показано, что максимальная эффективная поверхностная плотность заряда имеет место при содержании наполнителя примерно 4 об. % (что соответствует примерно 1% масс.). Характерно, что стабильность электретного состояния также существенно возрастает у ПЭВД, наполненного техническим углеродом, по сравнению с немодифицированным ПЭВД [3].

3) Обработка в коронном разряде отрицательной полярности увеличивает ЭППЗ образцов СВМПЭ значительно меньше, чем в положительной короне, а у ПЭВД заряд имеет примерно такую же величину.

4) В целом, учитывая технологическую сложность изготовления пленочных образцов из СВМПЭ по сравнению с ПЭВД, а также более высокие показатели эффективной поверхностной плотности заряда у образцов ПЭВД, предпочтение при изготовлении электретных пленок следует отдать полиэтилену высокого давления.

Литература

1. Пинчук, Л.С. Поляризационная модель упрочнения термопластов, содержащих ультрадисперсные неорганические наполнители / Л.С. Пинчук, С.В. Зотов, В.А. Гольдаде, А.В. Виноградов, А.А. Охлопкова, С.А. Слепцова // Журнал технической физики, 2000. – Т. 70, № 2. – С. 38-42.

2. Галиханов, М.Ф. Короноэлектреты на основе полиэтилена высокого давления, наполненного техническим углеродом / М.Ф. Галиханов, Д.А. Еремеев, Р.Я. Дебердеев, А.Г. Кравцов // Материалы, технологии, инструменты, 2004. – Т. 9, № 1. – С. 57-60.

3. Борисова, М.Э. Исследование стабильности электретного состояния пленок полиэтилена высокого давления с мелкодисперсным наполнителем технического углерода / М.Э.Борисова, Ю.К. Осина //

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Шестая всероссийская Каргинская конференция «Полимеры-2014», сборник тезисов докладов. – Москва, 27-31 января 2014 г. – Т. II – С. 562.

М. А. Коваленко (ГГУ имени Ф. Скорины)
Науч. рук. **В. А. Гольдаде,** д-р. техн. наук, профессор

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРЕТНОГО ЗАРЯДА В ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНКАХ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОДИСПЕРСНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ

Электретное состояние в диэлектриках возникает вследствие внешней активации, в частности, под воздействием электрического поля коронного разряда или низкоэнергетического лазерного излучения. Как правило, композит на основе полимера и нанодисперсного наполнителя имеет технологический заряд определённой величины, образующийся в образце при его формовании. Величина эффективной поверхностной плотности такого заряда (ЭППЗ) колеблется в пределах от 0,01 до 0,2 мкКл/м^2. При обработке образцов в коронном разряде максимальное значение ЭППЗ достигает 1 мкКл/м^2.

В настоящей работе проведен сравнительный количественный анализ результатов, полученных двумя методами получения электретов на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). В качестве наполнителя использовали наноглину – монтмориллонит с дисперсностью 20 нм.

Образцы изготавливали методом горячего прессования при температуре 130 ^{o}C для ПЭВД и 180 ^{o}C для СВМП. Содержание наполнителя варьировали в диапазоне от 0 до 3 % масс. После изготовления у образцов измеряли так называемый «технологический заряд». Затем одну часть образцов обрабатывали лазерным излучением с длинной волны 1,06 мкм по методике, изложенной в [1], другую – подвергали поляризации в коронном разряде положительной полярности. Процесс обработки в коронном разряде, как правило, проводили в 3 стадии: выдержка образцов при фиксированной температуре в печи, обработка в поле коронного разряда напряженностью 10 кВ/см в течение 15 минут, и остывание образца до комнатной температуры в поле коронного разряда. С точки зрения времени поляризации, лазерная обработка образцов происходит быстрее.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

На рисунке 1 приведены результаты исследования ЭППЗ в образцах, полученных поляризацией разными методами.

На всех образцах после формирования методом горячего прессования образуется небольшой технологический заряд. Ранее [2], методом термоактивационной токовой спектроскопии нами установлено, что лазерная обработка образцов резко меняет картину релаксации зарядов. Низкотемпературный пик термостимулированного тока, соответствующий релаксации технологического заряда, исчезает, а высокотемпературный – по абсолютной величине возрастает на 2-3 порядка. Технологический заряд полностью нейтрализуется зарядом, наведенным лазерным излучением, и на фоне последнего становится малозаметным. Эти соображения подтверждаются результатами исследования эффективной поверхностной плотности заряда образцов (рисунок 1).

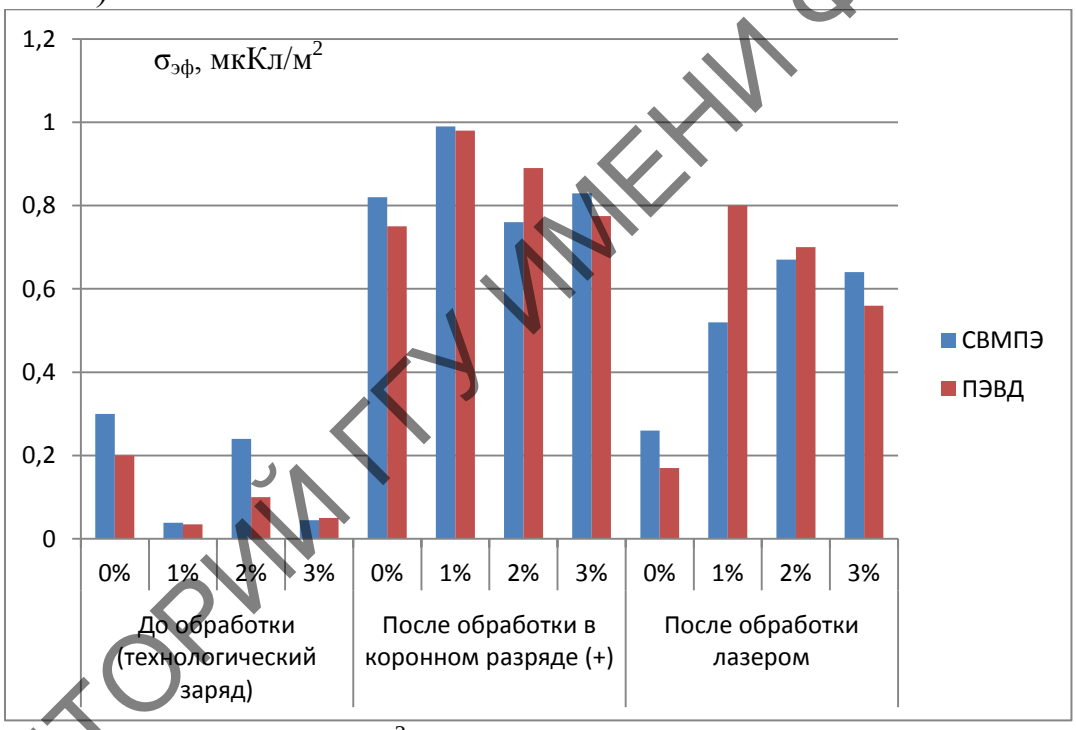


Рисунок 1 – ЭППЗ (мкКл/м^2) в образцах СВМПЭ и ПЭВД с различным содержанием монтмориллонита (% масс.)

В целом, величина ЭППЗ у образцов, обработанных в коронном разряде, оказалась несколько выше, чем у образцов, обработанных лазерным излучением. Но это характерно только для композиционных материалов. Лазерная обработка ненаполненных СВМПЭ и ПЭВД практически не изменяет ЭППЗ по сравнению с необработанными материалами.

Дальнейшее изучение релаксации заряда во времени, а также термостабильности полученных электретов позволит выявить

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

основные направления в использовании рассмотренных технологических методов при изготовлении электретных материалов.

Литература

1. Коваленко М.А. Термостимулированные токи в полимерных пленках, обработанных лазерным излучением // Материалы VII Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники» (Гомель, 25 апреля 2018 года), в 3-х частях. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2018. – Ч. 1, с. 99-101.

2. Гольдаде, В.А. Влияние лазерного облучения на электретный заряд полиэтиленовых пленок / В.А. Гольдаде, М.А. Коваленко // Тезисы докладов междунар. научно-технической. конф. «ПОЛИКОМТРИБ-2019». – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2019. – С. 30.

Я. А. Ковалёва, Н. Н. Федосенко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **П. Н. Гракович**, канд. техн. наук;

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРАТЕРА В УГЛЕНАПОЛНЕННОМ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНЕ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Введение

В современном мире полимерных материалов фторопласт, благодаря своим уникальным физико-механическим и химическим свойствам, является одним из лучших полимерных материалов для узлов трения, химической и пищевой промышленности, медицинского назначения [1, 2]. Так как чистый фторопласт изучен хорошо, в настоящее время наибольший интерес вызывает изучение композитов на его основе, например, политетрафторэтилена (ПТФЭ, фторопласт) с различными наполнителями [2, 3]. А современные методы изготовления и видоизменения первоначальной структуры фторопласта, например, метод лазерной абляции (ЛА) позволяют получать материалы с новыми свойствами [3, 4]. Исследования в этом направлении мало изучены в отечественной и зарубежной литературе, что говорит о востребованности как материала, так и исследований.

Цель работы - оценка зависимости температуры кратера образцов из ПТФЭ от процентного содержания углеволокон (УВ).

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Материалы и методы: в качестве объектов исследований использовали ПТФЭ, наполненный измельченными УВ на основе вискозы марки «УВИ-ПХО-12». Длина их варьируется в пределах 50…500 мкм, причем 50…60% составляют короткие УВ длиной 50…100 мкм. Диаметр волокна – 8…10,0 мкм. Образцы ПТФЭ, содержащие 1, 2, 3, 5, 7% УВ имели размер 15x15x3 мм.

Абляция образцов проводилась на вакуумной установке ВУП-4, с использованием CO_2-лазера ЛГН-703 с длиной волны 10,6 мкм и мощностью 35-45 Вт. Плотность мощности излучения – около 50 Вт/см^2. Время облучения – 15 секунд.

Эксперимент проводили по стандартной методике с непрерывной съемкой процесса на фотоаппарат. После проведения испытания видео эксперимента загружалось в программу VirtualDub. Видеоряд обрабатывался покадрово. Каждый кадр сохранялся как отдельный файл в формате *.tga (формат TARGA без сжатия исходных файлов). Затем выбирался один из самых ярких кадров с пятном от лазера и выполнялись преобразования с помощью конвертера цветов из системы RGB в систему XYZ Международной Комиссии по Освещенности (МКО) [5].

Результаты исследования:

Известно, что при воздействии излучения CO_2-лазера на «белый» ПТФЭ в вакууме происходит аномально быстрое и избирательное разрушения полимера с образованием потока продуктов, состоящих из мономера (тетрафторэтилена) и тяжей расплава полимера. При этом в зоне лазерной абляции при указанной мощности не наблюдается какого-либо свечения в зоне кратера. Измерение температуры разными методами дало значение близкое к 530^{0}С.

Введение в ПТФЭ даже 1% УВ резко меняет характер образования ЛА. Практически полностью подавляется образование фторопластовых волокон, а на поверхности кратера формируется светящаяся зона, состоящая из УВ. Для оценки температуры раскалённых УВ были проанализированные полученные фотографии. В таблице 1 указаны полученные кадры и составляющие цвета параметры.

Использовался метод определения длины волны цвета по диаграмме цвета МКО, подробно описанной в [6]. Координата Y считается за яркость, поэтому остальные две координаты являются независимыми. По пересечениям проекций находится точка, лежащая внутри диаграммы. Данная точка соединяется с центром диаграммы, где расположен белый цвет. Данный отрезок продолжается до пересечения с

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

контуром диаграммы, это пересечение считается значением длины волны, данные представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Нумерация кадров и их цветовые составляющие

Образец с процентным содержанием углеволокон	Кадр	RGB-координаты	XYZ-координаты
1%	97	(223; 145; 141)	(0,45; 0,38; 0,30)
2%	79	(255; 145; 122)	(0,47; 0,38; 0,23)
3%	123	(199; 110; 102)	(0,52; 0,30; 0,16)
5%	100	(255; 167; 139)	(0,60; 0,34; 0,31)
7%	116	(253; 189; 127)	(0,63; 0,59; 0,28)

Таблица 2- Значения полученных длин волн

Образец с процентным содержанием углеволокон	Длина волны λ, нм
1%	594,75
2%	591,88
3%	609,89
5%	610,89
7%	573,20

Данные длины волн попадают в диапазон двух цветов: желтого (560-590 нм) и оранжевого (590-620 нм). Зная, что желтый и оранжевый цвета горения имеют свои небольшие диапазоны температуры, можно сделать вывод, что образец с 7% УВ имеет температурный диапазон 1050…1150ºС, остальные образцы – 900…1050ºС.

Исследование проведено без учета коэффициента отражения поверхности. В будущем можно измерить данный коэффициент и вычислить температуры поверхностей с более высокой точностью.

Выводы: проведена лазерная абляция композитов на основе ПТФЭ и расчетная оценка температуры поверхностей кратеров с применением метода оценки длины волны по цвету кадра. Показано, что образец ПТФЭ+7% УВ имеет температуру кратера в диапазоне 1050…1150ºС, остальные образцы в диапазоне 900…1050ºС.

Литература

1. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение - 2005

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. Маркова М.А., Готовцева М.Е. Исследование композитов на основе ПТФЭ и углеродных наполнителей // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2017 (**3**), №1, 1-6

3. Толстопятов Е. М., Гракович П. Н., Рахманов С. К., Васильков А. Ю., Никитин Л. Н. Образование ультрадисперсных микроагрегатов при лазерной абляции полимеров // Перспективные материалы. – 2012, №1, 77-86

4. Diskinson J. T., Shin Jaw-Jung, Jiang W., Norton G. J. Neutral and ion emissions accompanying pulsed excimer laser irradiation of polytetrafluoroethylene // Appl. Phys. – 1993. – Vol.74, № 7, 4729

5. Конвертер цветов [Электронный ресурс] – Режим доступа: color-scheme.ru/color-converter.html, свободный

6. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing // second edition, New Jersey - 1992

А. А. Ковш (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **Е. В. Овчинников**, д-р. техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

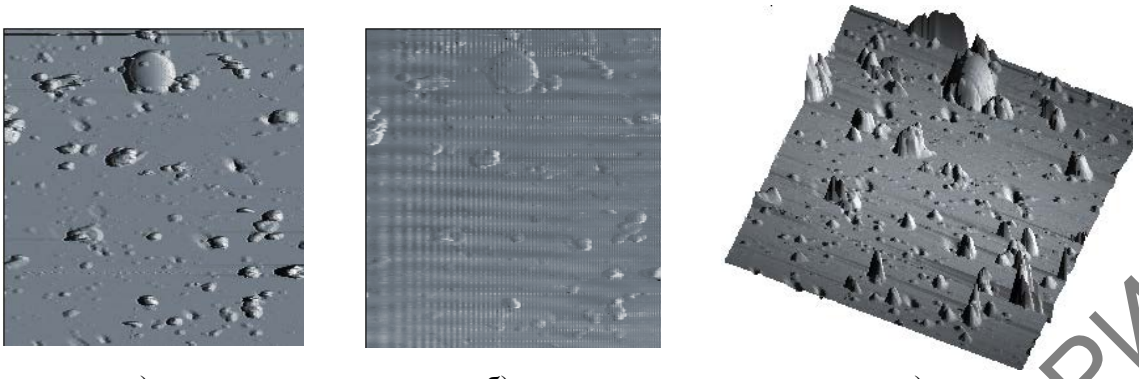
В настоящее время основными факторами, влияющими на выход деталей машин и механизмов из строя, являются процессы коррозии и трения. Для снижения воздействия данных факторов используют различные материалы и технологические приемы. Основным направлением в области инженерии поверхности для снижения износа и защиты от коррозии оказалось применение покрытий различного функционального назначения. Основными методами получения данных покрытий являются плазмохимические технологии, гальванические методы, нанесение покрытий из раствора, электроискровые технологии. Представляет интерес изучение физико-механические и эксплуатационные характеристики композиционных покрытий, которые получаются путем формирования их в вакууме. Это объясняется тем, что свойства получаемого функционального покрытия должны существенно отличаться от свойств блочного материала, из которого формируют данный защитный слой. В итоге можно добиться получения покрытий с уникальными антифрикционными, антикоррозионными и другими эксплуатационными свойствам. Применение плазмохимиче-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ских вакуумных технологий позволило получать новый класс веществ -наноматериалы в виде нанодисперсных и нанокомпозитных многокомпонентных и многослойных покрытий на основе боридов, силицидов, нитридов, карбидов и пр. При этом может формироваться нанодисперсная структура с различной степенью дефектности, структурной неравновесности, разным химическим составом границ, спектром разориентации. Нанофазные покрытия, состоящие из нескольких фаз, существенно отличаются от свойств традиционных вакуумных покрытий. Наноструктурные пленки и покрытия обычно обладают высокой термостойкостью, твердостью, и стойкостью к окислению. Значения этих параметров зависят от выбора легирующего элемента и условий синтеза покрытия, процентного соотношения состава реагентов, энергетического состояния подложки. Особое место в вакуумных наноструктурированных покрытиях занимают защитные слои, сформированные из углерода, в частности алмазоподобные покрытия (АПП).

Целью данной работы является изучение морфологических, структурных особенностей алмазоподобных покрытий, сформированных на металлических субстратах. Одним из основных методов, применяемых для исследования тонкослойных покрытий является атомно-силовая микроскопия (АСМ). Данный метод широко используется для изучения морфологии поверхности конденсированных сред в микро- и нанометровом диапазоне, а также для анализа особенностей ее фазового строения. Изображение морфологии поверхности исследуемого образца методом АСМ получают путем сканирования изучаемого объекта в горизонтальной плоскости с использованием индентора в виде иглы с радиусом кривизны острия порядка нескольких нанометров, закрепленной на консоли с известной жесткостью. Данной консоли задают колебательные движения. При сканировании измеряется отклонение консоли под действием сил между иглой и поверхностью. Регистрируя силу взаимодействия (градиента сил), проводят картографирование поверхности. Подготовленный для исследований образец методом АСМ закрепляют на платформе держателя в аналитическом узле таким образом, что предполагаемый участок сканирования располагается под острием индентора. В дальнейшем производится подвод образца, выбор режима и производится сканирование. На рисунке 1-3 представлены изображения морфологии поверхности алмазоподобных покрытий, сформированных на различных металлических субстратах.

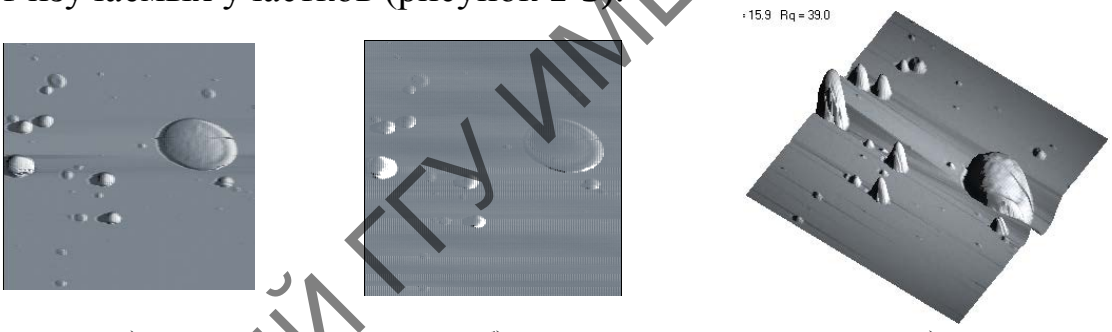
РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ



а) б) в)

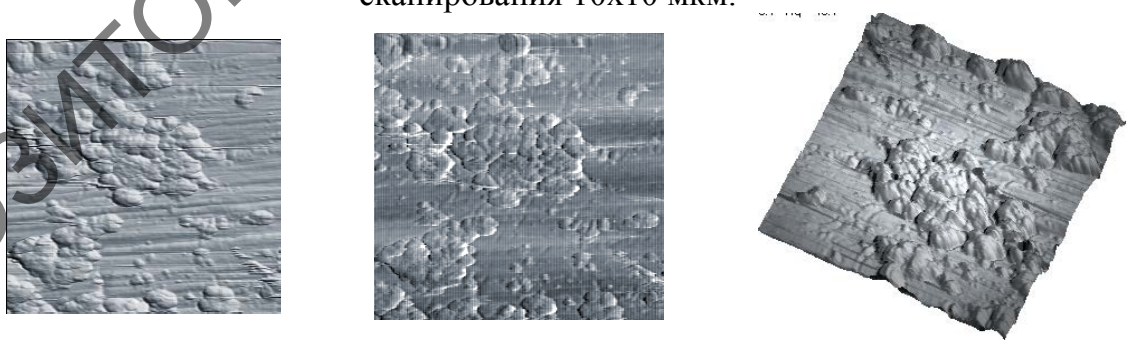
Рисунок 1 – Алмазоподобное покрытие на стальной подложке, толщина покрытия 280 нм: а) топография, б) фазовый контраст, г) 3D-изображение, площадь сканирования 25х25 мкм.

При проведении исследований методом атомно-силовой микроскопии на атомно-силовом микроскопе NT-206 были получены топография участков покрытий размером 25 мкм на 25 мкм и 10 мкм на 10 мкм алмазоподобных покрытий, сформированных на стальных и алюминиевых подложках, а также 3-D изображения и фазовый контраст изучаемых участков (рисунок 1-3).



а) б) в)

Рисунок 2 – Алмазоподобное покрытие на стальной подложке, толщина покрытия 580 нм. а) топография, б) фазовый контраст, г) 3D-изображение, площадь сканирования 10х10 мкм.



а) б) в)

Рисунок 3 – Алмазоподобное покрытие, сформированное на алюминиевой подложке, толщина покрытия 580 нм: а) топография, б) фазовый контраст, г) 3D-изображение, площадь сканирования 10х10 мкм.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Представлены наиболее характерные изображения, сформированные в программе управления АСМ NT-206 SurfaceScan и обработанных в программе обработки, визуализации и анализа АСМ данных SurfaceView.Исследования, проведенные методом АСМ алмазоподобных покрытий позволили установить, что полученные покрытия являются гетерогенными, в покрытии присутствуют кластерные образования различного агрегатного состояния (аморфные, кристаллические). Физико-химические и механические характеристики сформированных тонкопленочных гетерогенных систем определяются в основном межфазным взаимодействием, структурой и свойствами граничных слоев.

А. С. Корольков, А. К. Макаревич
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ МАРКИ GEELY SC7 В ПЕРИОД ГАРАНТИЙНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Гарантийный период обслуживания автомобиля – это временной промежуток, установленный заводом-изготовителем, в который он обязуется производить ремонт и (или) замену деталей, имеющих дефекты, несвязанные с эксплуатацией автомобиля на безвозмездной основе. Согласно договору купли-продажи, для сохранения гарантийных обязательств, владельцы автомобилей марки Geely должны проходить техническое обслуживание своих автомобилей на регулярной основе и только на сертифицированных сервисных станциях с применением только оригинальных запасных частей и смазочных материалов, что, в свою очередь, минимизирует вероятность использования неоригинальных или некачественных расходных материалов. Регулярность прохождения технического обслуживания и перечень выполняемых операций изложены в сервисной книжке автомобиля, которая выдается в момент его покупки.

В ходе выполнения настоящей работы произведен статистический анализ гарантийных ремонтов автомобиля марки Geely SC7 в период с 01.05.2018 г. по 01.11.2019 г.

Необходимо также отметить, что количество обращений по гарантийным ремонтам следует учитывать с объемом продаж автомобилей.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

За рассматриваемый период автовладельцы данной модели автомобиля обращались к дилеру 23 раза. Некоторые обращения предусматривали проведения большого спектра работ, поэтому, в общей сложности, было осуществлено 55 гарантийных ремонтов. Процентное распределение по типу работ показано на рисунке 1.

Исходя из полученных статистических данных, модель Geely SC7 имеет значительные проблемы с антикоррозионной обработкой кузова – 71 % обращений говорит о данной проблеме. Слесарные работы занимают меньше 29 % обращений, что говорит о том, что механическая часть автомобиля является сильной стороной автомобиля.

Рассмотрев основные неисправности, связанные с механической частью автомобиля (рисунок 2) можно отметить, что двигатель не является проблемным агрегатом, обращений за указанный период не выявлено. Чего не скажешь о подвеске автомобиля. Сайлент-блоки не являются сильной стороной данного автомобиля. За рассматриваемый период было совершено 10 замен (примерно 60 % обращений).

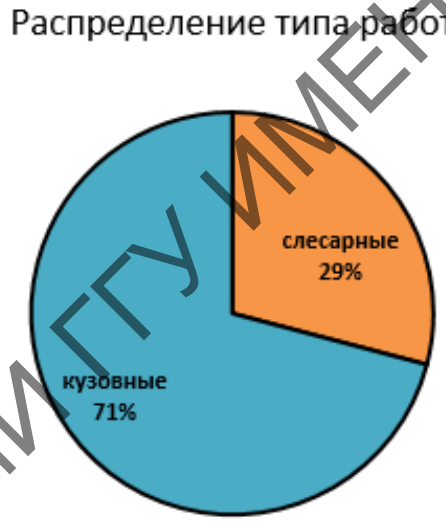


Рисунок 1 – Распределения гарантийных обращений
по типам работ автомобиля Geely SC7

Остальные обращения распределены пропорционально и связаны с дефектом подшипников ступиц, однако, из-за конструкционных особенностей автомобиля (рисунок 2). Подшипник задней ступицы меняется в сборе со ступицей, в отличие от передней оси автомобиля. Механическая коробка переключения передач не является надежным агрегатом. Два обращения по данному агрегату: в первом случае – произведена замена целого агрегата, а во втором – первичный вал.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

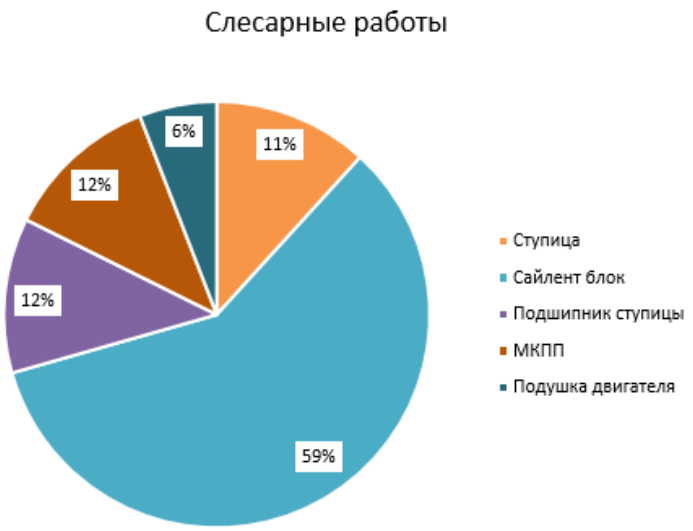


Рисунок 2 – Распределение слесарных работ по дефектным элементам

Из представленных на диаграмме статистических данных (рисунок 3) видно, что значительные проблемы, связанные с кузовными работами, связаны с защитой металла на порогах и дверях автомобиля. Эти поверхности чаще всех контактируют с агрессивными средами – грязью и пылью, противогололедными реагентами и моющей химией и как следствие подвергаются в большей степени коррозии.

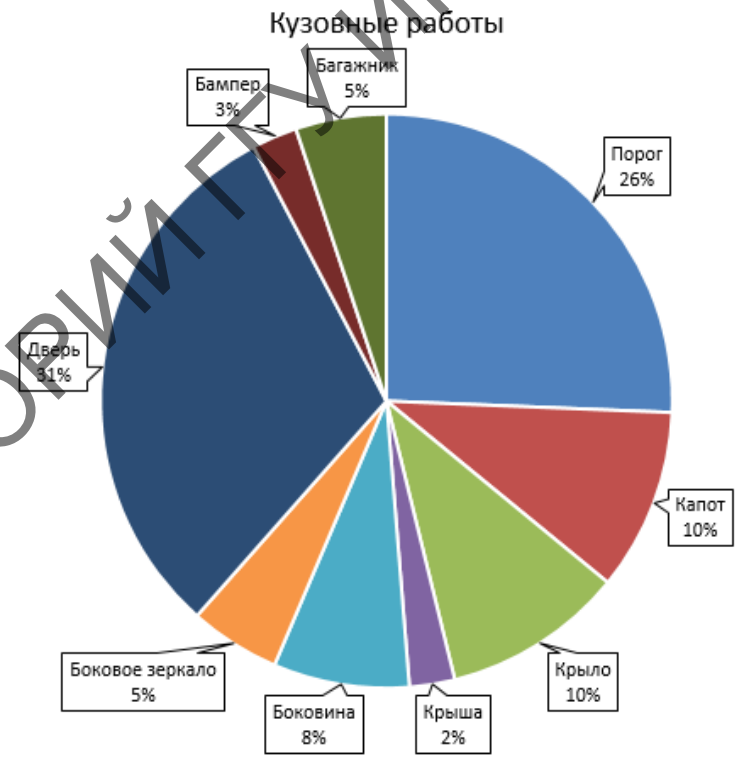


Рисунок 3 – Распределение кузовных работ по дефектным элементам

Следует упомянуть, что 8 % окрасочных работ относятся к кузовным элементам, которые сделаны из пластика: корпус бокового зер-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

кала и бампера. В процессе эксплуатации на данных элементах происходит вспучивание материала и на видимых поверхностях образуются кратеры, что влияет на внешний вид автомобиля. Для устранения данного недостатка производилась полная зачистка элемента до чистового слоя, при необходимости применялись автомобильные шпаклевочные материалы для придания исходной формы детали и предотвращения появления данного дефекта в дальнейшем. Гарантийные работы с крышей занимают 2 % от общего объема. В рассматриваемых случаях осуществлялась частичная покраска рамки лобового стекла. Из-за особенностей классификации кузовных работ, рамка лобового стекла разделяется на три стороны: крыша, левая и правая боковины.

В ходе проведения исследований установлено, что легковые автомобили марки Geely SC7 в период гарантийного обслуживания преимущественно имеют проблемы связанные с повреждением кузова (двери и пороги) и сайлент-блока.

А. С. Корольков, В. Г. Манцевич
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ МАРКИ GEELY ENGRAND X7 В ПЕРИОД ГАРАНТИЙНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Гарантийным периодом обслуживания автомобиля принято называть временной промежуток, установленный заводом-изготовителем, в который он обязуется производить ремонт и (или) замену деталей, имеющих дефекты, несвязанные с эксплуатацией автомобиля на безвозмездной основе. В случае обращения по гарантийному ремонту купленных автомобилей, владелец должен предоставить свой автомобиль вместе с набором документов, к которым относятся, техпаспорт автомобиля и сервисная книга. После заполнения всех документов, автомобиль перемещается на пост, где инженер по гарантии вместе со слесарем осматривают потенциально дефектный элемент автомобиля, после того как определена дефектная запчасть, производится ее проверка на факт повреждения не связанного с заводским браком (повреждение вследствие эксплуатации, повреждение по причине несанкционированного демонтажа или ремонта детали). В случаях, если дефект

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

признается не гарантийным, клиент оплачивает ремонт автомобиля за свой счет.

В ходе выполнения настоящей работы произведен статистический анализ гарантийных ремонтов автомобиля марки Geely Engrand X7 в период с 01.05.2018 г. по 01.11.2019 г.

Необходимо также отметить, что количество обращений по гарантийным ремонтам следует учитывать с объемом продаж автомобилей. В рассматриваемый период по данному автомобилю принято 104 обращения от покупателей, по которым осуществлено 179 ремонтных работ. В анализе не учитывались ремонтные работы, связанные с сервисными бюллетенями. Их доля от общего числа составляла 3 %. В процентном соотношении объемы кузовных и слесарных работ представлены на рисунке 1.

Из представленных на рисунке 2 статистических данных, видно, что коррозионным повреждениям сильно подвержены капот автомобиля (19 % обращений), который воспринимает первым различные повреждения – сколы камней, воздействие песка и жидкостей, а также багажник автомобиля (26 %).

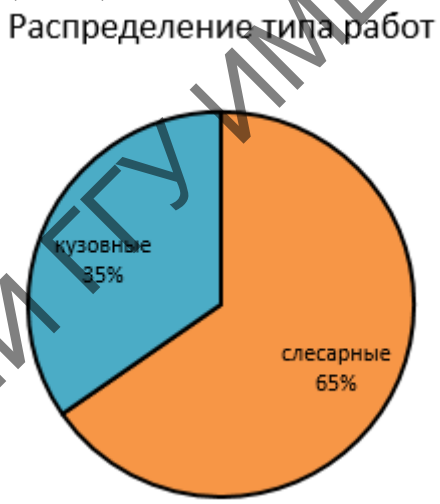


Рисунок 1 – Распределения гарантийных обращений по типам работ автомобиля Geely Emgrand X7

Багажник автомобиля имеет декоративную пластиковую накладку, которая не имеет никаких уплотнительных элементов (прокладок и прочих). В мелкие пространства между накладкой и бампером затекает влага и затем возникает очаг коррозии, который проблематично заметить. В 2 случаях пришлось полностью заменить крышку багажника, по причине сквозной коррозии.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Рисунок 2 – Распределение кузовных работ по дефектным элементам

Рейлинги данного автомобиля изготовлены из алюминиевого сплава и согласно технологии производства, покрываются лакокрасочным покрытием. Однако в процессе эксплуатации были выявлены недостаточные защитные свойства данного покрытия от окислов. В результате чего на видимых поверхностях стали появляться следы темного цвета. А на ставках, возле крепежа небольшие очаги коррозии. На рисунке 3 показано распределение слесарных работ по дефектным элементам.

Рисунок 3 – Распределение слесарных работ по дефектным элементам

Исходя из представленных результатов (рисунок 3) видно, что наиболее уязвимыми элементами автомобиля являются стойки стаби-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

лизатора (32 %), датчики ABS (14 %) и сайлент-блоки (7 %). Однако рычаги подвески ремонтировали в 19 % обращений. Проблема рычагов заключалась в том, что согласно заводским технологиям ремонта, запрещалось запрессовывать новые детали вместо старых, поэтому производилась замена старых элементов на новые. Датчики ABS имели дефект конструкции. В результате данного дефекта датчики перетирались, после замены поставщика данная проблема полностью исчезла. Стойки стабилизатора являются слабым элементом подвески автомобиля, вследствие особенности конструкции и кинематики подвески, данная деталь является «расходником». В среднем, стойка стабилизатора эксплуатируется от 30 до 45 тыс. км пробега. Пометкой «Прочее» отмечены разовые случаи замены деталей (водяной насос, полуоси, радиатор отопителя салонного, датчик системы парковки, шаровая опора).

А. Ю. Кравченко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **И. В. Семченко,** д-р. физ.-мат. наук, профессор

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ СВОЙСТВ ПЛАНАРНЫХ ДВУХВИТКОВЫХ СПИРАЛЕЙ

Метаматериалы получили широкое распространения благодаря тому, что, изменяя параметры элемента или всей структуры, можно управлять электромагнитными свойствами целой системы элементарных ячеек и таким образом создавать, используя современные технологии, такие объекты, которые в природе в обычных условиях не существуют.

В данной работе под элементарной ячейкой подразумевается совокупность расположенных в определённом порядке планарных спиралей (рисунок 1), смоделированных для решения конкретной электромагнитной задачи, будь то «идеальное» поглощение или отражение, пропускание волн определённой частоты или преобразование поляризации падающей электромагнитной волны [1]. Такие спирали имеют специальную геометрическую форму и состоят из металлических полосок, расположенных на противоположных сторонах двусторонней печатной платы. Эти полоски соединены между собой металлизированными отверстиями в диэлектрической подложке. В результате возникает неразрывный проводящий элемент, имеющий вид ло-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

маной спирали и отличающийся по форме от хорошо изученных гладких и канонических спиралей.

Целью работы является моделирование планарной двухвитковой спирали, для которой с высокой степенью точности будет выполняться равенство электрического дипольного и магнитного моментов. В отличие от работы [2], нами выбрана другая резонансная частота, приблизительно равная 2,45 ГГц, которая находится в диапазоне, используемом при проектировании СВЧ-печей. Одно из основных соотношений, которое описывает резонансные свойства для такой структуры – это условие полуволнового резонанса. Для двухвитковой планарной спирали, показанной на рисунке 1, это условие имеет вид:

$$4l + 3h \approx \frac{c}{2\nu\sqrt{\varepsilon\mu}}. \qquad (1)$$

Здесь l – длина металлической полоски на поверхности печатной платы, h – толщина печатной платы, ν – резонансная частота падающего излучения, c – скорость света в вакууме, ε и μ – диэлектрическая и магнитная постоянная.

Другим важным соотношением, которое описывает условие баланса электрического дипольного момента $\vec{p}$ и магнитного момента $\vec{m}$, является равенство:

$$|\vec{p}| = \frac{|\vec{m}|}{c}. \qquad (2)$$

Именно выполнение этого соотношения позволяет называть спираль оптимальной, или сбалансированной.

В работе смоделирована планарная двухвитковая спираль со следующими параметрами: l=12,75 мм, w=0,206 мм, d=0,2 мм, b=0,631 мм, h= 2,93 мм, t=35 мкм, α=10,8^0, β=7,4^0 (где h– толщина печатной платы, t – толщина проводящего слоя). Волновой вектор падающего излучения направлен вдоль оси OZ (рисунок 1).

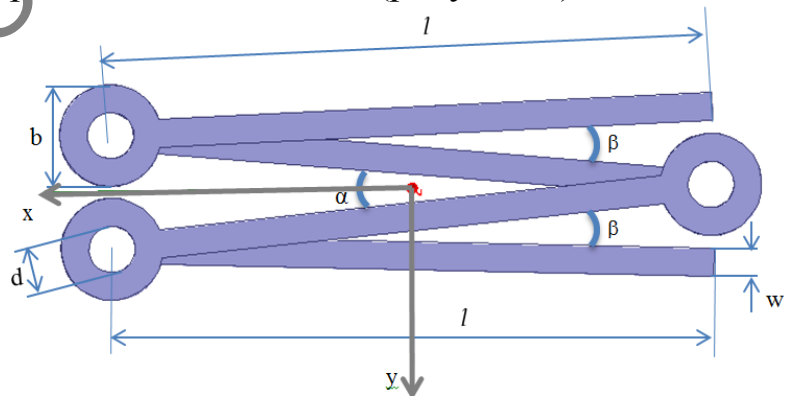


Рисунок 1 – Планарная двухвитковая спираль (вид сверху)

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Каждая планарная спираль является бианизотропным элементом и характеризуется набором комплексных поляризуемостей. Из соотношений, представленных в статье [3], видно, что для получения компоненты поляризуемости спирали необходимо измерить амплитуду и фазу падающей и рассеянной волны. Для получения этих значений была использована программа Ansoft HFSS, предоставленная университетом Аалто (Финляндия).

Задавая параметры структурного элемента, проведено численное моделирование частотной зависимости 8-ми комплексных амплитуд рассеянных волн вблизи резонансной частоты для двух направлений распространения падающей волны и двух состояний её поляризации. Рассеянные волны также рассматриваются как распространяющиеся вдоль оси OZ и навстречу ей. Для каждой амплитуды рассчитана её действительная и мнимая часть [4-6].

Для расчета компонент поляризумостей в программе MatLab создан математический блок, на основе которого строятся графики частотной зависимости компонент поляризумостей через компоненты комплексных амплитуд рассеянных волн. Пример такой зависимости приведен на рисунке 2.

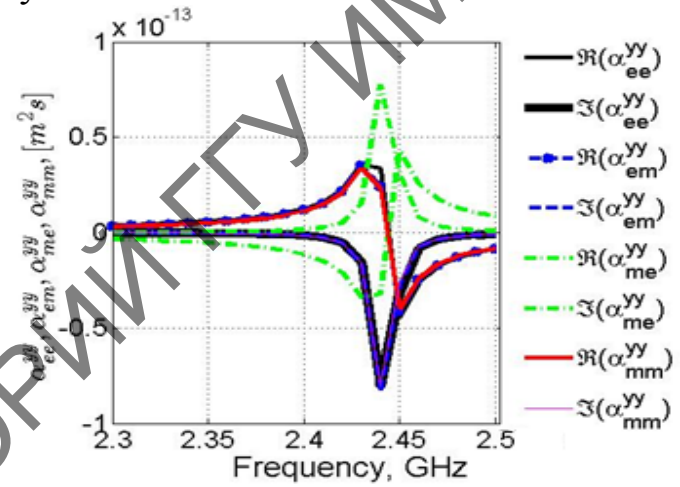


Рисунок 2 – Графики частотной зависимости действительной и мнимой частей поляризумостей планарной спирали вблизи резонансной частоты, приблизительно равной 2,45 ГГц

Полученные графики подтверждают оптимальность смоделированной планарной спирали, поскольку все поляризуемости либо равны друг другу с высокой степенью точности, либо отличаются только знаком. Тем самым это подтверждает, что, регулируя параметры планарной спирали, можно сформировать сбалансированную структуру, для которой выполняется условие главного частотного резонанса.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Добившись оптимальности параметров отдельного структурного элемента метаматериала (элементарной ячейки), следует перейти к метаповерхности, состоящей из таких элементов и исследовать поляризационные и поглощающие свойства такой структуры в целом.

Литература

1. Planar broadband huygens' metasurfaces for wave manipulations / Cuesta F.S. [et al] // IEEE Transactions on antennas and propagation.–2018.–V. 66, № 12.– P. 7117-7127.

2. А. Ю. Кравченко, Моделирование планарной двухвитковой спирали как элемента метаматериалов и метаповерхностей, XIII Машеровские чтения (2019). – P. 20–22.

3. V.S. Asadchy, I.A. Faniayeu, Younes Ra'di, S.A. Tretyakov, Determining polarizability tensors for an arbitrary small electromagnetic scatterer, Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications 12 (2014). – P. 298-304.

4. V.S. Asadchy et al. / Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications 12 – 2014. – P. 298–304.

5. V.S. Asadchy, I.A. Faniayeu, Simulation of the electromagnetic properties of one-turn and double-turn helices with optimal shape, which provides radiation of a circularly polarized wave, J. Adv. Res. Phys. 2 (2011). – P. 011107.

6. S.A. Tretyakov, F. Mariotte, C.R. Simovski, T.G. Kharina, J.-P. Heliot, Analytical antenna model for chiral scatterers: comparison with numerical and experimental data, IEEE Trans. Antennas Propag. 44 (1996). – P. 1006–1014.

А. А. Кривенкова (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **А. Т. Бельский**, канд. техн. наук, доцент

МИКРОТВЕРДОСТЬ ЗАЩИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

В настоящее время известны разнообразные способы получения защитных покрытий на длинномерных изделиях, однако способ формирования защитного слоя с применением порошков металлов в процессе волочения до настоящего момента изучен недостаточно.

Технология нанесения порошкового покрытия в процессе волочения заключается в следующем. Длинномерное изделие, в процессе его

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

волочения, за счет сил трения увлекает частицы металлического порошка в рабочий конус волоки, где происходит пластическая деформация, как частиц порошка, так и длинномерного изделия. В результате протекания совместной пластической деформации происходит схватывание частиц порошка друг с другом и с длинномерным изделием, что приводит к образованию порошкового покрытия.

С целью оценки свойств защитных покрытий из порошков различных металлов на длинномерном изделии осуществляли определение их микротвердостей.

Метод микротвердости позволяет определить твердость покрытия и проследить ее изменение в зависимости от степени деформации и других технологических параметров процесса.

Определение микротвердости порошкового покрытия осуществляли на приборе ПМТ – 3 с использованием стандартной алмазной пирамиды с углом при вершине 136^0 и квадратным основанием. Микротвердость покрытия в этом случае определяли по зависимости:

$$HV = 0{,}189\frac{F}{d^2},$$

где F – нагрузка, Н;

d – длина диагонали отпечатка, мм.

Нанесение порошковых покрытий осуществлялось на стальную проволоку марки Ст.3 с исходным диаметром 3,5 мм в процессе ее волочения со скоростью $V = 0{,}106$ м/с.

При нанесении защитных покрытий с использованием порошков олова марки ПО2 и свинца ПС2 в результате определения их микротвердостей были получены результаты, которые отражены на рисунке 1.

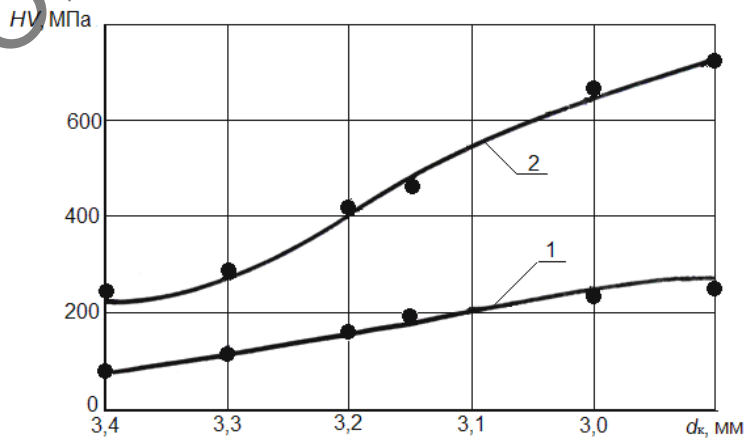


Рисунок 1 – Микротвердость порошковых покрытий
1 – свинцовое покрытие; 2 – оловянное покрытие

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

При формировании цинкового покрытия использовали порошок, который получали путем распыления расплава с помощью ультразвука. Дисперсность цинкового порошка составляла -45мкм, а его форма была эллиптическая, близкая к сферической форме.

В результате проведенных экспериментов была получена зависимость микротвердости цинкового покрытия от диаметра калибрующей зоны волоки, которая представлена на рисунке 2.

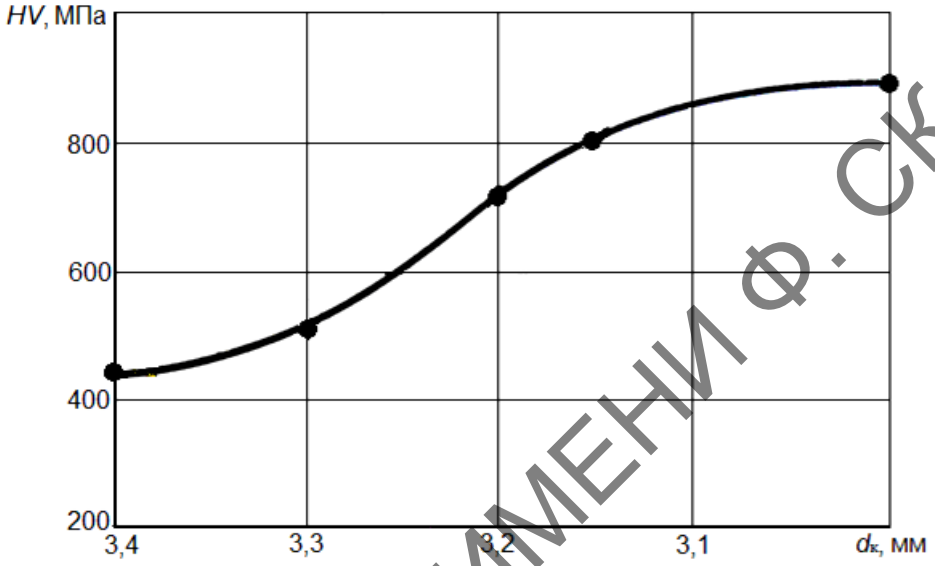


Рисунок 2 – Микротвердость цинкового порошкового покрытия

В результате проведенных экспериментов были установлены зависимости изменения микротвердости от степени деформации протягиваемой проволоки.

Из полученных зависимостей видно, что микротвердость порошковых покрытий тем выше, чем больше степень деформации при волочении.

Наибольшее изменение микротвердости покрытия наблюдается при использовании порошков более пластичных металлов.

Литература

1. Бальшин, М.Ю. Основы порошковой металлургии / М.Ю. Бальшин, С.С. Кипарисов – М.: Металлургия, 1978. – 184 с.

2. Зенин, Б.С.Современные технологии поверхностного упрочнения и нанесения покрытий: учебное пособие / Б.С. Зенин, А.И. Слосман; Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 120 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. И. Кривоус, В. А. Гапчинский (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **Д. А. Голосов,** канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАТЕ ИЗ АЛЮМИНИЯ С НАНОПОРИСТЫМ ОКСИДОМ АЛЮМИНИЯ

Обеспечение требуемых тепловых режимов работы активных элементов радиоэлектронной аппаратуры является одной из важных задач при разработке конструкций плат с высоким тепловыделением, в частности светодиодов [1, 2]. Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на токонепроводящей подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Свечение в полупроводниковом кристалле возникает при рекомбинации электронов и дырок в области p-n-перехода. Однако, из-за внутреннего сопротивления полупроводника и p-n-перехода диод нагревается, что может снижать величину теплового потока светодиодов и уменьшать срок их службы. Алюминиевые платы с высокой теплопроводностью используются для отвода тепла от светодиодов [3, 4]. Конструкция алюминиевой платы содержит тонкий диэлектрический слой (до нескольких мкм) нанопористого оксида алюминия с низкой теплопроводностью и алюминиевое основание с высокой теплопроводностью.

Целью работы является исследование распространения тепловых потоков в объеме платы из алюминия, а также исследование улучшения теплопередачи от электронных теплонагруженных компонентов к системе обеспечения теплового режима.

В исследовании использовали платы из алюминия со слоем нанопористого оксида алюминия, на поверхности которых размещался линейный элемент нагрева. Образцы имели размеры 60x24 мм. Толщина основания из алюминия составляла 0,5 мм. Слой нанопористого анодного оксида алюминия имел толщину 20 мкм. Углеродная электропроводящая нить 170x4x0,08 мм на основе вискозной технической нити использовалась в качестве элемента нагрева. Электрическое сопротивление нагревателя составляло 60 Ом. Съемка термограмм проводилась с интервалом 5 с.

В ходе экспериментов установлено, что температуры на поверхности платы в месте расположения элемента нагрева и на ее нижней стороне в этой же точке на всех стадиях нагрева имели очень близкие значения. Более того, зона нагрева на нижней стороне платы занимает большую площадь, чем на верхней. Следовательно, генерируемое

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

тепло, благодаря высокой теплопроводности алюминия, успевало рассеяться по всему объему алюминия, обеспечивая равномерный профиль распределения температуры по поверхностям верхней и нижней сторон платы. Из рисунка 1 видно, что конус тепловой трубы расширяется от источника нагрева на поверхности к нижней стороне платы, что приводит к снижению теплового сопротивления.

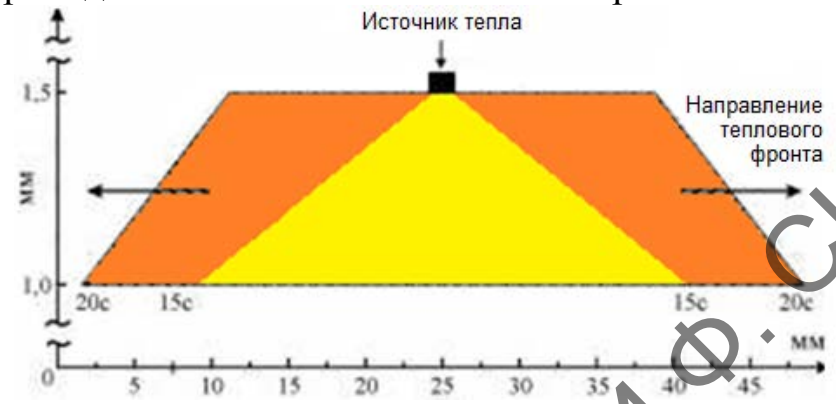


Рисунок 1 – Динамика распространения теплового фронта в объеме платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия при использовании точечного теплового источника на поверхности с температурой 40 °С (мощность линейчатого нагревателя 3,5 Вт) для времени нагрева 15 и 20 с

Так же установлено, что при мощности микронагревателя 6,8 Вт на 19-й секунде нагрева температура углеродной нити была (56±1) ºС и температура на поверхности нанопористого анодного оксида алюминия (АОА) рядом с микронагревателем – в пределах (47±1) ºС (рисунок 2). Следовательно, температурный градиент достигал величины около 9 ºС при мощности микронагревателя 6,8 Вт. Температура нагревателя на плате на основе стеклотекстолита типа FR4 через 19 с достигала (68±1) °С и 36 °С на плате, т.е. применение платы из алюминия с слоем нанопористого АОА приводило к значительно меньшему нагреву нагревательного элемента.

Форма конуса тепловой трубы (рисунок 1) полностью противоположна той, которая наблюдается для материалов из традиционных диэлектриков – сужение от источника нагрева на поверхности к нижней стороне. Результат свидетельствует о хороших теплопроводящих характеристиках слоя нанопористого АОА, который расположен между углеродной нитью (электронагревательный элемент) и алюминием.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

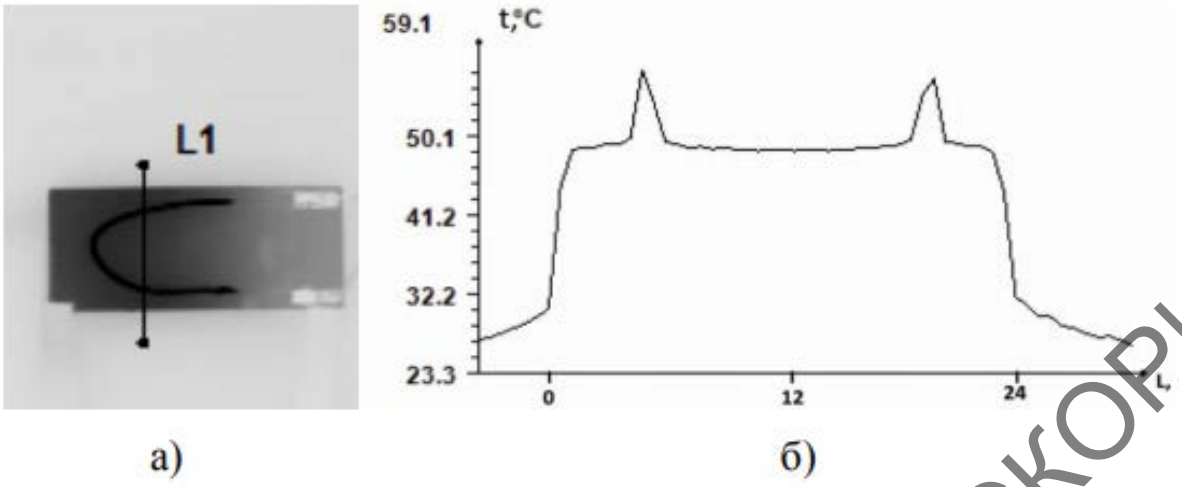


Рисунок 2 – Результаты тепловых измерений (а) тепловая картина на поверхности алюминиевого основания с нанопористым оксидом алюминия и микронагревателем из углеродной нити (6,8 Вт) на 19 с нагрева; (б) профиль температуры вдоль линии L1

Можно сделать вывод, что использование плат из алюминия с нанопористым оксидом алюминия является перспективным направлением в развитии светодиодной техники, т.к. данные платы могут успешно отводить тепло от светодиодов и увеличить срок их службы.

Литература

1. Теплопроводящие платы на основе алюминия с наноструктурированным слоем $A1_2O_3$ для изделий силовой электроники / Е. Муратова [и др.] // Журнал технической физики. 2018. Т. 88, № 11. С. 1678-1680.

2. Применение наноструктурированного анодного оксида алюминия при изготовлении теплонагруженных плат для силовых модулей / Е. Чернякова [и др.] // Научни известия на НТСМ. 2016. Т. XXV, № 12. С. 257-263.

3. Сравнительный анализ работы плоского нагревательного элемента на основании из анодированного алюминия / И. Врублевский [и др.] // Научни известия на НТСМ. 2015. Т. XXIII, № 9. С. 422-428.

4. Stark, I. Thermal conductivity of thin amorphous aluminia films / I. Stark, M. Storduer, F. Syrowatka // Thin solid films. – 1993. – Vol. 226, Iss. 1. – P. 85–190.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. С. Крупинская, Д. Н. Мисюкевич, В. В. Звежевич
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

РЕЦИКЛИРОВАНИЕ ОТХОДОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Одним из приоритетных направлений государственной политики является реализация основных целей и задач Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [1], в число которых входит обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства, предусматривающее обеспечение экологической безопасности, развитие рационального использования природно-ресурсного потенциала и эффективного обращения с отходами. В настоящий момент в Республике Беларусь намечены пути перехода к рациональным моделям потребления и производства, реализуется внедрение системы «зеленых» государственных закупок, находят широкое практическое применение различные способы вторичной переработки (рециклинга) промышленных отходов. В связи с чем, весьма актуальным вопросом для промышленных предприятий машиностроительного комплекса Республики Беларусь является максимальное вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья, то есть разработка способов рециклинга промышленных отходов [2, 3].

Целью данной работы являлась разработка направлений рециклирования отходов электроэрозионной обработки инструментальных сталей.

Объектом исследования выступали продукты электроэрозионной обработки инструментальных сталей графитовым электродом при получении элементов технологической оснастки (пресс-форм, литьевых форм), выпускаемой на ООО «Промтехоснастка» (г. Гродно, Беларусь).

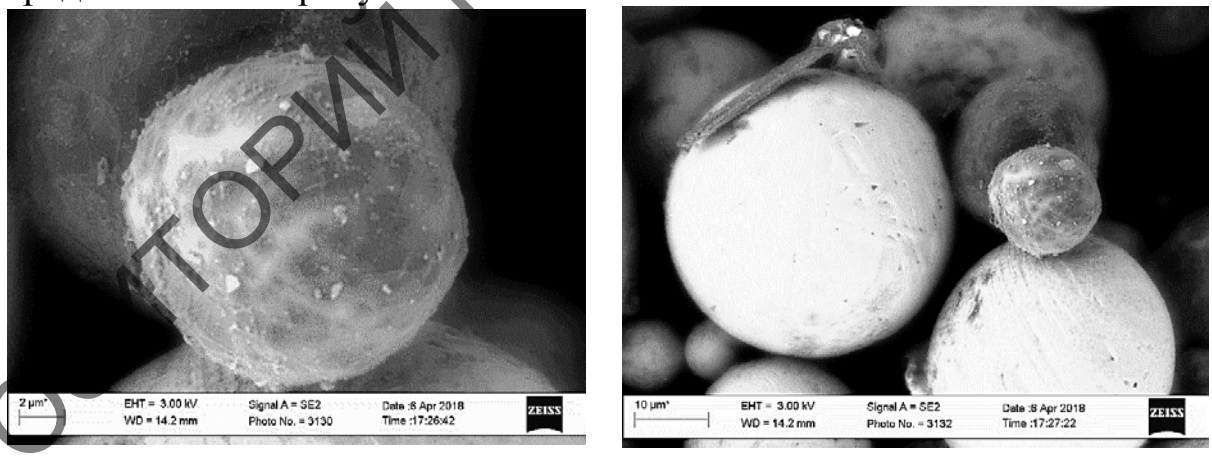
На сегодняшний день одним из прогрессивных процессов обработки материалов при получении тонких отверстий, выполнении маркировки, объёмного копирования и доводки, прожигания щелей, резки, шлифования заготовок из труднообрабатываемых материалов, а также используемого с целью упрочнения поверхностного слоя изделий, является электроэрозионная обработка, основанная на свойстве электрического разряда расплавлять и удалять металл, то есть на контролируемых процессах электрической эрозии. Образование искро-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

вых разрядов происходит в результате взаимодействия двух электродов, находящихся в жидкой диэлектрической среде и подключенных к источнику электрического тока. Как правило, в роли первого электрода выступает заготовка из токопроводящего материала, второго – инструмент из тугоплавкого материала или же материала с высокой теплопроводностью. Генерирование разрядов осуществляют в импульсном режиме с целью обеспечения своевременного охлаждения удаляемого металла и предотвращения его сцепления с основой. Температура в зоне воздействия при этом может достигать 10 000 °С. Регулированием параметров мощности разрядов и увеличением их частоты можно достичь более высоких показателей качества и чистоты обработки.

Рециклирование (или рециклизация) отходов представляет собой повторное использование или возвращение в оборот отходов промышленного производства. Одним из эффективных направлений рециклирования продуктов электроэрозионной обработки является использование их в качестве модификаторов для композиционных материалов на основе полимерных и металлических матриц.

Исследование особенностей морфологии, пространственной конфигурации элементов структуры исследуемого объекта и его элементного состава выполняли методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на приборе SUPRA–55WDS с системой рентгеноспектрального микроанализа INCA Energy 350. Результаты исследования представлены на рисунке.



а) б)

а) – участок сканирования 1; б) – участок сканирования 2

Рисунок 1 – РЭМ-снимки частиц продуктов электроэрозионной обработки инструментальных сталей графитовым электродом

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Результаты рентгеноспектрального микроанализа свидетельствуют о наличии в продуктах электроэрозионной обработки инструментальных сталей углерод- и металлсодержащих компонентов, что позволяет использовать их в качестве комплексного модификатора полимерных матриц, реализующего принцип многоуровневого модифицирования [4].

Предложенные направления рециклирования отходов электроэрозионной обработки инструментальных сталей, заключающиеся в использовании их в качестве комплексного модификатора для разработки композиционных материалов, апробированы при создании функциональных полимерных покрытий на основе алифатических полиамидов и электролитических покрытий на основе никеля для элементов карданных валов, амортизаторов, тормозных камер.

Литература

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства экономики Республики Беларусь. – Минск, 2017. – Режим доступа: http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf . – Дата доступа: 20.03.2020.

2. Концепт «экологизации законодательства» в сфере рециклинга отходов промышленного производства : монография / А. В. Струк, А. Г. Авдей, М. Г. Жук. – Минск : Право и экономика, 2019. – 305 с.

3. Национализация и локализация целей устойчивого развития. Концепция национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года / Министерство экономики Республики Беларусь. – Минск : Джи энд Ди, 2019. – 58 с.

4. Реализация принципа многоуровневого модифицирования в материаловедении и технологии полимерных композитов / С. В. Авдейчик [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2017. – № 3. – С. 86–100.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Е. А. Кулеш, А. А. Гузовец (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А.В. Рогачев,** д-р хим. наук, профессор, чл.-кор. НАН РБ,
И.В. Семченко, д-р физ.-мат. наук, профессор

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СЛОЕВ ДВУОКИСЕЙ ЦИРКОНИЯ И КРЕМНИЯ

Тонкопленочные поляризаторы на основе тугоплавких окислов широко используются в оптических и лазерных системах благодаря способности разделять падающее на них излучение на отраженный и прошедший пучки, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях [1]. Однако, для многих применений требуется высокая устойчивость оптических покрытий к воздействию внешних факторов. Помимо надлежащего контроля оптических констант, требования включают в себя улучшенные механические характеристики, в частности, хорошую адгезию, высокую твердость, стойкость к царапинам и истиранию, низкий уровень остаточных напряжений. Как правило, трудно получить точное измерение этих свойств для тонких покрытий, толщина которых составляет менее 1 мм [2].

Формирование многослойных покрытий на основе двуокиси циркония и кремния осуществлялось с помощью установки вакуумного напыления ВУ-1А, оборудованной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-I и системой контроля оптических характеристик модели Iris 0211. Осаждение покрытий осуществлялось при максимальном ускоряющем напряжении 12 кВ и током эмиссии от 10 до 200 мА при остаточном давлении в камере $6 \cdot 10^{-3}$ Па, длина волны контроля слоев составляла 568 нм. Разработанная конструкция 7-слойного поляризационного покрытия представляет собой последовательно осажденные на подложку чередующиеся тонкие слои тугоплавких окислов ZrO_2 (n=2,04) и SiO_2 (n=1,46) с толщинами 71,3 нм и 95,6 нм, соответственно, где заключительным слоем выступает ZrO_2.

В качестве подложек использовали оптическое стекло марки К8, кварцевую пластину, полиэтилентерефталат (ПЭТ), полиметилметакрилат (ПММА), полированную пластину толщиной 0,5 мм из монокристалла кремния марки КДБ с ориентацией кристаллической структуры 100.

Микротвердость покрытий измеряли с помощью микротведомера DM-8 с использованием алмазного индентора Кнупа. Трибологические испытания покрытий проводились на машине трения по схеме

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

«шарик–плоскость» при возвратно-поступательном движении при контактных нагрузках (по Герцу) 392,2 мН и 588, 4 мН, скорость скольжения составляла 0,01 м/с, длительность испытаний до 2000 циклов. В качестве контртела использовали шарик диаметром 5 мм из стали ШХ15. Методом оптической микроскопии определялся диаметр пятна износа, и далее рассчитывался коэффициент объёмного изнашивания контртела.

В таблице 1 представлены результаты определения микротвёрдости H покрытий ZrO_2/SiO_2, осажденных на различные подложки, и приведена оценка глубины вдавливания h индентора в покрытия ZrO_2/SiO_2.

Таблица 1 – Зависимость микротвердости покрытий ZrO_2/SiO_2 от величины нагрузки на индентор (по Кнупу) и оценка глубины вдавливания h индентора в покрытия ZrO_2/SiO_2, нанесенные на различные типы подложек

Нагрузка	242,2 мН		490,3 мН		980,7 мН	
Образец	H, ГПа	h, мкм	H, ГПа	h, мкм	H, ГПа	h, мкм
ZrO_2/SiO_2 (Si)	2,40	1,27	3,29	1,65	4,24	2,02
ZrO_2/SiO_2 (стекло)	1,89	1,51	2,48	1,87	2,87	2,45
ZrO_2/SiO_2 (кварц)	1,80	1,55	2,32	1,93	2,81	2,49
ZrO_2/SiO_2 (ПЭТ)	0,10	6,47	0,11	8,63	0,16	10,43
ZrO_2 (ПММА)	0,16	5,13	0,17	7,03	0,18	9,72

Согласно данным таблицы 1 можно отметить, что глубина вдавливания индентора превышает общую толщину покрытия (около 580 нм), таким образом, при оценке микротвердости по Кнупу рассматривается система «покрытие-подложка». Наибольшее значение микротвердости до 4,24 ГПа показала система покрытие-кремниевая подложка, наименьшей твердостью до 0,18 ГПа обладает система покрытие-полимерная подложка. Значения микротвердости 7-слойного покрытия на подложках из стекла, кварца и кремния в несколько раз меньше микротвердости однослойных покрытий ZrO_2 [3], что можно объяснить увеличением толщины более мягкого по сравнению с подложкой покрытия ZrO_2/SiO_2 и уменьшением влияния подложки на значения микротвердости. В то же время, значения микротвердости и диаметр отпечатка индентора для системы покрытие-полимерное покрытие не претерпевает особых изменений и, соответственно, количество слоев в данном случае не влияет на значения микротвердости.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В таблице 2 приведены параметры трения многослойного покрытия ZrO_2/SiO_2 на кремниевой подложке.

Таблица 2 – Параметры трения 7-слойного покрытия ZrO_2/SiO_2 на кремниевой подложке

Образец	Нагрузка, мН	Коэффициент трения, μ	Коэффициент объемного изнашивания контртела, $j \cdot 10^{-11}$, $м^3/(Н \cdot м)$
Si	392, 2	0,180	8,12
ZrO_2/SiO_2	392,2	0,651	4,96
ZrO_2/SiO_2	588,4	0,769	6,32

При анализе кинетических кривых трения был отмечен рост коэффициента трения до 0,7, что можно объяснить адгезионной составляющей силы трения, и происходила дальнейшая стабилизация коэффициента трения до 0,79 при максимальной нагрузке, а также снижение и стабилизация коэффициента трения до 0,65 при уменьшении контактной нагрузки. Согласно данным таблицы 2 установлено, что интенсивность изнашивания контртела снизилась на 20% при уменьшении контактной нагрузки с 588,7 мН до 392,2 мН.

Таким образом, 7-слойные покрытия на основе двуокисей кремния и циркония обладают оптимальными физико-механическими характеристиками для применения в областях оптики и лазерной техники.

Литература

1. Jiao, H. Comparative study of Laser induce damage of HfO_2/SiO_2 and TiO_2/SiO_2 mirrors at 1064 nm / H. Jiao, T. Ding, Q. Zhang / Optics express. – 2011. – Vol. 19, № 5. – P. 4059.

2. Stolz, C.J. Light intensification modeling of coating inclusions irradiated at 351 and 1053 nm C.J. Stolz, S. Hafeman, T.V. Pistor // Applied Optics. – 2008. – Vol. 47. – P. 162–166.

3. Физико-механические и трибологические свойства покрытий на основе ZrO_2 и SiO_2 сформированных электронно-лучевым испарением в вакууме / Н.А. Алешкевич [и др.] // Международный научно-практический журнал «Авангард науки». – 2019. – Вып. 6. – С. 5–9.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Е. А. Кулеш (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А. В. Рогачев,** д-р хим. наук, профессор, чл.-кор. НАН РБ

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ГРАДИЕНТНЫХ МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Покрытия на основе углерода часто используются для защиты различных металлов от коррозии благодаря своей химической инертности и высокой плотности [1], однако характеризуются слабой адгезией к металлическим поверхностям и низкой температурной стойкостью. Актуальной задачей является разработка методов формирования покрытий и архитектуры покрытий нового типа, позволяющие увеличить прочность адгезионного соединения и расширить температурный интервал работы. Известно [2], что термообработка многослойных металл-углеродных покрытий приводит к образованию диффузионного слоя, что определяет увеличение адгезионного соединения.

Предполагается [3], что применение многослойного углеродного покрытия способствует повышению коррозионной стойкости системы покрытие-подложка благодаря: увеличению толщины покрытия, что статистически уменьшает возможность дефектов сквозного покрытия; созданию системы чередующихся слоев с различным электрохимическим поведением в коррозионной среде.

Целью данной работы являлось определение влияния отжига градиентных покрытий на основе аморфного углерода и металлов на их коррозионную стойкость.

Градиентные металл-углеродные покрытия Me/α-C(5…20 Гц):Me получали из совмещенных потоков плазмы металла и углерода. Режим работы дугового испарителя, предназначенного для формирования металлической компоненты покрытия, был стабилизирован и обеспечивал равномерное поступление ионов металла на подложку. Осаждение градиентного покрытия начиналось с осаждения металлического подслоя, позволяющего обеспечить необходимые значения адгезионного соединения с материалом подложки из стали марки 304. Следующим этапом являлось введение в металлическую плазму атомов углерода и последующий рост концентрации атомов углерода по толщине покрытия от 0 до 100 ат. % в верхнем слое за счет увеличения частоты разрядных импульсов от 5 Гц до 25 Гц. В качестве металлического наполнителя использовали титан, хром и алюминий.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Отжиг покрытий проводили в муфельной печи СНОЛ в воздушной среде при температурах 150°, 250° и 350 °С в течение часа.

Коррозионная стойкость полученных покрытий исследовалась с применением стандартной трехэлектродной схемы. В качестве рабочей жидкости использовали раствор искусственной морской воды. Потенциал изменялся в диапазоне от минус 1,5 до +1,5 В. Скорость изменения потенциала составляла 10 мВ/с. Для каждого образца были получены анодные и катодные поляризационные кривые (кривые Тафеля).

С использованием математической обработки были получены следующие параметры коррозии: потенциал коррозии ($E_{кор}$, В) и ток коррозии ($I_{кор}$, А). Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты математической обработки кривых электрохимической коррозии

Температура отжига	Образец	$E_{кор}$, В	$I_{кор}\times10^{-5}$, А/см^2
Без отжига	Сталь 304	-0,444	1,035
	Ti/α-C(5…20 Гц):Ti	-0,372	1,253
	Cr/α-C(5…20 Гц):Cr	-0,117	0,352
	Al/α-C(5…20 Гц):Al	-0,715	2,865
350 °С	Ti/α-C(5…20 Гц):Ti	-0,229	0,79
	Cr/α-C(5…20 Гц):Cr	Покрытие разрушено	
	Al/α-C(5…20 Гц):Al	-0,370	0,77
250 °С	Ti/α-C(5…20 Гц):Ti	-0,208	0,86
	Cr/α-C(5…20 Гц):Cr	0,112	0,32
	Al/α-C(5…20 Гц):Al	-0,358	1,93
150 °С	Ti/α-C(5…20 Гц):Ti	-0,154	0,93
	Cr/α-C(5…20 Гц):Cr	-0,192	0,43
	Al/α-C(5…20 Гц):Al	-0,276	2,69

По результатам анализа поляризационных кривых (таблица 1) установлено, что осаждение градиентных покрытий независимо от состава и температуры отжига приводит к повышению коррозионной стойкости стальной подложки, выполненной из стали марки 304.

Для Ti/α-C(5…20 Гц):Ti покрытий установлено, что за счет содержания атомов титана на поверхности покрытия происходит пассивация, что приводит к увеличению сопротивления до значений 3,16 кОм. Наличие титана, характеризующегося устойчивостью в коррозионных средах, содержащих хлорид-ионы, приводит к высокой

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

коррозионной стойкости с ростом температуры отжига, что определяется способностью титана образовывать оксиды и высокой коррозионной стойкостью металлического титана при высокой температуре.

Для градиентных Cr/α-C(5…20 Гц):Cr и Ti/α-C(5…20 Гц):Ti покрытий характерно увеличение отношения sp^3/sp^2 с ростом температуры отжига, что определяется преимущественным взаимодействием графитовой компоненты покрытия с атомами хрома, а также уменьшением относительного содержания графитовой фазы с ростом температуры отжига за счет термо-окислительной деструкции.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее высокую коррозионную стойкость показало покрытие Cr/α-C(5…20 Гц):Cr после проведения отжига при температуре 250 °C. Значения потенциала коррозии при этом сместились в область положительных значений и составили 0,112 В. Отличительной особенностью градиентных покрытий, содержащих титан, является способность титана с ростом температуры образовывать оксид, который является достаточно плотным и не позволяет коррозионной среде взаимодействовать с материалом подложки.

Литература

1. Structural, mechanical, tribological, and corrosion properties of a-SiC:H coatings prepared by PECVD / S. Guruvenket [et al.] // Surface Coating Technolo-gy. – 2010. – Vol. 204. – P. 3358–3365.

2. Kinetics of graphitization of thin diamond-like carbon (DLC) films catalyzed by transition metal / N. Boubiche [et al.] // Diamond and Related Materials. – 2019. – Vol. 9. – P. 190–198.

3. Corrosion resistance of multi-layered plasma-assisted physical vapour deposition TiN and CrN coatings / C. Liu [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2001. – Vol. 141. – P. 164–173.

А. И. Леоненко (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Н. В. Иноземцева** канд. техн. наук, доцент

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ПРОШИВКОЙ

Способы нанесения металлических порошковых покрытий на металлическую основу в технологиях плакирования методом совместной пластической деформации основы и порошка покрытия отлича-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ются высокопроизводительностью и обеспечивают получение слоистых коррозионностойких, антифрикционных, износостойких матери-алов. Одним из способов является плакирование внутренних поверхностей изделий металлическими покрытиями операцией прошивки. Образование соединения при плакировании прошивкой представляет собой довольно сложный процесс [1-2]. Это проблема теории образования соединения между двумя разнородными твердыми кристаллическими телами, соединяемыми совместной пластической деформацией [4-5]. Изучение свойств покрытий, полученных при прошивке с плакированием, является актуальной задачей.

Прочность сцепления покрытия с основой определяли испытаниями на отрыв путем приклеивания и припаивании штифта. Необходимо отметить, что клеи холодного и горячего отверждения не обеспечивали требуемой прочности. Когда отрыв штифта происходил по клеевой основе, адгезионного разрушения покрытия не происходило. Максимальная прочность клеевого соединения составляла 13,5 МПа. Припаивание штифта обеспечивает большую прочность соединения, хотя оно вносит искажение термического характера.

Зависимость прочности сцепления оловянного покрытия с алюминиевой и медной основой от степени деформации представлена на рисунке 1.

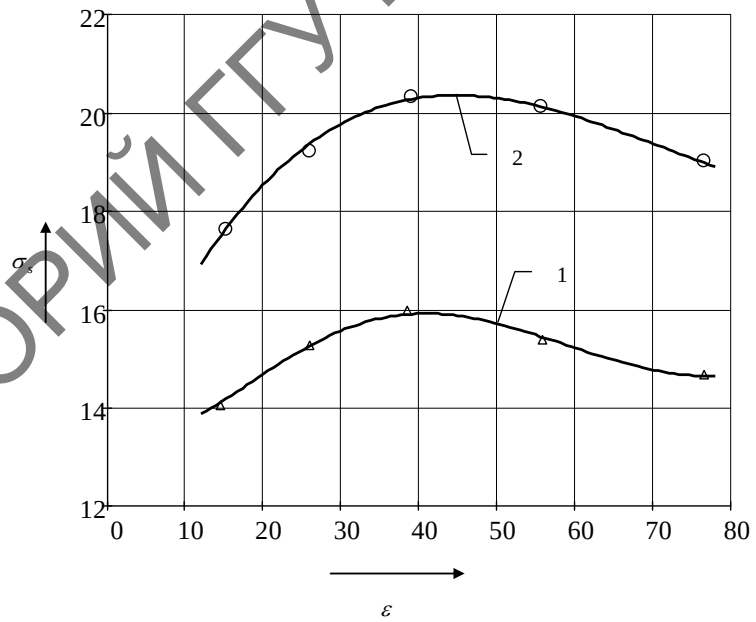


Рисунок 1 – Влияние степени деформации на прочность сцепления оловянного покрытия с основой 1-заготовка из алюминия АД0, 2-заготовка из меди М2

Покрытия получали из порошкового олова П02 при прошивке пуансоном с плоским торцем; пайку штифта осуществляли в специальном приспособлении. Кривые имеют максимум при $\varepsilon \approx 40\%$, что объ-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ясняется изменением характера течения материала и влиянием сдвиговых деформаций в процессе формирования покрытия.

Судить о характере соединения разнородных материалов можно по металлографическому анализу, который позволяет выявлять рельеф переходной зоны и ее структуру [4]. При наличии только механического сцепления, в результате силового и теплового воздействия, возникающего в процессе изготовления шлифа, на границе соединения виден тонкий слой из пленок и загрязнений. Такое соединение получено искусственно при плакировании с нанесением смазки под плакирующий слой. При плакировании прошивкой, в зоне контакта плакирующего материала с основным, возникают высокие давления. Наличие интенсивных сдвиговых деформаций при высоком давлении, а также ограничение контакта с воздушной средой способствует прочному сцеплению (схватыванию) разнородных материалов. Граница соединения получается плотная и не имеет неметаллических включений. Металлографический метод позволяет также выявить наличие пор в покрытии. Ввиду того, что давления, возникающие в процессе прошивки, превышают напряжения текучести материала основы, в случае применения порошкового плакирующего материала (менее прочного чем основа) он спрессовывается до плотности компактного материала. Среднее давление прошивки алюминиевых заготовок в 3-5 раз превышает критическое давление (давление истечения), необходимое для получения 100% плотности порошкового олова. Поэтому покрытие из пластичных материалов (олово, баббит, свинец, бронза, медь, цинк), полученное при прошивке с плакированием беспористое.

Т аким образом, были изучены свойства покрытий при плакирова-нии прошивкой, что позволит в дальнейшем получать покрытия более высокого качества.

Литература

1. Бобарикин, Ю .Л. Напряженное состояние очага деформации при плакировании прошивкой / Ю .Л. Бобарикин, В .Ф. Буренков // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2009. – №2.- С.36-44.

2. Бобарикин, Ю.Л. Экспериментальное исследование усилия плакирования закрытой прошивкой / Ю.Л. Бобарикин, В.Ф. Буренков, Н.В. Иноземцева // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого – 2011. – №1 – с. 19-23

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

3. Сварка разнородных металлов и сплавов/ В.Р.Рябов, Д.М. Рабкин, Р.С. Курочко, Л.Г.Стрижевская.- М.: Машиностроение, 1984. – 239 с.

4. Стройман, И.М. Холодная сварка металлов / И.М. Стройман. – Л.: Машиностроение, 1985.- 224 с.

5. К артонова, Л.В . Основы металлографии: учеб. пособие/ Л.В . К артонова; В ладим. гос. ун-т им. А .Г . и Н. Г . Столетовых. –В ладимир, 2017. –96 с.

Я. Я. Маркевич, М. М. Войтович
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЛИТА НА ВЕЛИЧИНУ ИЗНОСА ПРОТЕКТОРОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Известно [1-4], что в осенне-зимний период в связи с обработкой дорожного покрытия галитом (песчано-соляная смесь) наблюдается повышенный износ автомобильных шин, вследствие негативного влияния галита на резину, что способствует преждевременной замене автомобильной шины, и как результат приводит к дополнительным экономическим затратам организации. В связи с вышеизложенным, исследование влияния галита на величину износа протектора автомобильных шин представляется актуальным заданием, решение которого позволит установить зависимость износа шины от пробега транспортного средства (далее – ТС).

Целью настоящей работы является исследование влияния галита на величину износа протектора всесезонных автомобильных шин.

В качестве образца для исследований использовали протектор шины марки Triangle TR693. Из изношенной шины вышеназванной марки вырезали образец протектора шины, который в дальнейшем делили на 10 равных частей. Затем пять помеченных образцов с размерами 40×40 мм оставляли в предварительно увлажненной в галите, а пять оставшихся помещали в емкость с дистиллированной водой и выдерживали в течение 24 часов. Затем подготовленные образцы обдували сжатым воздухам с целью удаления остатков галита и воды с их поверхности, и оставляли высыхать дополнительно в течение 24 часов при комнатной температуре, после чего проводили эксперименталь-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ные исследования по влиянию галита на величину износа протектора автомобильной шины.

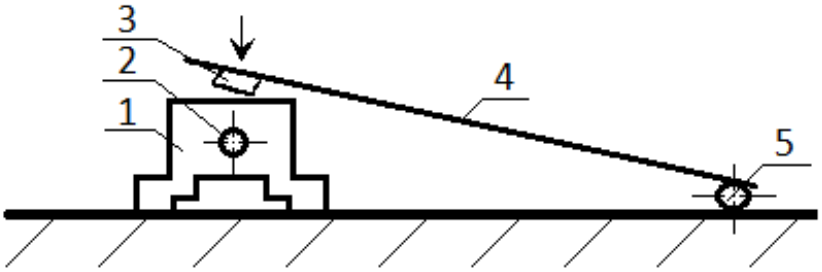
Электродвигатель имел следующие параметры: Название – C.E.Set; модель – MCA 38/64-148/AD8; максимальные обороты – 12 800 мин$^{-1}$; мощность двигателя – 370 Вт; длинна балки – 500 мм. Электродвигатель и ось балки закрепляли к столешнице жёстко, используя резьбовое соединение, при этом балка имела возможность только вращательного перемещения. Закрепление образцов для исследований производили металлическими хомутами из стали. Эксперимент проводили по следующей схеме: закрепляли образец для испытаний к балке и включали электродвигатель. Затем аккуратно опускали исследуемый образец на шкив электродвигателя и начали отсчёт времени. Время проведения исследований во всех случаях составляло 10 с. По окончанию времени проведения исследований, поднимали балку с исследуемым образцом, выключали электродвигатель, после чего снимали исследуемый образец шины с балки. По результатам исследований получали механический вид повреждений шины, выраженный в появлении полосы истирания. Далее производили замер наибольшей полосы истирания, измеряя её глубину и ширину с помощью глубиномера штангенциркуля.

Перед проведением каждого экспериментального исследования по последующему разрушению протектора исследуемого образца, производился замер температуры шкива электродвигателя, по средствам прикладывания руки к рабочей поверхности. Эксперимент продолжали только тогда, когда температура поверхности шкива была ниже температуры тела человека. Это было сделано для того, чтобы данная температура не оказывала влияния на достоверность полученных результатов и условия проведения эксперимента во всех случаях были идентичными. Так же, на балку вешали вырезанные для исследования образцы протектора исследуемой шины поочерёдно, в первую очередь образец, на который было оказано воздействие песчано-соляной смеси, а затем без воздействия данного вещества, и наоборот. Таким образом, проводимые достигалось создание одинаковых условий для проведения исследований при использовании всех подготовленных образцов.

Для получения более точных результатов исследований по истиранию протектора автомобильной шины эксперимент повторяли на 10 образцах.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

На рисунке 1 представлен разработанный оригинальный стенд для проведения исследований по определению величины износа протектора шины транспортного средства.



1 – электродвигатель, 2 – шкив электродвигателя,
3 – образец протектора шины, 4 – балка, 5 – ось балки
Рисунок 1 – Стенд для проведения исследований по определению степени износа шины транспортного средства

Установлено, что глубина износа исследуемого образца протектора автомобильной шины марки Triangle TR 693 (Китай) предварительно выдержанного в дистиллированной воде на 0,176 мм меньше, чем в аналогичном образце выдержанном в галите. Результаты исследований показали, что ширина полосы износа исследуемого образца протектора автомобильной шины марки Triangle TR 693 (Китай) предварительно выдержанного в дистиллированной воде на 0,644 мм меньше, чем в аналогичном образце выдержанном в галите.

Таким образом экспериментально установлено, что при обработке дорожного покрытия галитом глубина износа протектора автомобильной шины марки Triangle TR 693 (Китай) на 10,1 % выше, чем при движении шины по дорожному покрытию без галита.

В ходе проведения исследований также установлено, что при обработке дорожного покрытия галитом ширина износа протектора автомобильной шины марки Triangle TR 693 (Китай) на 8,06 % выше, чем при движении шины по дорожному покрытию без галита.

Литература

1. Тарновский, В.Н. Автомобильные шины. Устройство, работа, эксплуатация, ремонт / В.Н. Тарновский, В.А. Гудков, О.Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

2. Бидерман, В.Л. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на износ, сцепление и сопротивление качению автомобильных шин / В.Л. Бидерман [и др.]. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1970. – 106 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

3. Балабин, И.В. Автомобильные и тракторные колеса / И.В. Балабин, В.А. Пугин / Челябинск: Челябинское книжное изд-во, 1963. – 335 с.

4. Максименко, К.Д. Применение нагретых фрикционных материалов при зимнем содержании автомобильных дорог: дис. … канд. техн. наук: 18.05.2005 / К.Д. Максименко. СПб.: 2005. – 161 с.

5. Порядок организации и проведения работ по зимнему содержанию автомобильных дорог. – Взамен ТКП 100–2011 (02191); введ. 01.11.18. – Минск: БелдорНИИ, 2018. – 78 с.

А. С. Матвеенков (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Г. В. Петришин**, канд. техн. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ИНСТРУМЕНТА НА НАПРЯЖЕННОСТЬ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Шероховатость обработанной поверхности в машиностроении является одним из наиболее важных требований к изготавливаемой детали, определяющих её эксплуатационные свойства наравне с геометрической точностью и твердостью поверхности. Магнитно-абразивная обработка (МАО) применяется для финишной обработки наружных и внутренних поверхностей из ферромагнитных [1] и неферромагнитных [2] материалов. В качестве инструмента здесь используются различные виды магнитно-абразивных материалов.

Величина магнитной индукции при проведении МАО определяет жесткость образовавшейся абразивной щетки, выступающей в роли инструмента и влияющей на величину давления абразивных зерен на поверхность обрабатываемой заготовки [3]. Следовательно, при проектировании обрабатывающей системы необходимо прогнозировать распределение магнитной индукции для обеспечения наибольшей производительности, что и достигается благодаря математическому моделированию индукторов.

В статье будет рассмотрена типовая схема МАО для полирования наружных поверхностей вращения с индуктором на постоянных магнитах (рисунок 1).

Цель исследования: разработка математических моделей типового и для качественной и количественной оценки влияния геометрии инструмента на распределение магнитных полей в системе.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

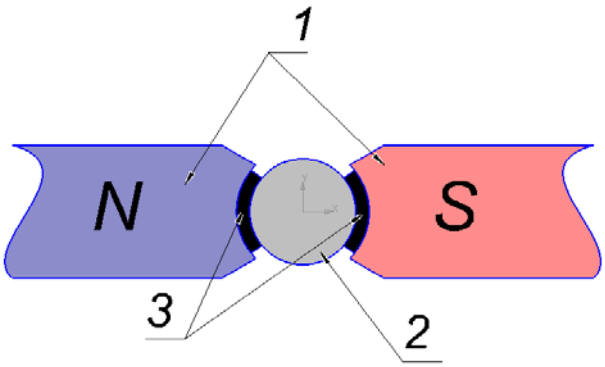
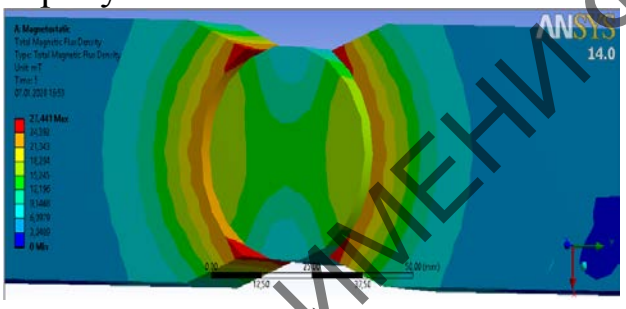
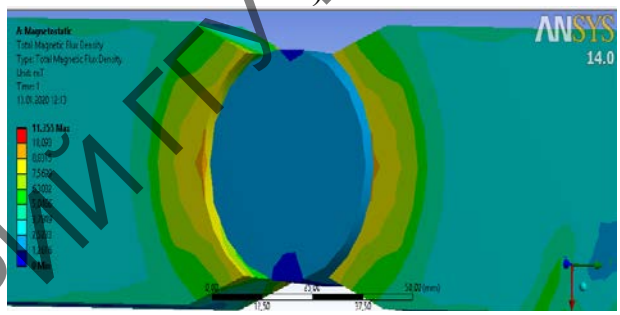


Рисунок 1 – Общий вид схемы
(1- постоянные магниты; 2 — обрабатываемая заготовка;
3 — магнитно-абразивная смесь)

Распределение магнитной индукции в исходном варианте данной схемы приведен на рисунке 2.



а)



б)

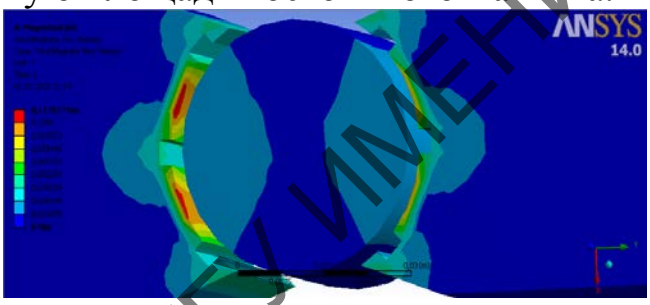
Рисунок 2 – Распределение магнитной индукции:
а) для стальной заготовки; б) для алюминиевой заготовки

При моделировании в качестве материала для постоянных магнитов использовался НмБ 200/80 ГОСТ 24897-81, а в качестве заготовки — Сталь 40 ГОСТ 1050-88 (рисунок 2а) и алюминий АЛ2 ГОСТ 1583-93 (рисунок 2б). Величина магнитной индукции постоянного магнита 0,3 Тл.

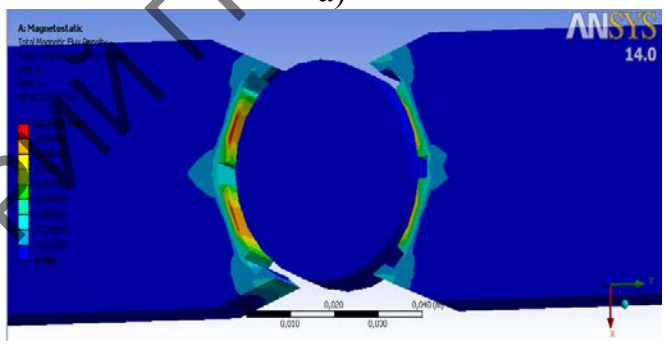
Результат показывает, что при обработке стальной заготовки (рисунок 2а) наибольшая величина магнитной индукции, равная 0,27 Тл, наблюдается по краям постоянного магнита в месте резкого изменения геометрии индуктора. Подобное распределение индукции

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

в обрабатывающей системе формирует магнитно-абразивную смесь таким образом, что наибольшая её плотность достигается в местах входа и выхода заготовки в зону обработки. Схема обработки заготовки из алюминия (рисунок 2б) показывает более равномерное распределение магнитной индукции с максимальной её величиной – 0,11 Тл. Поскольку наибольшие величины магнитной индукции достигаются в местах резкого изменения геометрии, можно предположить, что добавление сквозных пазов в постоянных магнитах приведет к концентрации индукции непосредственно в местах между пазами. В результате моделирования была получена следующая картина распределения магнитной индукции (рисунок 3). Здесь наибольшая величина электромагнитной индукции (0,117 Тл для стальной заготовки и 0,11 Тл для алюминиевой) наблюдается в промежутках между прорезанными в постоянных магнитах пазами, что объясняется прохождением большего числа линий магнитного поля через меньшую площадь постоянного магнита.



а)



б)

Рисунок 3 – Распределение магнитной индукции:
а) для стальной заготовки; б) для алюминиевой заготовки.

По результатам исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Схема МАО с использованием постоянных магнитов без пазов наиболее эффективна при обработке заготовок из магнитных материалов, поскольку обеспечивает максимальный показатель магнитной индукции — 0,27 Тл.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. Создание концентратов магнитной индукции на инструменте повышает эффективность процесса МАО только для немагнитных материалов.

Литература

1. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. - Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1986. - 176с.

2. Zhen-Bing, H. Magnetic Field Assisted Finishing of Ceramics. - Part III; On the Thermal Aspects of Magnetic Abrasive Finishing (MAF) of Ceramic Rollers / H. Zhen-Bing, R. Komanduri. Journal of Tribology, 1998. - Vol.120. - H. 660 - 667.

3. Хомич, Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н.С. Хомич. - Мн.; БИТУ, 2006. - 218 с.

А. Мендибай
(КГУТИ имени Ш. Есенова, Актау, Республика Казахстан)
Науч. рук. **Д. Д. Абдешов**, ст. преподаватель

О ПРЕИМУЩЕСТВАХ ПОКРЫТИЯ ИЗ НАНОЧАСТИЦ

Нанотехнология обещает ряд преимуществ от широкого использования серийных автомобилей. Таким образом, каждый узел или компонент в конструкции автомобиля может быть значительно улучшен с помощью нанотехнологий.

Одной из наиболее перспективных и перспективных областей применения достижений современной нанотехнологии (в том числе коммерческой) является область наноматериалов и электронных устройств [1].

Легко моющиеся и водоотталкивающие покрытия уже доступны для материалов, основанных на использовании диоксида кремния.

В форме наночастиц это вещество приобретает новые поверхности, особенно высокую поверхностную энергию, что позволяет частицам SiO2 плотно прилипать к различным поверхностям, обеспечивая тем самым непрерывный слой наноразмерных выступов, когда стекло, которое по существу схоже по составу, высыхает. ,

Покрытие из наночастиц кремнезема делает обрабатываемую поверхность гидрофобной – на поверхности с пленкой $Si0_2$ капля

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

воды касается подложки всего несколькими пятнами, что многократно уменьшает силы Ван-дер-Ваальса и легко понижает силы поверхностного натяжения жидкости в мяч обеспечивает сжатие. стекло, удаляя скопившуюся грязь.

Благодаря наноразмерной толщине такие покрытия совершенно невидимы и безвредны для человека и окружающей среды благодаря биоэнергетике кремнезема. Он устойчив к ультрафиолету и может выдерживать температуру до 400 °C, а эффект водоотталкивающего эффекта длится 4 месяца [2].

Многие иностранные компании в настоящее время производят такие покрытия в промышленных масштабах. Nanotechnology News Network, специальный дистрибьютор, представляет свою продукцию на российском рынке.

Что касается непосредственного понимания самоочищающихся поверхностей, то такая технология основана на использовании диоксида титана. Принцип работы материала с таким покрытием заключается в следующем.

Когда ультрафиолетовое излучение проникает в нанопокрытие из TiO2, происходит фотокаталитическая реакция. Во время этой реакции отрицательно заряженные частицы - электроны испускаются, а положительно заряженные дыры остаются на месте. Благодаря появлению сочетания плюсов и минусов на поверхности, покрытой катализатором, молекулы воды в воздухе превращаются в сильные окислители - гидроксидные радикалы (HO), которые окисляют и вымывают грязь, а также нейтрализуют различные запахи и убивают микроорганизмы [3].

В дополнение к очковым покрытиям были разработаны и произведены композиции с аналогичными эффектами для тканей, металла, пластика, керамики – и все они могут использоваться в автомобильной промышленности.

Таким образом, он не обладает полноценным водоотталкивающим эффектом, но снижает точку контакта поверхности с каплями воды, благодаря чему стекло остается полностью прозрачным во время дождя.

Литература

1. Волков, Г.М. Материаловедение / Г.М. Волков. – М.: Академия,2008.- 400 с.

2. Деффейс, К. и Деффейс С. Удивительные наноструктуры: / К. Деффейс.- М.: БИНОМ, 2011 – 206 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

3. Павлов, К.В. Наноэкология как перспективное научное направление: проблемы, тенденции, перспективы: монография / К.В. Павлов – Мурманск: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2008. – 338с.

А. А. Михальченко (БелГУТ, Гомель)
Науч. рук. **А. Б. Невзорова**, д-р техн. наук, профессор

ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ОТ ЁМКОСТИ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Введение. Электромобили (ЭМ) начинают завоевывать белорусский рынок, так как они чистые, тихие и энергоэффективные. Однако есть много факторов, которые препятствуют для их широкого распространения. Среди них пробег является одним из самых важных вопросов: снижение заряда аккумуляторной батареи (АКБ) во время движения приводит к серьезным неудобствам. Известно, что ограничение ёмкости АКБ для хранения электроэнергии ограничивает диапазон пробега ЭМ [1]. Поэтому информация о потреблении энергии в процессе эксплуатации ЭМ помогает выработать стратегии управления зарядкой аккумуляторной батареи (АКБ) ЭМ в стандартном цикле движения по городу [2].

Цель работы – оценить в реальных условиях ёмкость потребления электроэнергии АКБ ЭМ в зависимости от зарядки и пройденного расстояния в условиях городского движения транспорта.

В отличие от традиционных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, которые обычно заправляются только на заправочных станциях, электромобиль может заряжаться в нескольких местах несколькими способами: дома, на работе, в общественных местах и на автомагистралях для дальних поездок. В настоящее время используется следующие три типа зарядки:

– *переменным током* (AC) – в этой системе инвертор автомобиля преобразовывает AC в постоянный ток (DC), который после этого заряжает батарею (240 В). Она работает на мощности до 20 КВт;

– *постоянным током* – преобразует AC из сетки в DC и заряжает батарею без необходимости в инверторе (380 В). Это быстрая зарядка батареи. Работает при мощности от 25 КВт до более чем 350 КВт;

– *беспроводная зарядка* использует электромагнитные волны для зарядки аккумуляторов. Современные технологии могут обеспечить мощность до 11 КВт.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Оборудование для выполнения работы. На предприятии РУП «Гомельские электросети» установлено зарядное устройство для ЭМ в которое входит: разъем для соединения с автомобильным портом; кабель; зарядный модуль; внешняя вилка с заземлением для подключения к сети на 220 В (рисунок 1, а). Были проведены ходовые испытания электромобиля марки Nissan Leaf (рисунок 1, б) и оценка его уровня энергоэффективности.

Зарядное устройство электромобиля подключалось к доступной сети 220 В через обычную розетку. Загоревшийся на модуле зеленый светодиод – обозначал готовность к работе. После появления сигнала зарядное устройство подсоединялось к соответствующему порту SAE J1772 и проводилась зарядка ЭМ [3].

а) б)

Рисунок 1 – Зарядное устройство с питанием от электросети 220В (а) и электромобиль для исследований: 1 – зарядный порт; 2 – АКБ

Результаты и их обсуждение.

Проведены исследования зависимости расхода электроэнергии АКБ от от пробега ЭМ с момента последней подзарядки (рисунок 2). При изучении цикла зарядки-разрядки ЭМ установлено, что на восстановление полностью разряженной АКБ Ниссан от обычной электросети требуется до 8 часов. Это достаточно продолжительный период. Такой способ будет достаточно удобным, если можно заряжать батарею на парковках, в гараже, рядом с работой [1]. Но если эксплуатируется ЭМ при дальних поездках, то необходимо пользоваться зарядными станциями быстрого уровня.

Также существует проблема ЭМ в чувствительности литий-ионных АКБ к изменению температуры окружающей среды. При снижения температуры до 0 °С электролитная жидкость внутри бата-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

рей становится более вязкой, что приводит к увеличению срока зарядки.

Определено, что показатель запаса хода ЭМ от одной зарядки зависит от емкости, установленной АКБ, сбалансированности всех его систем и стиля вождения по городу.

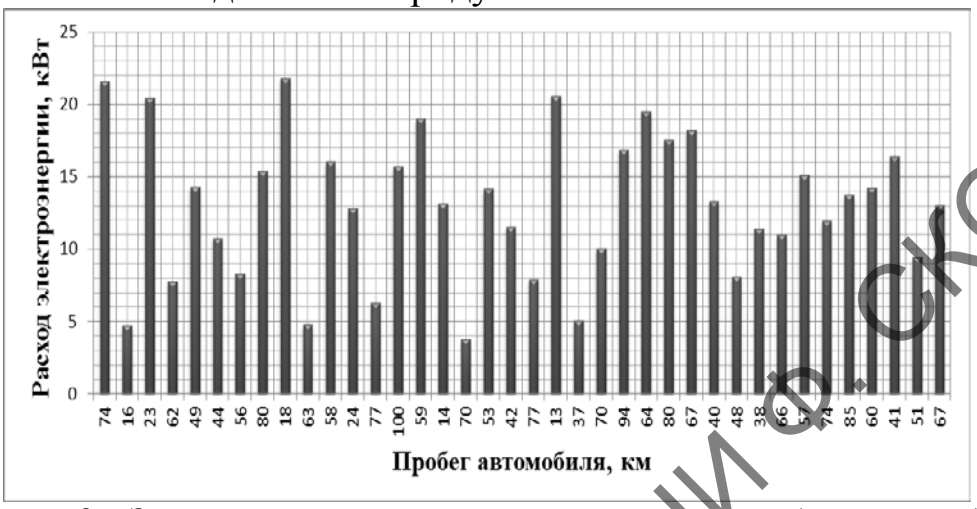


Рисунок 2 – Зависимость расхода электроэнергии от пробега автомобиля

Рисунок 3 – Цикл разрядки-зарядки ЭМ

Заключение. Установлено, что в реальных условиях ёмкость потребления электроэнергии АКБ ЭМ, на расстояние в 100 километров составляет 20 кВт электроэнергии. При этом необходимо учитывать температуру окружающей среды и пробег ЭМ в стандартном цикле движения по городу.

Литература

1. Эрфурт А. А. Зависимость запаса хода электромобиля Nissan Leaf от температуры окружающей среды / Эрфурт А. А., Базанов А. В. // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции. Тюмень, 2018. – С. 332–335.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. О. Определение оптимальной дальности пробега электромобиля с учетом его основных параметров // Слипченко Н. И. и [и др.]. – ВЕЖПТ. – 2013.– №4 (64). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-optimalnoy-dalnosti-probega-elektromobilya-s-uchetom-ego-osnovnyh-parametrov (дата обращения: 10.03.2020).

3. Зарядка электромобиля Nissan Leaf: основные сведения [Электронный ресурс] – URL: https://avtocharge.ru/baza-znaniy/zaryadka-nissan-leaf-osnovnye-svedeniya/ (дата доступа 10.03.2020).

Е. Н. Науменко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С. Ф. Ермаков**, д-р техн. наук, профессор

ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО СТРОЕНИЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ ХОЛЕСТЕРИНА

В последние годы не вызывает сомнения, что улучшение триботехнических характеристик смазочных систем (СС) посредством применения присадок является технически и экономически оправданным способом повышения эффективности узлов трения и снижения их энергоемкости [1-3]. Многочисленные эксперименты свидетельствуют в пользу того, что существенная роль в этом принадлежит жидким кристаллам холестерина (ЖКХ). Очевидно, что максимальная эффективность их смазочного действия будет достигаться при условии обеспечения в зоне динамического контакта упорядоченного поведения СС, для которого характерно направленное расположение молекул как ЖК-добавки, так и молекул смазочной среды. Поэтому, с учетом современных представлений о структурном поведении смазочных слоев, образованных молекулами ЖКХ, можно предположить, что эффект смазочного действия таких систем будет зависеть не только от содержания ЖКХ в СС, но и от химического строения ЖКХ. Анализ показывает, что не менее важной особенностью таких СС может быть свойство ЖКХ изменять в зависимости от молекулярной массы их оптическую активность. Поэтому, зависимости такого плана могут быть реальной основой для разработки эффективных методов и средств определения содержания ЖКХ в СС.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Целью настоящей работы является установление взаимосвязи триботехнических и оптических свойств ЖКХ и их молекулярного строения.

В экспериментах использовали как индивидуальные ЖКХ, так и их растворы в минеральных и синтетических маслах. Триботехнические свойства анных для экспериментов ЖКХ определяли посредством измерения напряжений волочения медной проволоки диаметром 7,2 мм через волоку при степени деформации 28,3%. ЖКХ при этом наносились на предварительно подготовленную поверхность катанки из раствора в четырёххлористом углероде. После испарения растворителя заготовка подвергалась испытанию. Испытания проводили на разрывной машине ZD-20 при скорости волочения 0,002 м/с. Противоизносные свойства ЖК в ВМ определяли на четырехшариковой машине трения согласно испытаниям по ГОСТ 9490–75. Оценивали СС, которые содержали 1,5 мас.% ЖКХ в вазелиновом масле (ВМ). В качестве показателя износа выбран диаметр пятна износа.

Зависимости углов вращения плоскости поляризации света от концентрации ЖКХ в СС исследовали на сахариметре СУ-4 на кювете длиной 200 мм.

Установлено, что сила сопротивлению сдвига (σ) при волочении от количества атомов углерода в алкильном радикале (*N*) для выбранных ЖКХ уменьшается с ростом длины углеводородного радикала (рисунок 1).

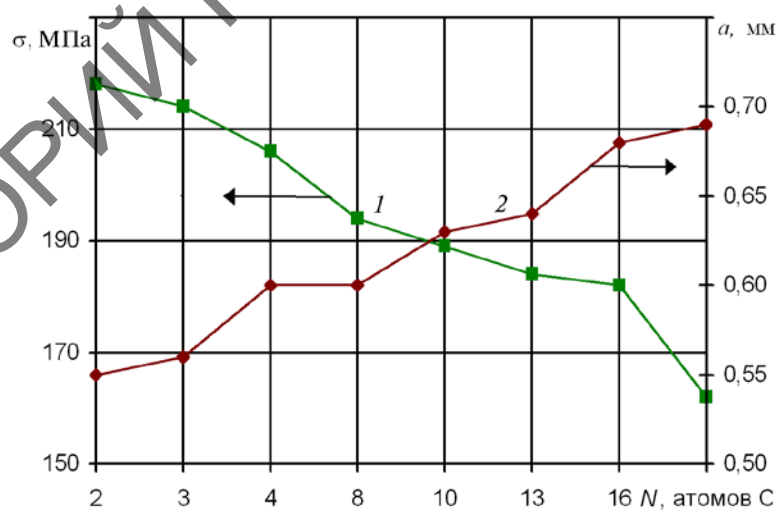


Рисунок 1 – Влияние числа атомов (*N*) в углеводородном радикале ЖКХ на напряжение волочения σ (*1*) и показатель износа *a* (*2*)

Таким образом, показано, что триботехнические характеристики ЖКХ при исследовании данного гомологического ряда находятся в

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

прямой зависимости от молекулярной массы алкильного радикала. Установлено, что более высокомолекулярные ЖКХ приводят к более низкому трению в процессе волочения проволоки.

Показано, что химическое строение ЖКХ влияет не только на снижение коэффициента трения (т.е. в данном случае на снижение сопротивления сдвигу при волочении), но и на процессы изнашивания. Исследования по измерению показателей износа при трении стальных шаров в 1,5%-ных растворах в ВМ ЖКХ с длиной алкильного радикала от C_2 до C_{15} показали, что диаметры пятен износа изменяется в зависимости от номера используемого гомолога ЖКХ (рисунок 1). Установлено, что с увеличением длины алкильного радикала наблюдается рост диаметров пятен износа, что свидетельствует об ухудшении их противоизносных свойств. При этом следует отметить, что ухудшению (увеличению) показателя износа соответствует уменьшение растворимости ЖКХ в базовом составе. Низкая растворимость более высокомолекулярных ЖКХ в ВМ затрудняет образование на поверхностях трения адсорбционных слоев молекул ЖКХ, что и приводит к повышению износа сопрягаемых поверхностей.

В данных экспериментах также установлено, что для минеральных и синтетических масел, содержащих ЖКХ, характерно, что в полулогарифмических координатах наблюдается линейная зависимость величины угла вращения плоскости поляризации света от количества атомов углерода в алкильном радикале ЖКХ. Отмечено, что данные зависимости хорошо объясняются как химическими особенностями в строении молекул ЖКХ, так и различиями в их молярных массах.

Литература

1. Kolesnikov, V.I. Structurally Induced Lubricity of Liquid Crystal Cholesterol Nanomaterials in the Friction of Metals / V.I. Kolesnikov, S.F. Ermakov, E.B. Shershnev, A.P. Sychev // Doklady Physics. – 2019. – V. 64, No. 9. – P. 356-359.

2. Жидкие кристаллы: дискотические мезогены / Н. В. Усольцева, О.Б. Окопова, В.В. Быкова, А.И. Смирнова, С.А. Пикин. Под ред. Н.В. Усольцевой. – Иваново: Иван. гос. ун-т. – 2004. – 502 с.

3. Ермаков, С.Ф. Трибология жидкокристаллических наноматериалов и систем / С.Ф. Ермаков. – Минск: Беларусская навука. – 2012. – 380 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

С. Д. Осипенко (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **К. С. Курочка**, канд. техн. наук, доцент

МЕТОДИКА И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ЛОКАЛИЗАЦИИ ЖИРОВЫХ КЛЕТОК НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ КОНФОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ

Локализация жировой ткани на результатах конфокальной лазерной микроскопии происходит во время операции. Жировая ткань может появиться на изображении во время проведения конфокальной лазерной микроскопии на короткий промежуток времени, врач может не заметить этого и пропустить её. Программное средство поможет врачу сфокусировать внимание на определённой глубине проникновения конфокального лазерного микроскопа. Это может помочь в выявлении патологий, так как у жировой ткани есть определённые места расположения в человеческом организме [1]. Выявление патологий важная тема медицинской диагностики, поэтому разработка программного обеспечения локализации жировой ткани актуально на сегодняшний момент.

Цель разработки программного обеспечения локализации жировой ткани: помочь врачу локализировать жировую ткань во время проведения конфокальной лазерной микроскопии, уменьшить время проведения КЛМ и общую длительность операций, увеличить качество промежуточных результатов в медицинской диагностике.

Программное обеспечение должно:

– самостоятельно обучать нейронную сеть на основе результатов конфокальной лазерной микроскопии;

– локализировать жировую ткань на изображениях, поданные в качестве входных данных с использованием обученной модели;

– иметь удобный и понятный пользовательский интерфейс, который не вызовет проблем и затруднений в эксплуатации.

Входные данные делятся на два типа:

– для обучения нейронной сети используются большое количество (1000) изображений с конфокальной лазерной микроскопии, на которых как присутствует, так и отсутствует жировая ткань;

– для выявления жировой ткани. Это те же результаты конфокальной лазерной микроскопии, представленные в виде отдельных изображений или в виде потока данных (видео).

Архитектура программного средства представлена как: уровень данных и бизнес логики, пользовательский интерфейс. В качестве

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

уровня данных будет выступать набор изображений, полученных из результатов конфокальной лазерной микроскопии, бизнес логика будет представлена наборам классов, которые будут выполнять алгоритмы по выявлению жировой ткани, пользовательский интерфейс будет представлен формами в *windows forms application*. Такое разделение позволяет удобна работать с приложение, а также правильно разработать архитектуру, которая в дальнейшем может быть расширена или изменена одна из частей этого примера.

Для локализации жировой ткани выбрана свёрточная нейронная сеть (*convolutional neural networks*).

CNN использует некоторые особенности зрительной коры, в которой были открыты так называемые простые клетки, реагирующие на прямые линии под разными углами, и сложные клетки, реакция которых связана с активацией определённого набора простых клеток [2]. Таким образом, идея свёрточных нейронных сетей заключается в чередовании свёрточных слоев (англ. *convolution layers*) и субдискретизирующих слоев (англ. *subsampling layers* или англ. *pooling layers*, слоёв подвыборки).

Оценка изображений происходит на основе предобученной модели *VGG16* с использованием библиотеки *ML.NET*. В качестве входных данных подаются изображения, полученные после (или во время) проведения конфокальной лазерной микроскопии. В качестве результата получаем сведения о количестве жировых тканей на изображении, что поможет выявить патологии, связанные с жировой тканью.

Литература

1. Жировая ткань [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Zhirovaya-tkan_.doc.pdf. – Дата доступа: 10.05.2018.

2. Хайкин, С. Нейронные сети полный курс / С. Хайкин, – Москва: Вильямс, 2006. – 1101 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

С. Д. Осипенко (ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **К. С. Курочка**, канд. техн. наук, доцент

АРХИТЕКТУРА НЕЙРОННОЙ СЕТИ И СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЖИРОВОЙ ТКАНИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ КОНФОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ

При исследовании щитовидной железы используется конфокальный лазерный микроскоп. Данные полученные после проведения конфокальной лазерной микроскопии необходимо изучить и дать заключение о состоянии щитовидной железы или же о возможных патологиях.

В изучении результатов конфокальной лазерной микроскопии может помочь нейронная сеть, которая может быть натренирована на выявление жировой ткани на данных полученных после проведения исследования щитовидной железы. Это может помочь в выявлении патологий, так как у жировой ткани есть определённые места расположения в человеческом организме [1].

Архитектура программного средства представлена как: уровень данных и бизнес логики, пользовательский интерфейс. В качестве уровня данных выступает набор изображений, полученных из результатов конфокальной лазерной микроскопии, бизнес логика представлена наборам классов, которые будут выполнять алгоритмы по выявлению жировой ткани, пользовательский интерфейс представлен формами в *windows forms application*. Такое разделение позволяет удобно работать с приложением, а также правильно разработать архитектуру, которая в дальнейшем может быть расширена или изменена одна из частей этого примера [2]. Архитектура приложения показана на рисунке 1.

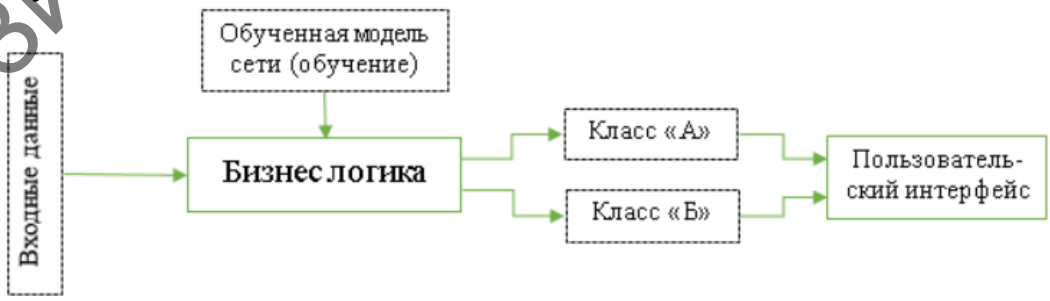
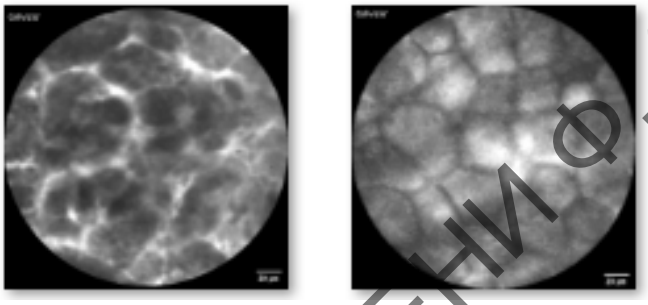


Рисунок 1 – Архитектура приложения

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Для уровня данных необходим *dataset* набор, полученный в результате конфокальной лазерной микроскопии. Данные делятся на два класса с жировой тканью и без жировой ткани. В базе изображений должны присутствовать оба класса, пример двух классов представлен на рисунке 2. Входные данные передаются в бизнес логику, а затем проводится обучение на основе полученных данных или же просто принимается уже обученная модель нейронной сети. После обучения или получения уже обученной модели, пойдёт классификация входных данных, результаты классификации передаются в пользовательский интерфейс.



а б

Рисунок 2 – Пример изображений после проведения конфокальной лазерной микроскопии, а) изображения без жировой ткани; б) изображение с жировой тканью

Для бизнес логики используется набор классов, который работает с нейронной сеть. Для выявления жировой ткани выбрана свёрточная нейронная сеть (*convolutional neural networks*).

CNN использует некоторые особенности зрительной коры, в которой были открыты так называемые простые клетки, реагирующие на прямые линии под разными углами, и сложные клетки, реакция которых связана с активацией определённого набора простых клеток [3]. Таким образом, идея свёрточных нейронных сетей заключается в чередовании свёрточных слоев (англ. *convolution layers*) и субдискретизирующих слоев (англ. *subsampling layers* или англ. *pooling layers*, слоёв подвыборки).

Оценка изображений происходит на основе предобученной модели *Inception-V3* с использованием библиотеки *ML.net*. В качестве результата выступает вероятность того к какому классу относится каждое изображение (с жировой тканью, без жировой ткани). Архитектура предобученной модели *Inception-V3* представлена на рисунке 3.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

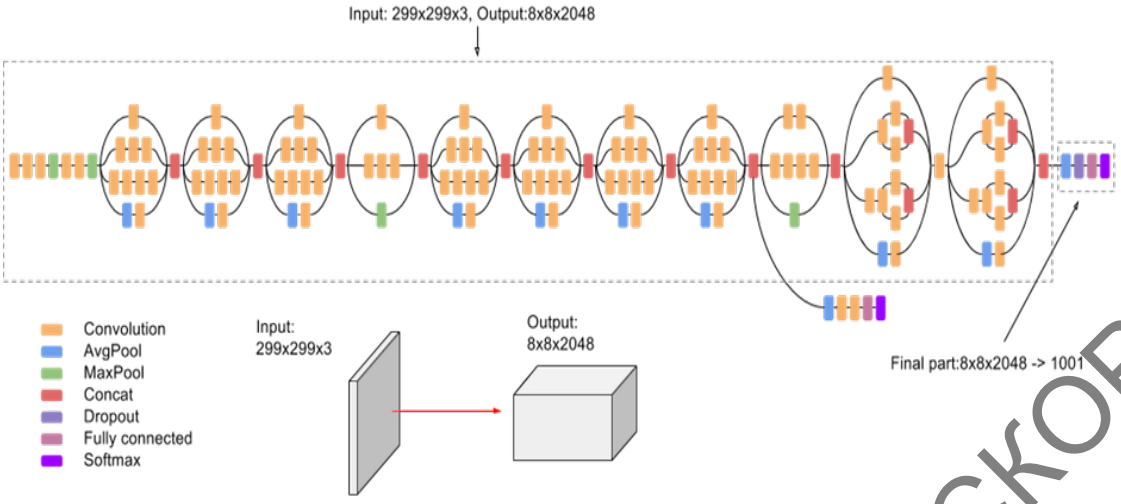


Рисунок 3 – Архитектура модели *Inception-V3*

Работа свёрточной нейронной сети обычно интерпретируется как переход от конкретных особенностей изображения к более абстрактным деталям, и далее к ещё более абстрактным деталям вплоть до выделения понятий высокого уровня. При этом сеть самонастраивается и вырабатывает сама необходимую иерархию абстрактных признаков (последовательности карт признаков), фильтруя маловажные детали и выделяя существенное.

Чтобы изменить работу нейронной сети, достаточно изменить архитектуру предобученой модели путем удаления или добавления новых слоев в нее, а также изменить способ обучения. Так как архитектура программного обеспечения выявления жировой ткани на результатах конфокальной лазерной микроскопии позволяет изменять свои составные части, в дальнейшем в нее можно будет добавить логику для локализации жировых клеток на тех же изображениях.

Литература

1. Жировая ткань [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Zhirovaya-tkan_.doc.pdf. – Дата доступа: 20.03.2020.

2. Шилин, Л. Информационные технологии и системы / Л. Шилин, Д. Кукин, А. Иванюк – БГУИР, Минск, 2017. – 71 с.

3. Хайкин, С. Нейронные сети полный курс / С. Хайкин, – Москва: Вильямс, 2006. – 1101 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В. В. Петрусевич (БелГУТ, Гомель)
Науч. рук. **Д. И. Бочкарев**, канд. тех. наук, доцент

АНАЛИЗ ВАРИАНТА ПРОДЛЕНИЯ МЕЖРЕМОНТНОГО ПЕРИОДА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ СОСТАВАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ КАУЧУКОВ

Аннотация: в статье рассмотрены основные достоинства и недостатки вариантов продления межремонтного периода асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог составами на основе полиуретановых каучуков, сделны выводы по возможности их применения.

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, защитные материалы, полиуретановых каучуков, межремонтного периода асфальтобетонных покрытий.

Необходимость в защите асфальтобетонных покрытий от воздействия внешних агрессивных сред определяет поиски новых технологических решений в создании защитных материалов. Диапазон использования данных материалов довольно широк. Существующие защитные композиции различаются как по назначению, так и по содержанию компонентов.

Применение данных материалов прогнозирует рост долговечности покрытий с одновременным улучшением транспортно-эксплуатационных характеристик. При распределении на покрытие данные составы проникают в объем материала, заполняя микротрещины и дефекты, что может приводить к снижению водонасыщения, увеличению коэффициента морозостойкости, а также повышению коэффициента сцепления с колесами транспортных средств [1-2].

Потребность в защите материала покрытий автомобильных дорог от воздействий внешних агресивных факторов определяет поиски новых технологических решений в создании защитных материалов. Проведен анализ существующих методов защиты материалов с помощью покрытий, имеющих в своем составе синтетический каучук. Выделен вариант – защита асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог составами на основе полиуретановых каучуков.

Полиуретановые покрытия не обладают достаточными адгезионными свойствами поэтому необходимо дополнительное использование адгезива для крепления покрытия к субстракту. В качестве адгезивов используют различные грунты на основе

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

эпоксиалкидных, эпоксидных и фенолформальдегидных смол. Нанесение уретановых покрытий производится по слою грунта ВЛ-02 в сочетании с ВЛ-023 или грунта ХС-010 [3].

Для получения защитных покрытий, наносимых распылением, выдерживающих коррозийный износ при кратковременном нагреве до 250 ºС при этом используется отвердитель метафенилендиамин (МФДА). Такой состав носит название СКУ-ПФЛМ. Напыляемые пленки и покрытия из этих составов обладают высокой прочностью, эластичностью. При нанесении напылением слой быстро достигает толщины от 1 до 5 мм и больше. Существуют более гидролитически стойкие системы на основе простых полиэфиров, но у них меньше сопротивление истиранию [4].

К недостаткам покрытий на основе полиуретанового каучука можно отнести:

– повышенная стоимость за счет использования грунта;

– длительная вулканизация покрытия для приобретения оптимальных физико-механических свойств (14 суток);

– при работе с полиуретановым каучуком огромное внимание уделяют степени чистоты растворителя (растворитель – метилетилкетон циклогексанон).

Полиуретановое покрытие, модифицированное алкосиланом, используется для защиты строительных конструкций от воздействия различных неблагоприятных факторов [5]. Однокомпонентное полиуретановое покрытие мастичного типа на основе чистых эластичных полиуретановых смол (Universun Polimast) используются для устройства бесшовных кровельных покрытий, отличающихся высокой эластичностью.

Анализ свойств существующих покрытий показал, что тонкослойные полиуретановые покрытия характеризуются:

– высокой светостойкостью;

– стабильностью свойств при эксплуатации в широком температурном диапазоне;

– высокие физико-механические свойства.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что покрытия, на основе полиуретанового каучука, востребованы во многих отраслях производства благодаря высоким механическим показателям (стойкость к истиранию, твердость, эластичность. Благодаря комплексу ценных свойств данные покрытия нашли применение в военной технике. Защитным покрытиям на основе полиуретановых каучуков посвящен обзор [6-7], герметикам. В

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

работе [7] приведено множество примеров по рациональному использованию защитных покрытий данного типа в защитных покрытиях. Полный обзор по полиуретановым покрытиям приведен в [8].

Исходя из вышеуказанного анализа можно говорить о возможности применения способа продления межремонтного периода асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог составами на основе полиуретановых каучуков.

Литература

1. Гидрофобный состав для профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: заявка Респ. Беларусь № а 20180114, МПК 7E01C14/24 / Д.И. Бочкарев, В.В. Петрусевич; заявитель Д.И. Бочкарев, В.В. Петрусевич – № а 20180114; заявл. 23.03.2018.

2. Исследование влияния профилактической обработки на эксплуатационные и физико-механические свойства материалов автодорожных покрытий / Д.И. Бочкарев, В.В. Петрусевич // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 2. – С. 82–88.

3. Тихонов, В.И. Высокоэластичные покрытия для защиты металлов, Л. ЛДННТП 1989, С 8–9.

4. Райт П. Поулиретановые эластомеры / П. Райт, А. Камминг , Л : Издательство «Химия» 1973, С 259–260.

5. Чухламова, В.Ю. Пластические массы / В.Ю. Чухламова, М.А. Ионова, 2012.

6. Лабутин, А.Л. Защитные покрытия на основе уретановых эластомеров / А.Л. Лабутин, В.С. Шитов, М. цНИИТЭнефтехим,1977, 92 с.

7. Сергеев, Б.И. Применение полимерных материалов в гидротехническом строительстве / Б.И. Сергеев [и др.]. // IV Всесоюзное науч.-тех совещание, Л. ВНИИГ, 1977. – С. 92.

8. Urethans in elastomers and coating. Estport. Conn. Techn. Publ. Conf., p. 40 1973.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Е. Д. Пискунова (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С. Ф. Ермаков**, д-р техн. наук, профессор

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

На современном этапе совершенно очевидно, что все более значительное место в трибологии занимают проблемы создания новых экологически чистых методов и средств для обеспечения высокоэффективного трения и износа твердых тел [1, 2]. В последние годы одно из центральных мест в решении этих вопросов занимает также изучение процессов трения системы «колесо-рельс» [2, 3]. При этом следует отметить, что к числу существенных недостатков, широко используемых в настоящее время смазочных материалов (СМ) из нефтяных продуктов, является их отрицательное влияние на последствия, приводящие к необратимому загрязнению окружающей среды. Анализ показывает, что наиболее эффективно решить эти проблемы могут экологически чистые СМ, получаемые, например, на основе возобновляемого сырья растительного происхождения, а, именно, растительных масел и отходов их производства [2]. Предварительные эксперименты, сделанные в этом направлении исследований, уже достаточно хорошо подтверждают высокую биоразлагаемость растительных масел, особенно при их попадании в почву и водные ресурсы. Следовательно, из-за постоянно возрастающих экологических проблем применения в повседневных условиях СМ из нефтяных продуктов, а также перспективами и неограниченными возможностями получения возобновляемого растительного сырья, существенно возрастает актуальность использования СМ растительного происхождения в технике.

Целью работы является создание на основе растительных масел экологически чистых смазочных материалов для узлов трения машин, механизмов и железнодорожного транспорта.

В исследованиях использовали СМ на основе рапсового масла (РМ) без добавок и с добавками холестерина (ДХ) и жидкокристаллических соединений холестерина (ЖКХ). Опытные образцы сравнивались с традиционными минеральными маслами (ММ) и СМ на их основе и специальных комплексных загустителей («АКС РЕЛЬСОЛ», «АКС АГС» и др.). Последние, как известно, широко используются для рельсо- и гребнесмазывания на железнодорожном транспорте. Технологические режимы получения исследуемых СМ моделирова-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

лись в лабораторных условиях. Составы растительных масел определяли на газовом хроматографе. Триботехнические испытания СМ проводили на ЧШМ в соответствии с ГОСТ 9490—75, а также на автоматизированной установке трения СМТ-1 при динамическом контакте роликов из колёсной и рельсовой сталей при нагрузке 1627 Н и скорости скольжения 0,5 м/с. Состояние поверхностей трения исследовали на оптическом микроскопе «NU-2».

Установлено, что в исследуемых растительных маслах содержатся следующие непредельные жирные кислоты: олеиновая, линолевая и линоленовая. Как известно, эти кислоты являются превосходными поверхностно-активными веществами, обеспечивающими низкое трение и износ сопрягаемых поверхностей. Результаты, представленные на рисунке 1, полностью подтверждают эти предположения. В частности, СМ на основе РМ (3) в сравнении с ММ (1) имеют более высокие антифрикционные характеристики. Показано, что для данных смазочных материалов различной природы с увеличением времени испытаний на ЧШМ показатели износа монотонно повышаются.

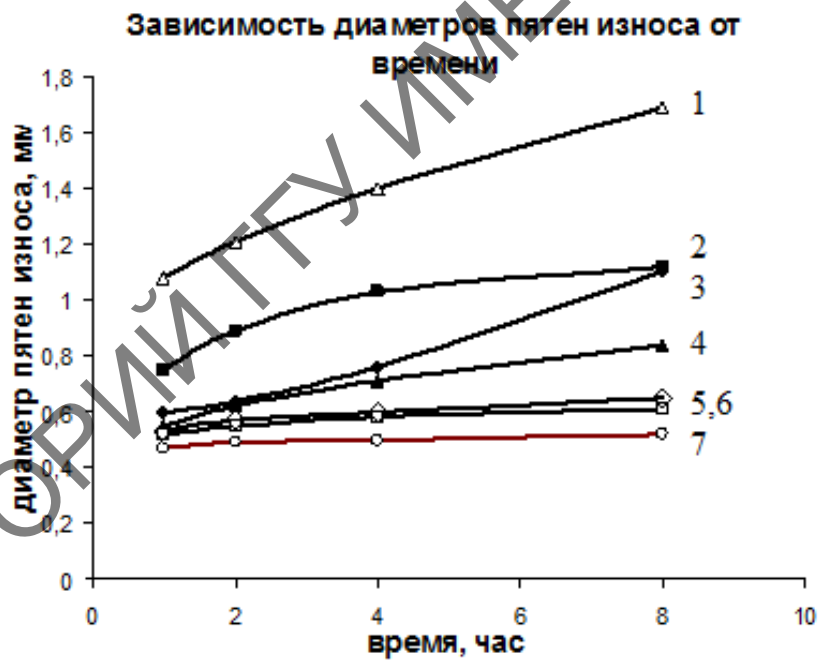


Рисунок 1 – Триботехнические испытания различных смазок на ЧШМ:
1-минеральное масло И-20А; 2-И-20А+3 мас.% ДХ;
3- нерафинированное рапсовое масло (РМ);
4- нерафинированное РМ+3 мас.% ДХ; 5- смазка АКС РЕЛЬСОЛ;
6- смазка АКС АГС; 7-смазка на основе РМ и ЖКХ

Отмечено, что введение ДХ заметно улучшают противоизносное действие как минеральных, так и растительных СМ (кривые 2 и 4). Однако, как следует из проведенных экспериментов, более эффектив-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ное противоизносное действие обеспечивают СМ с добавками специальных присадок: 1) на минеральной основе с добавкой органических комплексных загустителей (5, 6); 2) на растительной основе с добавкой ЖКХ (7).

Последнее подтверждено при модельных испытаниях на СМТ-1 при динамическом контакте роликов из рельсовой и колёсной сталей (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты испытаний исследуемых СМ при динамическом контакте роликов из колёсной и рельсовой сталей на трибоустановке СМТ-1

Наименование смазок	Износ роликов за 16 ч, г		Коэффициент трения	Температура в зоне трения, °С
	колесного	рельсового		
СМ на основе РМ и ЖКХ	0,0003	0,0023	0,055	59
АКС-АГС	0,0249	0,0688	0,09-0,1	79
АКС РЕЛЬСОЛ	0,0003	0,0077	0,082	73

Таким образом, экспериментально установлено, что СМ на основе растительных масел (РМ) и жидкокристаллических соединений холестерина (ЖКХ) в сравнении с широко используемыми на железнодорожном транспорте минеральными СМ с добавками специальных комплексных загустителей, например, «АКС АГС» значительно выделяются среди них своими экологическими свойствами и имеют более высокие триботехнические характеристики.

Литература

1. Джост, П. К авторам и читателям журнала «Трение и износ» / П. Джост // Трение и износ. – 2010. – Т. 31, № 1. – С. 5-6.

2. Экологически чистый смазочный материал и способ его производства: патент РФ № 2551679, МПК С 10 М 169/06, С 10 М 125/22. – Бюл. 15. – 2015 / В.И. Колесников, М.В. Бойко, Д.Ю. Марченко, К.С. Лебединский.

3. Марков, Д.П. Работоспособность колесно-рельсовых смазочных материалов / Д.П. Марков // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 5. – С. 544–550.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

М. П. Пуровский (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Скаскевич,** канд. техн. наук, доцент

РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В последние десятилетия появляются разнообразные виды полимерных и комбинированных упаковочных материалов, которые значительно превосходят своих предшественников по прочностным и другим характеристикам, прекрасно защищают продукты при транспортировке и хранении в различных условиях, что способствует их широкому распространению. Для превращения отходов термопластов в сырье для последующей переработки в изделия, необходима его предварительная обработка. Выбор способа предварительной обработки зависит в основном от источника образования отходов и степени их загрязненности. Так, однородные отходы производства и переработки полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) обычно перерабатывают на месте их образования [1].

Значительное место среди твердых полимерных отходов занимают отходы, имеющие в составе большую часть полиамидов образующиеся в основном при производстве пленок, а также вышедшие из употребления изделия. Так как полиамид (ПА) дорогостоящий материал, отходы из данной смеси обладают рядом ценных химических и физико-механических свойств, что важно для дальнейшего их использования [2].

В данной работе проведены исследования возможности повторного использования отходов производимых ЗАО «Биган» (г.Гродно) трехслойных пленок ПА6-ПЭНП-ПА6. В качестве исходных материалов были использованы:

- исходное сырье для производства оболочки «Бига–3» ПА6 для изделий, контактирующих с пищевыми продуктами ТУ РБ 500048054.037–2002; адгезионная добавка Orevac 18370 maleic Anhydride modified LLDPE; ПЭВД 15803–020 ГОСТ 16337–77
- отходы производства оболочки указанного выше состава.

Для оценки потребительских свойств провели испытания деформационно-прочностных и технологических характеристик композиционных составов.

Испытания образцов при одноосном растяжении указывают на удовлетворительные характеристики исследуемого композиционного состава (табл. 1).

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Таблица 1 – Испытания на растяжение смеси (ПА-6, ПЭНП, ЛПЭНП)

Показатели	Номер образца			Среднее значение
	1	2	3	
Прочность при максимальном усилии, МПа	45,07	41,2	44,15	43,47
Деформация при максимальном усилии, %	4,46	4,04	4,35	4,28

Дифференциальнотермический анализ композиционного состава показывает, что процесс плавления характеризуется эндотермическими эффектами при температурах 155°С, 235°С и 280°С, что указывает на фазовое разделение компонентов. При этом начало экзотермического процесса, связанного с окислением начинается при температуре 300°С, а при температуре 320°С свидетельствует о начале процесса деструкции.

Таблица 2 – Показатель текучести расплава исследуемого состава

Смесь	$t_{пл}$, °С	ПТР, г/10 мин
ПА-6, ПЭНП, ЛПЭНП	230	7,2

Исследование вязкости композиции показывает, что данный состав можно перерабатывать технологиями литья под давлением и экструзией.

Рисунок 1 – Фиксатор арматуры «Кольцо»

Исследованный состав предложено применить для изготовления полимерного изделия «Фиксатор арматуры «Кольцо»» (рис. 1), предназначенного для обеспечения требуемого защитного слоя бетона при бетонировании монолитных конструкций.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Литература

1. Губанов, Л.Н., Зверева, А.Ю., Зверева, В.И. Переработка и утилизация отходов упаковочных материалов: учеб. пособие / Нижний Новгород: ГОУВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», 2015 – 122 с.

2. Лесун, А.Н. Технологические особенности рециклинга промышленных отходов переработки политетрафторэтилена / А.Н. Лесун, А.А Скаскевич, В.А. Кочерова // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2016. Т. 6. № 2. – С. 66-72.

А. С. Русыкин, Д. В. Слепенков (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В.Е. Гайшун** канд. физ.-мат. наук, доцент;
С.А. Хахомов д-р.физ-мат.наук., доцент

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ YAGG ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В основе работы лежат исследования по синтезу нанопорошков люминофоров, которые могут быть использованы в качестве матриц для трехвалентных ионов лантаноидов Ln (III). В сочетании с золь-гель технологией получения тонких покрытий, полученные порошки могут найти применение в области солнечной энергетики.

В данной статье проанализированы различные способы получения плёнок на примере плёнкообразующих растворов на основе кремния. В качестве растворяемых порошков были использованы порошки YAGG методами CP (Co-precipitation), UGR (UreaGlassRoute), Pechini и Microemulsion в университе элементов, таких как церий (Ce), хром (Cr), иттербий (Yb) и неодим (Nd) в определенных концентрациях

В лаборатории университета Палермо были синтезированы 5 растворов с различными концентрациями компонентов, а также использовался один золь, приготовленный в Беларуси, в проблемной научно-исследовательской лаборатории ГГУ им. Ф. Скорины. Во все плёнкообразующие растворы были добавлены порошки YAGG с предельными концентрациями, при которых было возможно образование прозрачных дисперсий.

Оптоэлектронные свойства полученных нанокристаллов зависят от их размера, поэтому используется метод синтеза карбамидостекла

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

(UGR), который позволяет контролировать зарождение и рост наноструктур.

Эта процедура требует, чтобы прекурсоры металлов были растворены в этаноле для образования гелеобразной фазы после добавления мочевины. Гелеобразное вещество впоследствии преобразуется в кристаллическую структуру после процесса прокаливания.

В качестве легирующих добавок использовались неодим (Nd) и иттербий (Yb), поскольку их излучение позволяет охватить спектральную часть красной области и ближнего ИК-диапазона, представляющего интерес для создания солнечных элементов [1].

Метод UGR может считаться самым результативным и перспективным, что показывают ИК-спектры порошков, приготовленных тремя разными методами:

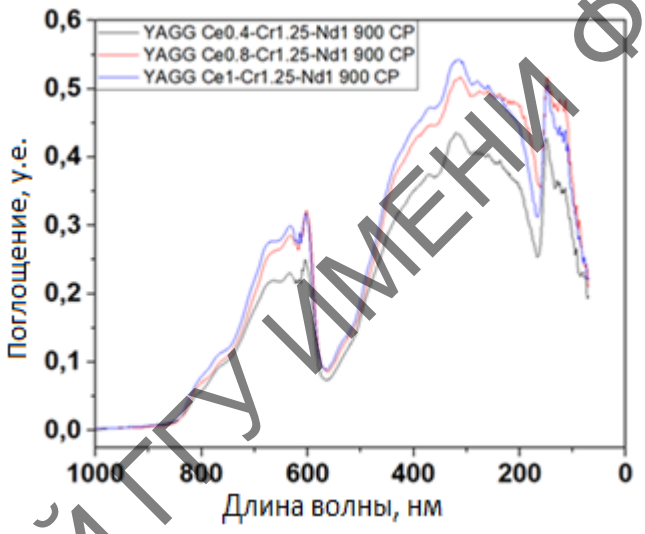


Рисунок 1 – ИК-спектр плёнок с порошком YAGG, полученным методом CP

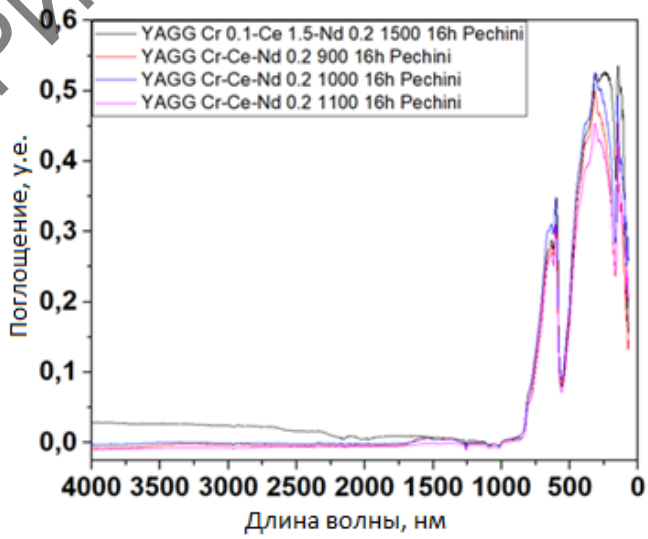


Рисунок 2 – ИК-спектр плёнок с порошком YAGG, полученным методом Pechini

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

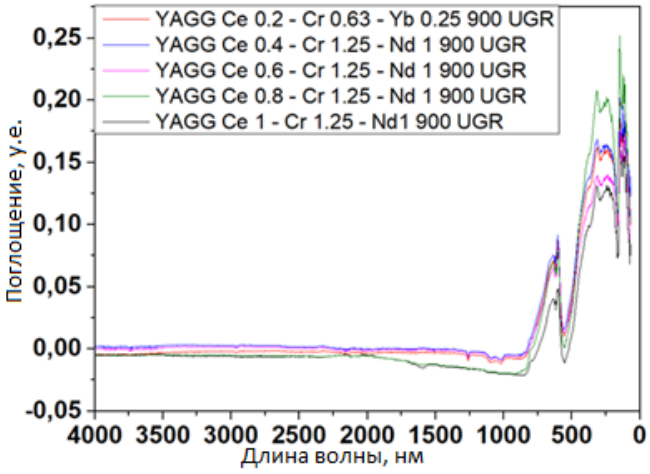


Рисунок 3 – ИК-спектр плёнок с порошком YAGG, полученным методом UGR

Оценивается не только эффективность солнечного элемента (вырабатываемая мощность), но и способность получать энергию в отсутствие солнечного света (стойкая фотолюминесценция).

Пленки осаждают на стекла после обработки ультразвуком (в среднем 20-30 мин) методом центрифугирования на центрифуге Apogee spin-coater, и подвергают термообработке, избегая длительного контакта образцов с воздухом. Золь объёмом 1 мл был использован для нанесения покрытия после достижения центрифугой максимальной скорости 1000 об / мин. Термическая обработка заключалась в нагреве и последующей выдержке при температуре 60^0 С на 1 час в сушильном шкафу марки SNOL и 30 минут на 250^0 С в муфельной печи той же марки SNOL. После термообработки образцы остывают в печи до комнатной температуры.

Выводы

Был разработан и исследован метод приготовления тонкоплёночных покрытий золь-гель методом в сочетании с различными методами приготовлений YAGG-порошков. При достижении предельной концентрации порошка в золе была зафиксирована устойчивая люминесценция при воздействии на образец ИК-излучением, которой ранее не наблюдалось в образцах с более низкой концентрацией. Разработанная технология может найти применение в области производства солнечных элементов и концентраторов.

Литература

1. Maria Luisa Saladino, Effect of the dopant selection (Er, Eu, Nd or Ce) and its quantity on the formation of yttrium aluminum garnet na-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

nopowders / Maria Luisa Saladino, Eugenio Caponetti, Delia Chillura Martina, Stefano Enzo, Giulio Ibba – : Optical Materials 31 (2008) 261–267c.

А. Саламатов
(КГУТИ имени Ш. Есенова, Актау, Республика Казахстан)
Науч. рук. **Д. Д. Абдешов**, ст. преподаватель

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Современное общество живет в нестабильном мире. XXI век породил ряд сложных глобальных проблем, которые зависят от решения будущего человечества. Эти проблемы часто называют вызовами 21-го века.

Первая проблема – это энергия. Не далеко, истощение источников традиционных источников энергии в кишечнике мира. В то же время потребление энергии продолжает расти, особенно в промышленно развитых странах. В такой ситуации остается не только полагаться на работу ученых, но, с одной стороны, будут разрабатываться новые энергосберегающие технологии, с одной стороны, где ученые будут открывать новые, но неизвестные источники энергии.

Вторая проблема - это окружающая среда. Хотя человечество осознало необходимость использования природоохранных и экологически чистых технологий, разработка экологических мер и безвредных технологий все еще отстает от потребностей экосистемы.

Для решения этих проблем намечены следующие тенденции. Первая тенденция - постепенный переход к постиндустриальному обществу, основанный на развитии и широком использовании информационных технологий. Вторая тенденция заключается в том, что большинство жителей мира увеличивается на культурной и профессиональной основе, основанной на разработке и распространении образовательных методов, инструментов и технологий.

В результате в современных условиях роль образования значительно возрастает, а потребности общества в образовательных услугах возрастают.

В условиях быстрого развития общества, в эпоху научно-технического прогресса, в эпоху быстрого развития компьютеров, в эпоху развития нанотехнологий, молодые люди должны быть сильно обеспокоены основными энергетическими проблемами. С современным обществом практически невозможно представить без энергии.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Традиционные источники наверняка будут заменены альтернативными источниками энергии. Природные запасы сырья, нефти, газа и других ресурсов рано или поздно истощатся. Но это не самое главное, во всяком случае, человечество естественным образом использует альтернативные источники энергии, солнечную энергию, воду, гидроэлектростанции, гетерогенную энергию, энергию ветра и т. д.

Сегодня энергетика является одним из основных факторов ускорения экономического роста, повышения производительности труда и улучшения качества жизни населения. Потребителями энергии являются как частные лица, так и различные промышленные объекты. В результате роста населения и промышленного развития за последние сто лет мировое потребление энергии увеличилось в четырнадцать раз. По оценкам некоторых демографов, население мира достигнет 9 миллиардов человек в середине XXI века. В этом контексте естественно ожидать увеличения потребностей в энергии.

Основываясь на традиционных формах энергии, альтернативных источниках энергии, работе учеников и учеников старших классов, принципах работы, преимуществах и недостатках устройств и установок, работающих на этих станциях, систем безопасности и т. д. Кроме того, они должны будут знать физические процессы, происходящие на этих объектах, методы преобразования солнечной энергии, энергии ветра, энергии потока воды в электрическую энергию.

Например, энергия Солнца может быть преобразована в тепло или холод, движущую силу и электричество. Здесь вы можете получить полный спектр информации из раздела оптики, например, какой диапазон длин волн генерируется солнечным излучением, диапазон ультрафиолетовых волн, диапазон световых волн, диапазон инфракрасных волн.

Внешние слои атмосферы Земли отсекают около одной миллионной энергии, излучаемой Солнцем, или около 1500 квадриллионов ($1{,}5 \times 1018$) кВт-ч в год. Кроме того, например, движение Солнца, время года, количество солнечной энергии, которая падает на поверхность Земли из-за географического расположения объекта и т. д. Существует огромное количество информации, которая можно получить из солнечного излучения, эта информация из области физики, географии, астрономии и химии. Вся эта информация включает в себя различную физику, географию, химию и т. д. Она обогащает знания студентов на местах.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Кроме того, угол падения солнечного излучения, попадающего в здание, материал стен здания, местоположение здания, теплопроводность материала, конвекция и т. д. [1].

Здесь мы также указываем на преимущества преобразования солнечной энергии в электрическую энергию, работы солнечного элемента, в котором принцип действия основан на pn-переходе, или, другими словами, на переходе электрон-дырка. Это уже поле физики полупроводников, в котором существует тип пространственного изменения проводимости от электронной n к дырочной p проводимости.

Таким образом, вся полученная информация побуждает молодых людей приобретать навыки научных исследований и развивать свои знания в основном в области современной физики, эта информация также необходима при работе в промышленности, производстве и некоторых отраслях технологии в будущем.

Литература

1.Абекова, Ж.А. Современная энергия, проблемы и развития в научных научных проектах / Ж.А. Абекова, А.Б. Оралбаев, П.А. Сайдахметов, А.К. Ашенова //Международный журнал экспериментального образования. - 2016. - № 1. - С.13-16.

Д. Г. Сердюков (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **О. В. Дегтярева,** ст. преподаватель

РЕЗИСТИВНЫЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЗРАЧНЫХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ

Экспериментальные исследования по формированию прозрачных токопроводящих покрытий проходили на вакуумном универсальном посту (ВУП-5). В качестве подложек применялось оптическое стекло марки К 8; мишенями для испарения служили пластины из чистого индия весом 8;5;3 грамм.

Спектрофотометрические исследования проводились с помощью спектрофотометра CARY-50. На его основе были получены спектральные кривые коэффициентов пропускания и отражения покрытий на основе индия после технологической операции отжига. Измерения проводились в диапазоне длин волн от 200 до 1100 нм.

После отжига при максимальной массе мишени (m_{max}) спектральная кривая пропускания представлена на рисунке 1.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

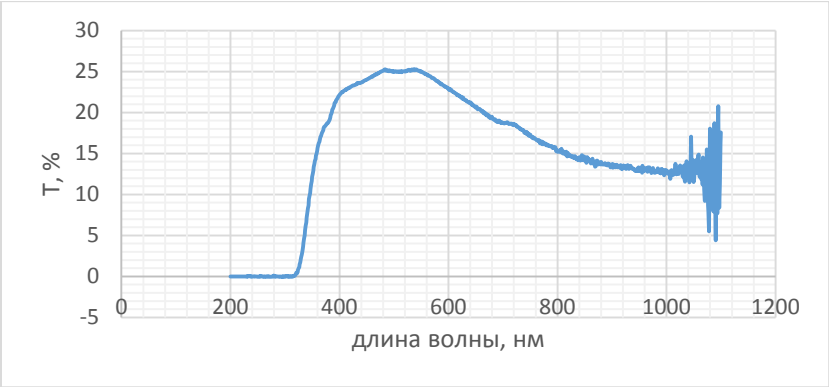


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента пропускания от длины волны при m_{max}

Значения коэффициентов отражения и пропускания в заданном спектральном интервале представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты значений R и T при m_{max}

№ образца	λ,нм	R,%	T,%
1	409	4.11	22.73
	445	8.43	23.89
	499	16.18	24.98
	553	24.76	24.81
	618	29.18	22.08

Из таблицы следует, что максимальные значения коэффициентов отражения и пропускания зарегистрированы на длинах волн 618 нм и 499 нм соответственно.

После отжига при среднем значении массы мишени $m_{сред}$ спектральная кривая коэффициентов пропускания представлена на рисунке 2.

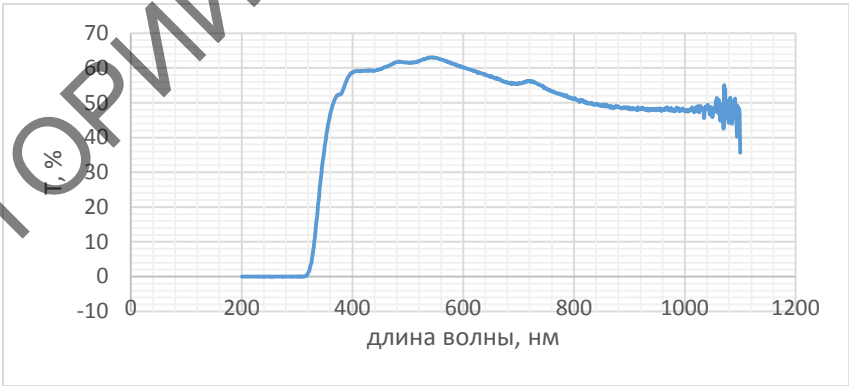


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента пропускания от длины волны при $m_{сред}$

Результаты значений коэффициентов отражения и пропускания представлены в таблице 2.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Таблица 2 – Результаты значений R и T при $m_{сред}$

№ образца	λ,нм	R,%	T,%
2	426	12.89	59.27
	462	13.28	60.48
	547	16.49	62.95
	589	15.49	60.60
	637	15.09	58.13

Из таблицы следует, что максимальные значения коэффициентов отражения и пропускания зарегистрированы и соответствуют длине волны равной 547 нм.

После отжига при максимальной массе мишени (m_{min}) спектральная кривая пропускания представлена на рисунке 3.

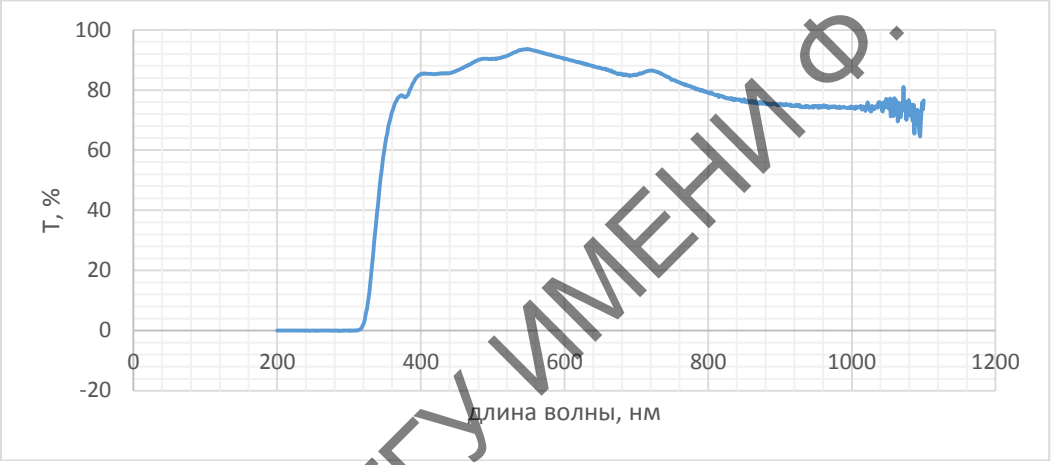


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента пропускания от длины волны при m_{min}

Значения коэффициентов отражения и пропускания в заданном спектральном интервале представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты значений R и T при m_{min}

№ образца	λ,нм	R,%	T,%
3	432	10.25	85.49
	482	9.94	90.19
	550	10.17	93.44
	613	8.78	89.66
	681	8.01	85.26

Из таблицы следует, что максимальные значения коэффициентов отражения и пропускания зарегистрированы на длинах волн 432 нм и 550 нм соответственно.

В результате проведенных исследований было установлено: что полученные покрытия оксида индия из мишеней минимальной массы обладают максимальным коэффициентом пропускания 93,44 % на длине волны 550 нм. Коэффициент отражения при этом имеет значе-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ние 10,17 %. Исследования показали, что отжиг покрытий, состоящих из чистого индия различной массы приводит к значительному увеличению прозрачности указанных покрытий при их формировании с заданными технологическими параметрами.

А. В. Солдатенко (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **С. В. Бордусов** д-р. техн. наук, профессор

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ В ПЛАЗМЕ ИМПУЛЬСНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

В связи с развитием микро- и наноэлектроники, развитии приборостроения и производства нового оборудования и инструментов, повышаются требования к материалам, использующимся в ходе производства, что приводит к разработке новых методов обработки материалов. Одним из важных направлений в обработке материалов, являются плазменные методы обработки материалов, позволяющие достигать заданных параметров обрабатываемых материалов и снизить затраты на производство различного оборудования для конкретного типа обработки [1].

Особенностью плазменной модификации является универсальность относительно обрабатываемого материала и улучшением свойств материала, такие как прочность, стойкость коррозии и т.д.

Под модификацией поверхности понимается изменение химического состава и структуры поверхностных слоёв материала или сформированных ранее тонких пленок на поверхности материала, делается это с целью повысить долговечность и надежность обрабатываемых изделий, создание поверхностных слоёв с новыми функциональными параметрами, изменение потребительских характеристик [2-3]. Изменение характеристик материала определяется комбинациями параметров технологического процесса. Это степень вакуума, электрические параметры плазмы и состав среды, в котором зажигается плазма. Одним из методов, является метод плазменной модификации в плазме тлеющего разряда. Этот метод позволяет повысить производительность модификации и качество обрабатываемых поверхностей.

В первую очередь данный метод в сравнении со стандартным термическим методом плазменной модификации имеет следующие преимущества:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

- возможность получения слоёв заданного фазового состава и строения;

- возможность проведения управляемых процессов;

- значительно меньшее время на обработку в связи с отсутствием промежуточных технологических операций по активации поверхности обрабатываемых изделий, уменьшенного времени на нагрев и охлаждение изделий;

- процесс экономичен за счёт меньшего расхода газа и электроэнергии;

Для проведения процесса требуется специально оборудование. Оборудование должно содержать следующие функциональные системы: электродную (катод и анод), электропитание, системы напуска и откачки газа, система контроля и измерения температуры и давления, и устройства генерации азота и водорода, структурная схема оборудования отображена на рисунке 1.

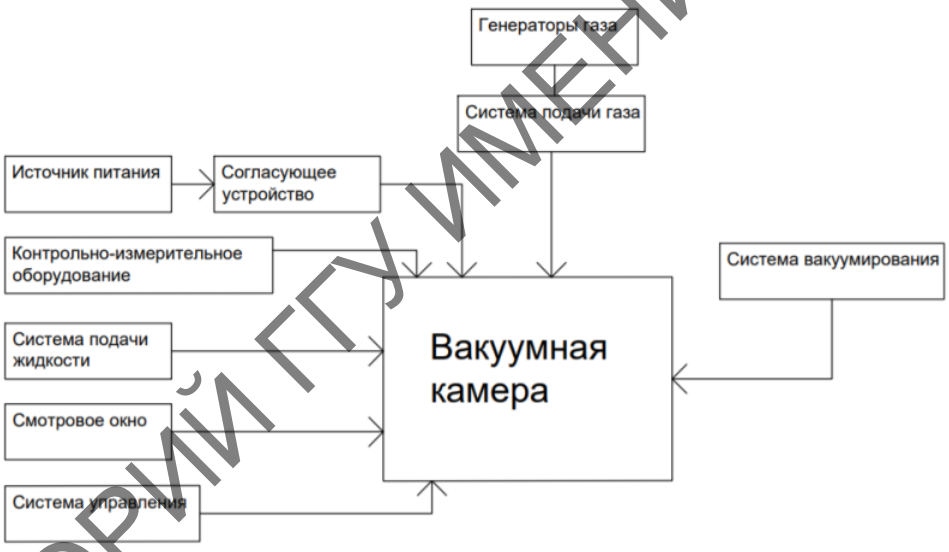


Рисунок 1 – Структурная схема оборудования

Для процесса модификации был разработан генератор с программным управлением, импульсной нагрузкой в 2 А и выходным напряжением от 600 В до 1200 В. В ходе экспериментов было установлено что для процесса не требуется частоты выше 20 кГц, а оптимальной являются частоты в районе от 5 до 15 кГц, в связи с чем генератор разрабатывался низкочастотным, на рисунке 2 изображен один канал источника.

НЧ генератор – источник импульсного типа, имеющий высокий КПД, небольшие размеры и защиту от короткого замыкания. Генератор имеет программное управление, которое позволяет, как удобно

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

управлять процессом, так и автоматизировать его. Программное управление реализовано на микроконтроллере семейства STM32. Мостовая схема НЧ генератора выполнена на IGBT транзисторах. Управление драйвером оптопар осуществляется микросхемой IR2113. Управление токами и напряжением осуществляется с помощью Pic контроллеров. ШИМ контроллер реализован микросхемой TL494. Данный генератор позволяет выдерживать требуемые электрические характеристики тлеющего разряда и легко регулировать их. Так как основное влияние на процесс модификации осуществляют именно электрические характеристики, управление данными характеристиками позволит получить модифицированные материалы высокого качества.

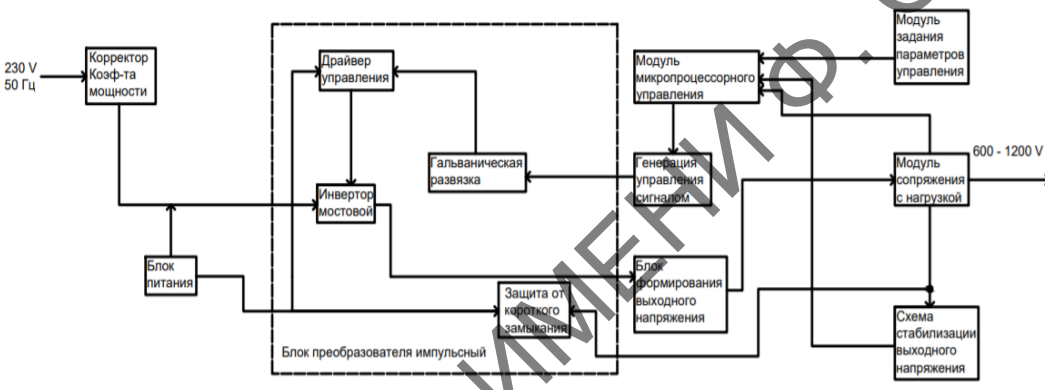


Рисунок 2 – Структурная схема одного канала источника.

Проведенные испытания разработанной конструкции генератора показали на возможность его длительной работы и удобным управлением параметрами источника, что на прямую влияет на качество процесса.

Литература

1. Вакуумная ионно-плазменная обработка: учебное пособие / А.А. Ильин, В.В. Плихунов – М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2018. – 160 с.

2. Плазменные упрочняющие технологии / Ю.Н. Тюрин, М.Л. Жадкевич – К.: “Науковая думка”, 2008. – 320 с.

3. Интенсификация процессов формирования твердотельных структур сконцентрированными потоками энергии: монография / А. П. Достанко [и др.] под общ ред. А.П. Достанко и Н.К. Толочко – Минск 2005 – 862 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

О. И. Тихон (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **С. И. Мадвейко**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СВЧ МАГНЕТРОНА В СОСТАВЕ ПЛАЗМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К настоящему времени установлена возможность стабильной и устойчивой работы малогабаритных сверхвысокочастотных (СВЧ) магнетронов непрерывного режима генерации с упрощённой схемой питания выпрямленным напряжением промышленной частоты на плазменную нагрузку [1].

Использование схем однополупериодного выпрямления с удвоением напряжения, в составе которых высоковольтный трансформатор, работающий в режиме насыщения, выступает в качестве первичного преобразователя напряжения, в конструкциях источников питания СВЧ магнетронов обеспечивает получение импульсов напряжения питания с близкой к прямоугольной формой [2]. В этом случае скважность выходных электрических импульсов источника питания равна примерно 2. Известно, что на характер генерации СВЧ энергии оказывают влияние величина и форма сигнала импульса анодного тока. Поэтому применительно к задаче повышения эффективности процессов СВЧ плазменной обработки интерес представляет изучение возможности питания СВЧ магнетрона от источника постоянного тока.

Целью экспериментов являлось исследование влияния условий электропитания СВЧ магнетрона на характер генерируемой электромагнитной энергии. Для решения этой задачи был собран генератор, схема которого представлена на рисунке 1.

Генератор включает в себя модифицированный водоохлаждаемый магнетрон ОМ75Р(31) и источник питания постоянного тока на основе трёх повышающих трансформаторов [3]. Паспортная выходная мощность магнетрона составляет 1050 Вт. Источник питания должен обеспечивать пиковое анодное напряжение магнетрона $U_а \approx 4{,}4$ кВ и средний анодный ток $I_а \approx 320$ мА. В схеме источника вывод вторичной обмотки каждого из трансформаторов через соответствующий высоковольтный конденсатор ёмкостью 1 мкФ последовательно подключён к аноду высоковольтного диода КЦ201Е первой группы и к катоду диода второй группы. С катодом магнетрона соединяются аноды второй группы диодов. Первичные обмотки трансформаторов

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

подключены к разным фазам 380 В сети питания с одним нулём. Напряжение накала $U_н$ = 3,2 В подавалось отдельно с накальной обмотки аналогичного трансформатора. СВЧ аппликатором являлась резонаторная камера прямоугольной формы.

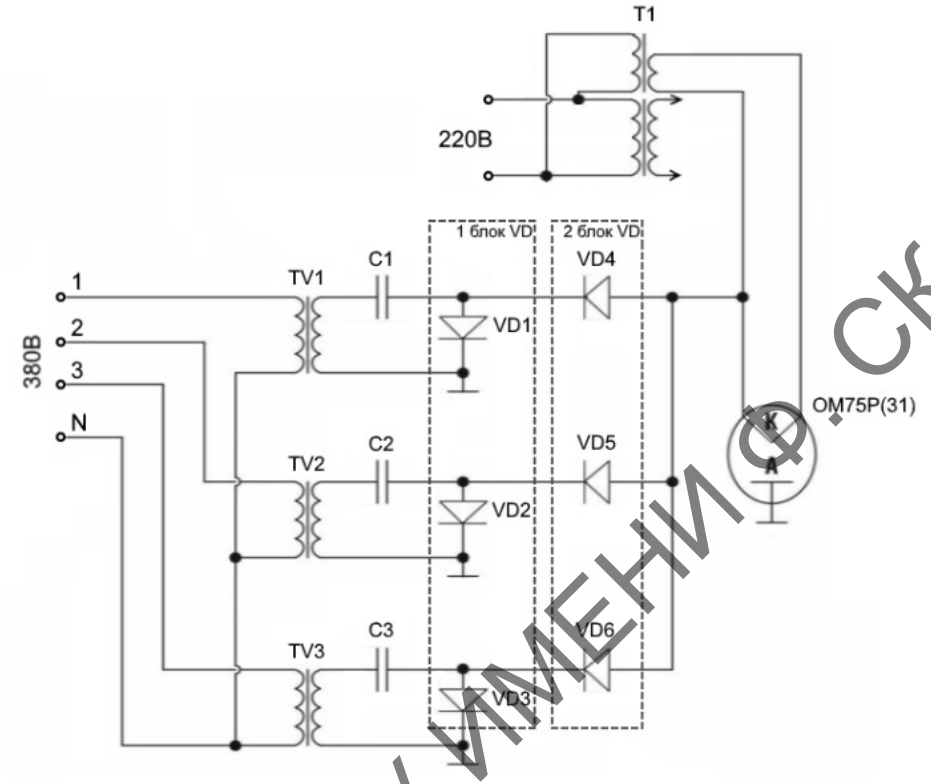


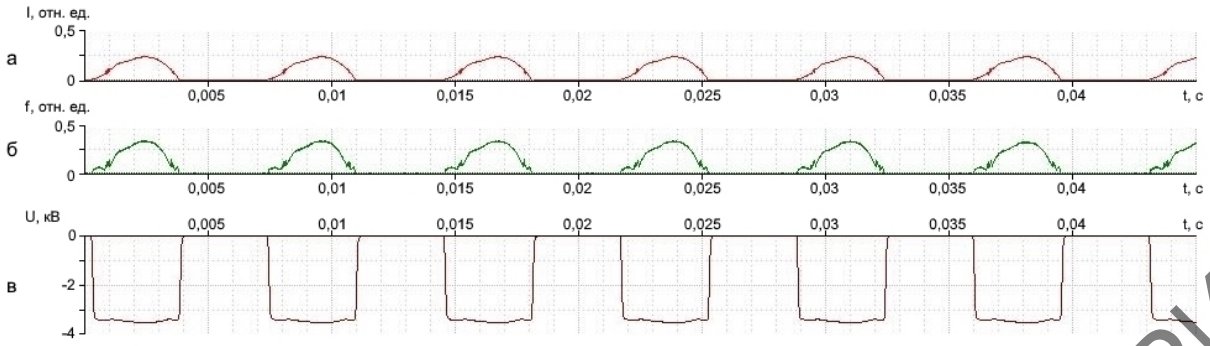
Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная СВЧ генератора

В процессе проведения экспериментов синхронно регистрировались осциллограммы анодного напряжения магнетрона (через делитель 1:1000), сигнала анодного тока (с токосъёмного резистора) и уровня электромагнитного переизлучения на границе резонаторной камеры, фиксируемого с помощью рупорной СВЧ антенны. Экспериментальные данные представлены на рисунках 2 и 3.

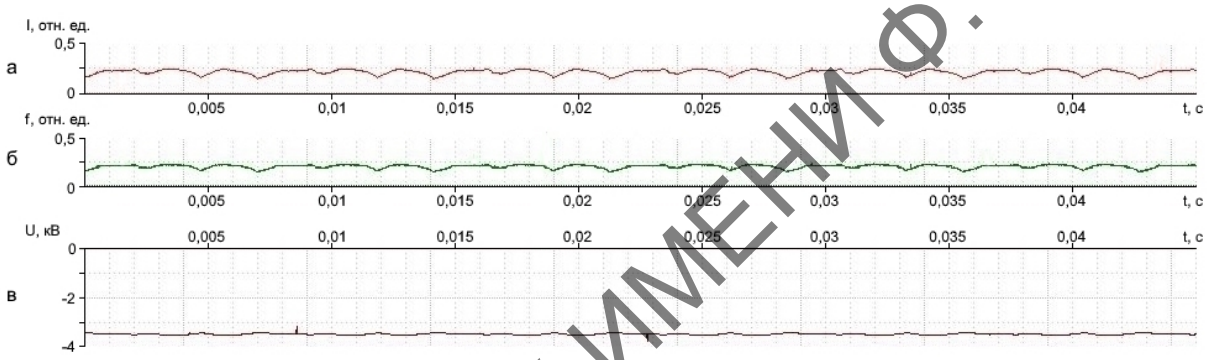
Полученные результаты показывают, что при питании СВЧ магнетрона от источника питания, собранного по упрощенной схеме с выходной частотой импульсов анодного тока 50 Гц, пачки импульсов сигнала электромагнитной энергии имеют такую же частоту (рисунок 2). Питание магнетрона от трёхфазного источника питания позволяет выполнить переход от импульсного режима питания к постоянному (рисунок 3).

Как видно из представленных осциллограмм, применение экспериментального генератора в составе СВЧ плазменной установки позволяет обеспечить непрерывный режим генерации СВЧ энергии.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ



а – анодный ток магнетрона; б – сигнал СВЧ излучения;
в – анодное напряжение магнетрона
Рисунок 2 – Осциллограммы регистрируемых сигналов при питании СВЧ магнетрона по схеме однополупериодного выпрямления с удвоением напряжения



а – анодный ток магнетрона; б – сигнал СВЧ излучения;
в – анодное напряжение магнетрона
Рисунок 3 – Осциллограммы регистрируемых сигналов при питании СВЧ магнетрона от источника постоянного тока

Таким образом, описанный способ электропитания магнетрона может быть более эффективен с точки зрения энерговклада в плазму СВЧ разряда при проведении СВЧ плазмохимических процессов обработки полупроводниковых материалов электронной техники.

Литература

1. Бордусов, С.В. Плазменные СВЧ-технологии в производстве изделий электронной техники / С.В. Бордусов; под ред. А.П. Достанко. – Минск: Бестпринт, 2002. – 452 с.

2. Диденко, А.Н. СВЧ-энергетика: Теория и практика / А.Н. Диденко; Отв. ред. Я.Б. Данилевич. – Москва: Наука, 2003. – 446 с.

3. Микроволновой генератор [Текст] : пат. 2480890 РФ : МПК[7] Н 03 В 1/02 / Тихонов В.Н., Пугашкин Д.В., Четокин Я.А.; заявители и патентообладатели Тихонов В.Н., Пугашкин Д.В., Четокин Я.А. – № 2011150168/08 ; заявл. 09.12.2011 ; опубл. 27.04.2013 , Бюл. № 12.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Я. И. Тишкова, О. К. Ермак, Е. И. Божко
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ПОЛУЧЕНИЕ СОСТАВА СМАЗКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ВЫСОКОЙ СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

В настоящее время смазки как отечественные, так и зарубежные поставляются конечным потребителям в виде концентрированной эмульсии состоящей из основного смазывающего компонента, поверхностно-активных веществ (ПАВ), стабилизатора и разбавителя (воды). Перед использованием концентрат разбавляют водой в определенной пропорции, зависящей от особенностей отливки. В качестве основы смазок преимущественно используют тяжелые минеральные масла, животные и растительные жиры и их производные, озокерит, парафин, вазелин технический, высокомолекулярные кремнийорганические соединения и др. [1–3]. Назначение разбавителя – транспортировка смазывающих веществ к поверхности пресс-формы, поддержание приемлемого температурного фона пресс-формы путем регулирования концентрации смазки. С экологической точки зрения вода, как разбавитель, наиболее приемлема для использования в качестве дисперсионной среды [2, 3]. Материалы, используемые в качестве основы смазок, являются гидрофобными, поэтому задача получения смазки с высокой седиментационной устойчивостью (СУ) усложняется в связи с необходимостью подбора эффективных ПАВ, создания необходимых температурно-временных условий для получения устойчивых эмульсий типа масло в воде (М/В). Потребитель заинтересован в приобретении продукции с более высокой СУ, так как это позволяет предприятию сформировать заказ на изготовление всей партии отливок в течение установленного отчетного периода.

В связи с вышесказанным, целью настоящей работы, является разработка состава водоэмульсионной смазки обладающей высокой СУ.

В качестве основы разрабатываемого состава смазки для литья под давлением алюминиевых сплавов (ЛПД) была выбрана высокомолекулярная кремнийорганическая жидкость ПМС 100, которая обладает высокими технологическими свойствами, интересными с точки зрения ЛПД: высокой разделяющей и кроющей способностью, вы-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

сокой термостойкостью, низкой газотворностью [1–4]. При этом выбранная марка ПМС имеет некоторые существенные недостатки. К их числу следует отнести низкую смазывающую способность данного материала, а также высокую гидрофобность, вследствие того, что полярная полиметилсилоксановая цепь экранирована неполярными метильными группами, что не позволяет получить эмульсию типа М/В с высокой седиментационной устойчивостью [2, 3].

С целью снижения гидрофобности полиметилсилоксановой жидкости, повышения ее смазывающей способности и, в конечном итоге, получения устойчивой эмульсии использовали дополнительные вещества − разрыхлители. Преимущественно такими веществами являются продукты переработки растительных масел и жиров, а именно непредельные и предельные жирные кислоты (стеариновая, олеиновая) и их производные. С точки зрения ЛПД интерес представляют соапсток и фус. Суммарное содержание жирных кислот в составе данных материалов доходит до 85 % от объема вещества. В качестве ПАВ при разработке состава водоэмульсионной смазки использовали неионогенный и анионный ПАВы: оксиэтилированный моноалкилфенол на основе триммеров изононила (неонол АФ 9–12) и 5 %-ный раствор мыла хозяйственного в воде.

Приготовление концентрата водоэмульсионной смазки проводили по методике, изложенной в работе [1]. Составы разрабатываемых смазок для ЛПД алюминиевых сплавов, на основе выбранных материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы разрабатываемых смазок для ЛПД алюминиевых сплавов

Номер состава смазки	Основа (ПМС 100), %	Добавка, %		ПАВ, %		Вода, %
		Фус	Соапсток	Неонол АФ9-12	Мыльный раствор	
1	10	20	–	2,5	0,5	77
2	10	25	–	2,5	0,5	72
3	10	30	–	2,5	0,5	67
4	10	35	–	2,5	0,5	62
5	10	–	20	2,5	0,5	77
6	10	–	25	2,5	0,5	72
7	10	–	30	2,5	0,5	67
8	10	–	35	2,5	0,5	62

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

СУ состава разрабатываемой смазки на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС 100 при использовании неонола в количестве 2,5 % и мыльного раствора 0,5 % без использования соапстока и фуса не превышала 30–40 часов. В свою очередь, увеличение в составе смазки суммарного количества ПАВ в 2 раза приводило к незначительному повышению СУ приготавливаемой эмульсии в среднем на 4,0–8,5 часов. Установлено, что при добавлении к основе смазки выбранных компонентов (фус и соапсток) в количестве 20 % наблюдается существенное повышение значения СУ до 110 и 85 суток соответственно. При величине добавки разрыхлителя – фуса и соапстока, в количестве от 25 % до 35 % наблюдается дальнейший рост значения СУ составов смазок до 278 и 130 суток. Лучший результат достигается при добавке к основе смазки фуса, при этом значение СУ выше в среднем в 1,5–2,1 раза в сравнении с сопстоком.

Следует отметить, что дальнейшее увеличение количества добавки (фус и соапсток) к основе смазки (до 50 %) не приводило к значительному росту значения СУ, при этом значение СУ возрастало не более чем на 1,8 % и 2,3 % соответственно.

В ходе проведения исследований установлено, что с целью получения концентрата водоэмульсионной смазки на основе полиметилсилоксановой жидкости марки ПМС 100 с высокой седиментационной устойчивостью целесообразно использовать фус – побочный продукт переработки растительного масла, при этом максимальное значение седиментационной устойчивости полученного состава смазки составляет с использованием указанных компонентов составляет 231 день.

Литература

1. Пивоварчик, А.А. Разработка разделительных покрытий на основе кремнийорганических материалов для пресс-форм литья под давлением / А.А. Пивоварчик, Л.М. Слепнева, В.А. Розум // Литейщик России. – 2007. – № 1. – С. 36–40.

2. Михальцов, А.М. Разработка комплексного компонента на основе кремнийорганических полимеров для пресс-форм литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, Л.М. Слепнева // Литье и металлургия. – 2008. – № 1. – С. 129–133.

3. Михальцов, А.М. Исследование экологической безопасности смазок для литья под давлением алюминиевых сплавов / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, А.С. Панасюгин // Литье и металлургия. – 2008. – № 1. – С. 133–135.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

4. Михальцов, А.М. Исследование газотворной способности разделительных покрытий для пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // Металлургия: респ. межвед. сб. науч. тр.: в 2 ч. – 2013. – № 34. – Ч. 1. – С. 136−144.

Я. И. Тишкова, О. К. Ермак
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОСТАВА СМАЗКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Литье под давлением (ЛПД) является одним из наиболее производительных способов получения точных литых деталей и заготовок из цветных сплавов и полимерных материалов с качественной поверхностью. Отливки из цветных металлов и их сплавов, полимеров, изготавливаемые ЛПД, имеют сложную конфигурацию и, как правило, содержат всевозможные внутренние полости и отверстия, которые выполняют с помощью металлических стержней. В момент извлечения отливки из пресс-формы в зоне контакта стержня и отливки возникают силы трения, обусловленные обжатием стержня затвердевающей отливки, которые приводят к образованию задиров на поверхности отливки. Для предотвращения образования задиров на теле отливки необходимым условием является использование технологических смазок, позволяющих беспрепятственно извлекать отливки из пресс-формы. Кроме того использование смазки при ЛПД цветных сплавов позволяет регулировать тепловой режим работы пресс-формы, газосодержание в отливках, а также способствует автоматизации технологического процесса ЛПД [1-5].

В свою очередь, использование смазки при ЛПД изделий из полимеров позволяет уменьшить деструкцию полимерного материала в процессе литья, снижает расход полимерного сырья и обеспечивает его экономию, повысить производительность литья, увеличивает долговечность литьевых форм и продлевает срок службы рабочих узлов литьевого оборудования (шнека и материального цилиндра.

Следует отметить, что практически ко всем технологическим смазкам, используемым в технологическом процессе ЛПД, предъяв-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ляются схожие требования по их технологическим и эксплуатационным свойствам. Смазки должны обладать высокой смазывающей и разделяющей способностью, высокой эрозионной устойчивостью и термостабильностью, экологичностью, низкой газотворной способностью, невысокой стоимостью, возможностью механизированного нанесения на поверхность пресс-формы [1-5].

Целью работы является исследование смазывающих свойств различных материалов, используемых при разработке многофункционального состава смазки, используемого при ЛПД цветных сплавов, а также полимерных изделий.

Смазывающую способность материалов, традиционно используемых в составах смазок и вновь предлагаемых выбранных материалов, оценивали по усилию извлечения металлического стержня из кокильной отливки по методике, изложенной в работе [1]. В качестве исследуемых материалов выступали следующие материалы: растительное масло, олеиновая кислота, соапсток, масло Вапор, гидрофобизатор калийный, озокерит, силиконовая жидкость, жировой гудрон, фус, глицерин, вазелин.

Установлено, что наилучшей смазывающей способностью обладает вазелин и фус, при этом усилие извлечения стержня из отливки составляет 320 и 335 Н соответственно.

Худший результат получен при использовании таких материалов как жировой гудрон (625 Н) и силиконовая жидкость (530 Н). Полученный результат можно объяснить тем, что в составе жирового гудрона присутствуют твердые органические частицы, образующиеся в процессе обработки животного жира. В свою очередь силиконовая жидкость, по-видимому, обладает более высокой кроющей способностью, что связано с высокой вязкостью данного материала.

Следует отметить, что при использовании соапстока, глицерина и озокерита в качестве исследуемых материалов усилие извлечения стержня уменьшается в 8,1–7,0 раза. Промежуточные значения получены при использовании гидрофобизатора калийного, масла Вапор, растительного масла и олеиновой кислоты, при этом усилие извлечения стержня снижается в 5,8–6,0 раз, что свидетельствует о практически идентичной смазывающей способности данных материалов.

В ходе проведения исследований установлено, что в качестве материалов, используемых для разработки состава смазки для литья цветных сплавов и полимерных изделий, целесообразно использовать вазелин и фус. Смазывающая способность указанных материалов в

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

среднем на значение от 28,8 % до 51,2 % выше, чем аналогичный показатель у других исследуемых смазочных материалов.

Литература

1. Пивоварчик, А.А. Исследование смазывающей способности материалов, используемых при разработке составов смазок для литья алюминиевых сплавов под давлением / А.А. Пивоварчик, А.М. Михальцов // Литье и металлургия. – 2012. – № 1 (64). – С. 95–97.

2. Михальцов, А.М. Материалы разделительных покрытий пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, С.К. Дятловский // Литейщик России. – 2012. – № 7. – С. 38–40.

3. Михальцов, А.М. Исследование газотворной способности разделительных покрытий для пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // Металлургия : респ. межвед. сб. науч. тр. : в 2 ч. – 2013. – № 34. – Ч. 1. – С. 136−144.

4. Пивоварчик, А.А. Влияние разделительных покрытий на качество отливок при литье алюминиевых сплавов под давлением / А.А. Пивоварчик, Е.А. Горбачевский, А.М. Михальцов // Литье и металлургия. – 2014. – № 2 (75). – С. 78–81.

5. Михальцов, А.М. Перспективные материалы, используемые при разработке составов смазок для литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, А.А. Скаскевич // Литье и металлургия. – 2019. – № 3. – С. 70–73.

Ю. Ю. Тонко, М. М. Войтович
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

В работах [1-3], указывается, что на износ протектора автомобильных шин оказывают влияние климатические условия (температура и влажность окружающего воздуха и дорожного покрытия). Отмечается [1-3], что чем выше температура окружающего воздуха, тем больше теплообразование в шинах, тем быстрее изнашивается протектор и соответственно уменьшается срок службы шин. С увеличением температуры окружающего воздуха происходит понижение

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

герметичности шины вследствие увеличения диффузии воздуха через стенки камеры. Низкая температура окружающего воздуха уменьшает температуру в работающих шинах, благодаря чему уменьшается общий их износ. Однако практический интерес представляют исследования с использование конкретных марок автомобильных шин в конкретный период эксплуатации транспортных средств.

Целью данной работы является исследование величины износа протектора всесезонных автомобильных шин от различных производителей в летний период эксплуатации грузовых транспортных средств.

Экспериментальные исследования проводили при использовании грузовых автомобилей марки Hyundai HD 78. Следует отметить, что данные автомобили находились в исправном техническом состоянии (элемент рулевого управления, шасси), т.к. своевременно проходят технический осмотр и сервисное техническое обслуживание на специализированной в г. Минске станции, а также управляются водителями высшего класса, что позволяло снизить погрешность при проведении исследований и получать более объективные экспериментальные данные. Для качественного измерения высоты протектора шины выполняли следующие действия: на задних правых колёсах транспортных средств было нанесено белым несмываемым маркером пять равноудаленных отметок. С целью исключения влияния деформации шины на показания измерений, водитель по команде подъезжал вперед, для того, чтобы измерять высоту протектора в одном и том же месте относительно транспортного средства. Таким измерительным местом было выбрано окончание крыла транспортного средства. Точку измерения относительно ширины протектора шины выбирали в середине, для того чтобы исключить негативное влияние неправильного развал-схождения колёс, из-за которого повышается износ краёв протектора. Перед каждым последующим измерением высоты протектор предварительно очищали от загрязнений. Окончательное значение высоты протектора определяли, как среднеарифметическое значение результатов пяти измерений.

Дорожные покрытия по которым передвигались транспортные средства составляли от общей величины пробега следующие значения: асфальтное – 98 %, бетонное – 1 %, грунтовое – 1 %. Данные по состоянию дорожного покрытия получены путем мониторинга маршрута движения, указанных грузовых транспортных средств.

В качестве средства измерения высоты протектора выступал глубинометр модели Digital Tread Depth Gauge с диапазоном измерений

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

от 0 до 25,4 мм, погрешность измерения прибора составляла 0,01 мм. Необходимо также отметить, что при проведении исследований транспортные средства имели различный пробег. С целью получения объективных данных был выполнен пересчет итоговой величины износа протектора всесезонной автомобильной шины на одинаковую величину пробега (20 тыс. км пробега) при использовании всех исследуемых марок шин.

Результаты исследования величины износа протекторов всесезонных автомобильных шин в летний период при пробеге грузовым транспортным средством 20 тыс. км представлены на рисунке 1.

Рисунок 1 – Величина износа протектора всесезонных автомобильных шин разных производителей в летний период при пробеге транспортного средства 20 тыс. км

Видно (рисунок 1), что в летний период эксплуатации грузовых транспортных средств оборудованных исследуемыми марками шин, лучший результат наблюдается при использовании шины марки Goodyear Duramax TT (ЮАР). Величина износа протектора за 20 тыс. км для данной шины составила значение 1,568 мм. Промежуточные значения величины износа протекторов автомобильных всесезонных шин при аналогичном пробеге транспортного средства, получены при использовании шин марки Triangle TR 693 (Китай) и Goodyear G46 (Турция, 2018) 1,639 и 1,612 мм соответственно. Худший результат получен при использовании шины марки Goodyear G46 (Бельгия, 2018) 2,155 мм.

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что при эксплуатации грузовых транспортных средств в летний период целесообразно использовать шину марки Goodyear Duramax TT (ЮАР) т.к. величина износа протектора

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

данной шины в установленный период в среднем в 1,04–1,37 раза ниже, чем при использовании других исследуемых марок шин.

Литература

1. Тарновский, В.Н. Автомобильные шины. Устройство, работа, эксплуатация, ремонт / В.Н. Тарновский, В.А. Гудков, О.Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

2. Бидерман, В.Л. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на износ, сцепление и сопротивление качению автомобильных шин / В.Л. Бидерман [и др.]. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1970. – 106 с.

3. Балабин, И.В. Автомобильные и тракторные колеса / И.В. Балабин, В.А. Пугин / Челябинск: Челябинское книжное изд-во, 1963. – 335 с.

Н. Укас
(КГУТИ имени Ш. Есенова, Актау, Республика Казахстан)
Науч. рук. **Д. Д. Абдешов**, ст. преподаватель

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Использование слова «Технология» во всех областях очень неоднозначно, особенно загадочно в нефтегазовой отрасли. Во многих отраслях, финансирование исследований тесно связано с благосостоянием компаний. С начало 70-х до начала 80-х годов более 80% расходов на «НИОКР» в нефтегазовом секторе заняли более 11 действующих компаний, после крупного слияния в 1999 году это число сократилось до восьми.

Нефтегазовые технологии имеют разные характеристики. Во-первых, ясно, что успеха невозможно достичь без разработки и внедрения инноваций, однако используемые технологии очень разнообразны и ширико варьируются в зависимости от потребностей конкретной отрасли. Сейсмические исследования, с использованием компьютерной обработки данных нефти создания глубоководных платформ. Но если нефтегазовая отрасль зависит от технологий, почему затраты на «НИОКР» дешевле, чем во всех других отраслях? Здоровье является приоритетом. Затраты на раработку составляют 11% от общего дохода. Электротехническая и электронная промышленность - 5,5%, химическая промышленность – 4,1%, в этом

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

отношении нефтегазовая отрасль составляет более 0,5%. Ситуация была иной в начале 1970-х годов. Бюджеты на разведку нефти не хуже других отраслей.

Ориентирован на физику добычи нефти, в частности на способы повышения продуктивности пласта. После сильного роста цен с октября 1973 года по ноябрь 1973 года импорт резко сократился, но расходы на «НИОКР» не менялись в течение 20 лет. Они упали, в начале 90-х годов компании провели небольшое долгосрочное исследование. Согласно более тщательным исследованиям, текущие научно-технические исследования ограничиваются различными разработками, полезнымы изменениями и технологическими решениями, котрые влияют только на регион.

Нефтегазовая отрасль давно сдерживает спрос на новые технологии. Национальная нефтяная корпорация давно признала важность технологий по целому ряду причин, включая полезность и патриотизм. Возможности развития Казахстанской нефтегазовой отрасли в первую очередь связаны с развитием науки и техники. Нефтегазовая отрасль Казахстана является одним из трех приоритетных направлений развития, а также горнопромышленные и сельскохозяйственные промышленные парки, и нужны новые технологии. [1]

Страны придают большое значение вопросам развития национальных технологий. В Казахстане, например, недавно был разработан междисциплинарный план развития науки и техники для Казахстана. Одной из целей этого плана является создание национальной нефтегазовой науки, которая сможет удовлетворить более 50% потребностей отрасли в «НИОКР». Программа привлекает крупные зарубежные научно-исследовательские институты и исследовательские центры крупнейщих мировых технологических компаний, обменивается исследовательским методиками, продвигает научные таланты и осуществляет масштабные исследовательские проекты.

Таким образом, целью является передача опыта, который может значительно повысить конкурентоспособность отечественной промышленной науки. Компания внедрила новую технологию. Ожидается, что основные координационные органы будут созданы для всех секторов промышленности, включая нефтегазовую отрасль, для оказания методологической поддержки для решения экологических проблем с навигацией по месторождениям полезных ископаемых.[2]

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Литература

1. Шалгинбаев, Г.И. Организация и планирование производства на предприятии / Г.И. Шепеленко; под ред. Г.И. Шепеленко. – А.: Наука, 2010. – 328 с.

2. Анипов, Л.Н. Роль нефтяной отрасли в промышленном развитии предприятия / Л.Н.Анипов. – Астана: КБ, 2012. – 431 с.

Н. С. Филимонов, Я. Г. Романович (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **Е. В. Телеш,** ст. преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК НИТРИДА УГЛЕРОДА, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Нитрид углерода интенсивно исследуется учеными разных стран, т.к. установлено, что β-C_3N_4, аналогичный β-Si_3N_4, должен обладать твердостью, сравнимой с твердостью алмаза. Дальнейшие расчеты показали, что другие кристаллические фазы C_3N_4 должны иметь стабильность, сравнимую или большую, чем стабильность β-C_3N_4, и что многие из этих структур должны быть твердыми по природе. C_3N_4-структуры включают α-, β-, кубический, псевдокубический и графитообразный нитрид углерода. Подобно различным алмазным покрытиям покрытия из нитрида углерода также обладают хорошей износостойкостью и устойчивостью к царапанию [1]. Кроме того, нитриды углерода являются коррозионностойкими но, самое главное, они обладают значительно лучшей термостойкостью, чем соответствующие DLC-покрытия (алмазоподобные покрытия).

Тонкие пленки нитрида углерода имеют широкий спектр применений. Например, их широко используют в защитных покрытиях для жестких дисков. Такие пленки получают в основном различными методами осаждения пленочных покрытий, абляцией графита в чистом азоте, при этом образующиеся в результате пленки, включающие аморфный нитрид углерода, имеют характеристики изнашивания в несколько раз лучшие, чем у существующих покрытий. Покрытия из нитрида углерода могут использоваться для таких областей применения, как износостойкие и противокоррозионные покрытия, в качестве диэлектрических слоев в микроэлектронных устройствах, как оптические покрытия [2].

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Исследуемые покрытия формировались методом прямого осаждения из ионных пучков смеси метана и азота с использованием торцевого холловского ускорителя. Покрытия наносились на неподвижные подложки из кремния КДБ-10, кварца и оптического стекла К-8. Покрытия получали при следующих режимах: остаточный вакуум – $(2{,}0–2{,}8)\cdot10^{-3}$ Па, рабочее давление – $(0{,}93–1{,}6)\cdot10^{-1}$ Па, напряжение на аноде – 60–80 В; ток разряда – 2 А ; ток эмиттера электронов – 13 А, температура подложки – 323–573 К. Нанесение пленок осуществлялось в модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017. Толщина покрытий определялась с помощью микроскопа-интерферометра МИИ-4. Толщина пленок составляла 100–400 нм. На рисунке 1 представлены зависимости скорости нанесения от парциального давления азота и температуры подложки. Увеличение доли азота в рабочем газе приводило к существенному снижению скорости нанесения $V_н$. Нагрев подложки до 573 К вызывал снижение $V_н$ почти в 2 раза. Это можно объяснить десорбцией конденсирующихся частиц с поверхности подложки.

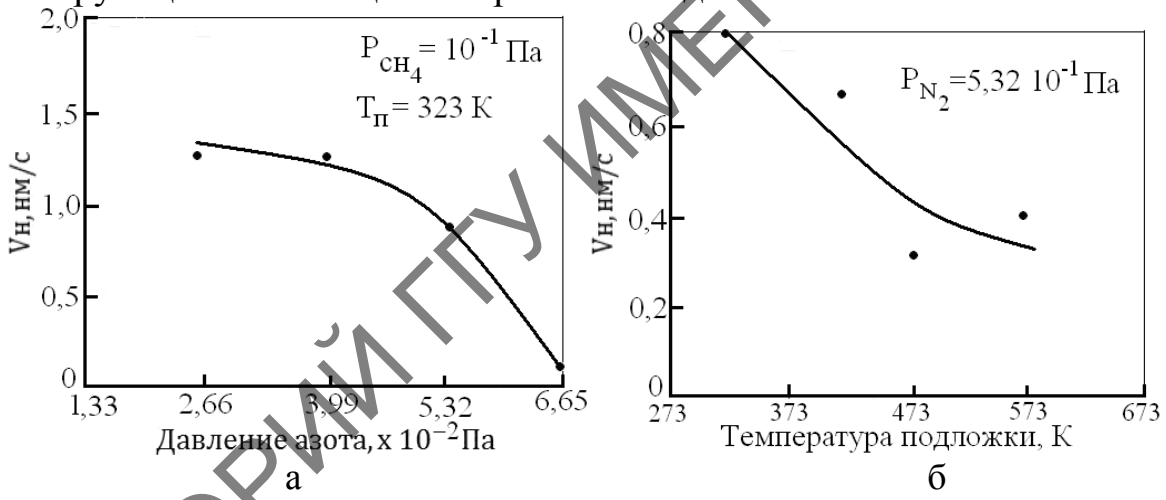


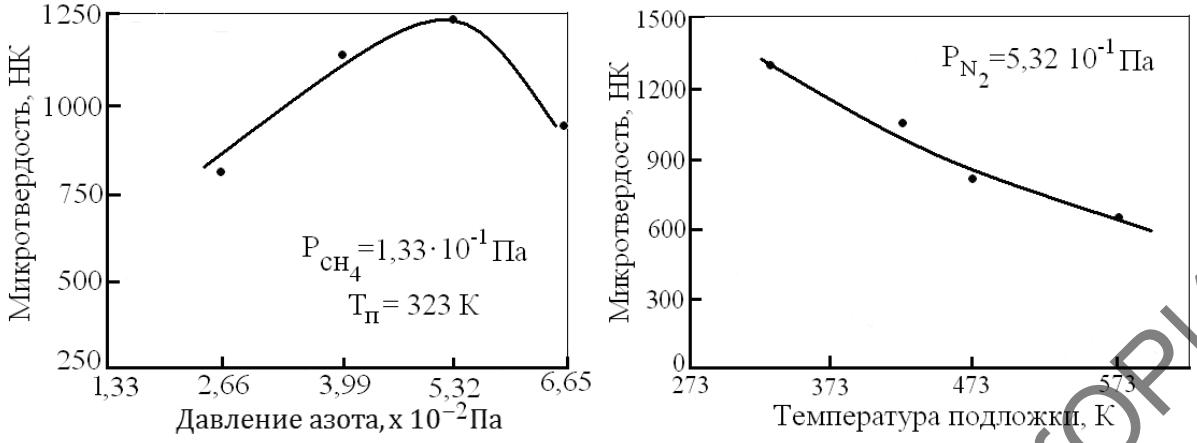
Рисунок 1–Зависимости скорости нанесения пленок нитрида углерода от парциального давления азота (а) и температуры подложки (б)

Полученные пленки исследовались на микротвердость по шкале Кнуппа с использованием твердомера VMHT MOT фирмы Leica.

На рисунке 2 представлены зависимости микротвердости пленок от парциального давления азота и температуры подложки.

Зависимость микротвердости от давления имеет экстремумный характер. Максимальная микротвердость 1246 НК была получена при парциальном давлении азота $5{,}32\cdot10^{-2}$Па. Повышение температуры подложки приводило к монотонному снижению микротвердости. Это также можно связать с десорбцией азота из конденсирующегося покрытия.

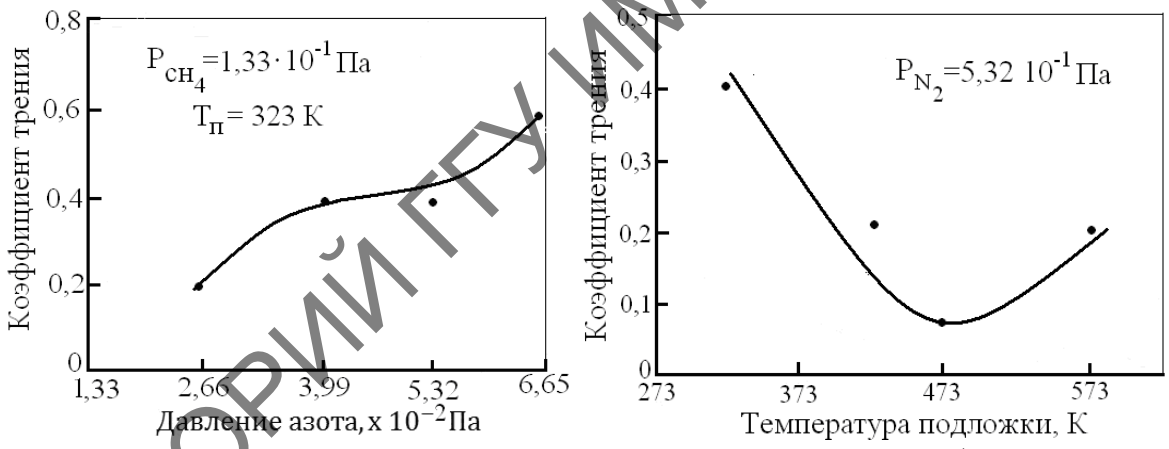
РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ



а б

Рисунок 2– Зависимости микротвердости пленок нитрида углерода от парциального давления азота (а) и температуры подложки (б)

Трибологические характеристики измерялись с использованием микротвердомера МТ-4. В качестве индентора применяли шарик из стали ШХ15 диаметром 4 мм. Нагрузка в условиях сухого трения составляла 0,5 Н. Установлено, что увеличение доли азота увеличивает коэффициент трения (рисунок 3, а).



а б

Рисунок 3 – Зависимости коэффициента трения пленок нитрида углерода от парциального давления азота (а) и температуры подложки (б)

Нагрев подложки способствовал значительному улучшению трибологических характеристик покрытий. При температуре 473 К был получен коэффициент трения менее 0,1.

Литература

1. Takadoum, J. Comparative study of mechanical and tribological properties of CN_x and DLC films deposited by PECVD technique/J. Taka-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

doun, J.M. Rauch, L.M. Cattenot, N. Martin //Surface and Coating Materials Technology.–2003.–V. 174–175.– P. 427–433.

2. Cohen, M.L. Structural, electronic and optical properties of carbon nitride/ M.L. Cohen//Material Science Engineering A.–1995.–V.209.–P. 1–4.

3. Khurshudov, A.G. Tribological properties of carbon nitride overcoat for thin-film magnetic rigid disks/ A.G. Khurshudov, K. Kato// Surface and Coatings Technology.–1996.–V.9. P. 537–542.

О. И. Хмурчик, А. Л. Сакович, Вань Сюеминь
(ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Использование полного потенциала всех технических возможностей теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) ограничено рядом закономерных факторов, обусловленных длительным сроком эксплуатации применяемого технологического оборудования, приводящим к его физическому и моральному износу. В связи с огромной социальной и экономической значимостью теплоэлектростанций задача повышения эффективности, надёжности и экологичности их функционирования является весьма актуальной на сегодняшний день для энерго- и газоснабжающих организаций Министерства энергетики Республики Беларусь, главной целью которых является обеспечение бесперебойного и надёжного снабжения потребителей тепловой и электрической энергией, природным и сжиженным газом в необходимых объёмах [1–3].

Приоритетным направлением решения указанной задачи является повышение эффективности работы теплоэнергетического оборудования. Оборудование, используемое на теплоэлектростанциях, зачастую выработало свой парковый ресурс, морально и физически устарело, имеет низкие экономические и экологические характеристики. В такой ситуации, усугубляющейся постоянным дефицитом финансовых ресурсов, необходимо искать пути увеличения эффективности производства при малых капитальных вложениях. Возрастает интерес к

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

улучшению характеристик действующих электростанций и их оборудования.

Актуальность данной работы подтверждается тем, что она соответствует одному из приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016 – 2020 гг., утверждённых Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 12.03.2015 № 190 – «энергетика», а тематика работы направлена на решение стратегической цели развития топливно-энергетического комплекса, предусматривающей удовлетворение потребностей экономики и населения страны в энергоносителях на основе их максимального эффективного использования.

Целью данной работы являлась разработка комплекса технических решений по оптимизации элементов технологического оборудования теплоэлектроцентралей, направленной на повышение его эксплуатационного ресурса и эффективности работы.

В качестве объекта исследования выступали элементы теплоэнергетического оборудования теплоэлектроцентралей (водогрейных котлов, теплофикационных турбоустановок, газовоздухопроводов (трубопроводов), запорной и регулирующей арматуры).

С целью повышения коррозионной и эрозийной стойкости водных трубок конденсаторов 60-КЦС паровой турбины ПТ-60 диаметром 25 мм, выполненных из латуни марки ЛО70-1, предложено применять системы шарикоочистки и нанесение защитных покрытий на поверхность трубок. Для обеспечения интенсификации теплообмена целесообразно обеспечить организацию капельной конденсации путём нанесения на поверхность трубок органических гидрофобизаторов, неорганических соединений, ультратонкого слоя благородных металлов или тонкой плёнки фторсодержащих олигомеров, обработкой поверхности трубок дисульфидами.

Интенсификацию теплообмена трубок подогревателей низкого давления ПН-130-16-9-1 (диаметром 16 мм из латуни Л68) и ПСВ-500-14-23 (диаметром 14 мм из нержавеющей стали 12Х18Н10Т) обеспечивали за счёт применения профильных витых трубок.

Энергетическая запорная арматура обслуживает трубопроводы системы и установки, в которых рабочей средой является пар и вода, имеющие высокую температуру и высокие давления [1]. Основным недостатком деталей запорной арматуры, работающей в магистралях пара или воды в теплонапряженных условиях, является коррозионный износ, ограничивающий срок её эксплуатации.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Для эксплуатационных свойств запорной арматуры (запорных задвижек для трубопроводов с Dy = 100–600 мм) и продления межремонтного ресурса была предложена замена материала штоков и шпинделей, изготовленных из сталей, имеющих низкую коррозионную и эрозионную стойкость (сталь 40Х), на титановые и коррозионностойкие жаропрочные сплавы или нанесение на поверхность шпинделя запорной задвижки электролитических покрытий (хромирование, цинкование, химическое оксидирование с промасливанием). Коррозионные испытания и оптические исследования показали, что среди модельных образцов наибольшему коррозионному воздействию подвергся образец из стали 40Х без покрытия, на его поверхности наблюдались коррозионные поражения, пятна неправильной формы на 70–75 % поверхности образца. Наименее подвергся коррозии образец с нанесённым хромовым покрытием, площадь коррозионного поражения составила не более 5 % поверхности образца. На образце с цинковым покрытием наблюдалась очаговая коррозия, площадь которой составляла 10–15 % поверхности образца. Образец с химическим оксидным покрытием с промасливанием так же незначительно подвергся коррозионному воздействию, коррозия носила точечный характер, площадь коррозионного поражения составляла 15 % поверхности образца. Таким образом, модельные образцы с цинковым покрытием и химическим оксидным покрытием с промасливанием обладают более высокими параметрами стойкости к коррозии по сравнению с образцами, изготовленными из стали 40Х ГОСТ 4543, однако имеют более низкие параметры стойкости к механическим воздействиям.

Предложенные материаловедческие и технологические рекомендации являются эффективным способом повышения эксплуатационного ресурса и эффективности работы элементов технологического оборудования тепловых электростанций.

Литература

1. Буров, В.Д. Тепловые электрические станции: учебник для студ. вузов / В.Д. Буров [и др.]; под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Цанева. – М: Издательский дом МЭИ, 2009. – 466 с.

2. Гладышев, Г. П. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС / Г. П. Гладышев, Р. З. Аминов. – М : Высшая школа, 1991. – 303 с.

3. Гашо, Е. Г. Разработка методологии совершенствования промышленных и коммунальных теплоэнергетических систем : автореф.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

дис. … д-ра техн. наук : 05.14.04 / Е. Г. Гашо ; Нац. исслед. ун-т МЭИ. – М., 2018. – 40 с.

О. А. Шавловская (БНТУ, Минск)
Науч. рук. **Г. К. Савчук**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК-ПАРАЭЛЕКТРИК КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА-ЦИРКОНАТА СВИНЦА

Одним из методов получения новых материалов является метод холодного (при комнатной температуре) прессования при высоких давлениях (ВДХП). Например, титанат свинца в виде керамики был получен только с помощью этого метода [1, 2]. ВДХП оказывает влияние на особенности фазовых переходов (ФП) и кристаллической структуры, что в итоге определяет физические свойства материала.

В настоящее время существует новое направление в области синтеза материалов [3, 4]. При использовании высоких давлений (свыше 20 ГПа) были получены соединения ранее не существовавшие ($NaCl_7$, $NaCl_3$, H_2S и др.). Ученые, используя алгоритм прогнозирования кристаллической структуры USPEX в сочетании с квантово-механическими вычислениями минимальных энергий для устойчивости кристаллической структуры, смогли сформулировать основные принципы сохранения стабильности новых соединений.

Данная работа посвящена изучению влияния высокого давления холодного прессования (1-5 ГПа) на фазовый переход сегнетоэлектрик-параэлектрик в керамических материалах на основе цирконата-титаната свинца с ромбоэдрической кристаллической структурой.

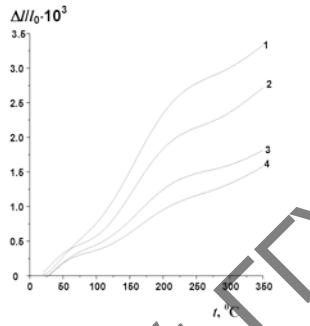
Для исследования поведения фазовых переходов в зависимости от величины ВДХП использовались дилатограммы образцов цирконата-титаната свинца с ромбоэдрической кристаллической структурой, полученные в лаборатории электронной керамики ГНПО “НПЦ НАНБ по материаловедению”. На кривых термического расширения для неспеченных образцов (рисунок 1, а) наблюдаются два ФП в районе температур 110^0С и 310^0С. Для подвергнутых процессу спекания (керамических) образцов – один в районе 350^0С (рисунок 1, б). Полученные результаты говорят о том, что в твердом растворе цирконата-титаната свинца после синтеза присутствует две фазы: низкотемпературная и высокотемпературная модификации ромбоэдрической кри-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

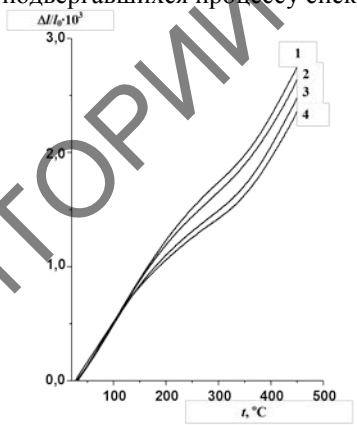
сталлической решетки. В районе 110^0С (рис. 1, а) происходит фазовый переход низкотемпературной СЭ фазы в высокотемпературную СЭ фазу. Процесс спекания значительно уменьшает концентрационные градиенты внутри зерен, что приводит к однофазности керамических образцов, которые содержат только высокотемпературную СЭ фазу (рисунок 1, б).

Полученные путем дифференцирования экспериментальных данных для $\Delta l/l_0(t)$ температурные зависимости коэффициентов линейного теплового расширения α (КЛТР) (рис. 2) проходят через конечный экстремум в области фазового перехода из сегнето- в параэлектрическую фазу. При этом температура СЭ ФП для неспеченных образцов (рисунок 2, а) не имеет четкой зависимости от давления, в то время как для керамик при увеличении ДХП фазовый переход наблюдается при более низких температурах (p = 1 ГПа – t_c = 336^0С; для p = 4 ГПа – t_c = 323^0С).

На основании теории размытия ФП (Исупова-Смоленского) [5, 6]

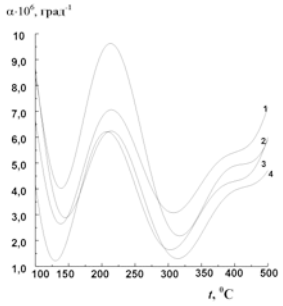


а) не подвергавшихся процессу спекания

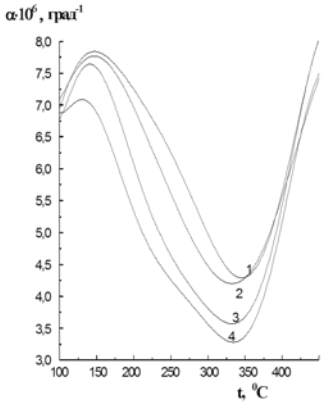


б) керамик

Рисунок 1 – Температурная зависимость относительного удлинения образцов полученных с использованием ВДХП:
1 – 1 ГПа; 2 – 3 ГПа;
3 – 4 ГПа;4 – 5 ГПа



а) не подвергавшихся процессу спекания



б) керамик

Рисунок 2 – Температурная зависимость коэффициента линейного теплового расширения образцов, полученных с использованием ВДХП:
1 – 1 ГПа;
2 – 3 ГПа; 3 – 4 ГПа; 4 – 5 ГПа

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

проведена количественная оценка степени размытия ξ фазовых переходов керамических образцов двумя методами. Используя экстремальные значения $\alpha_{ан}(t_c)$ КЛТР, фактор размытия ξ ФП вычислялся по формуле:

$$\xi = \frac{1}{4}\frac{1}{\alpha_{ан}(t_c)}\frac{\Delta l_c}{l_0},$$

где $\Delta l_c/l_0$ получено экстраполяцией зависимости $\frac{\Delta l}{l_0}(t)$ к температуре ФП t_c. На основании связи степени размытия ФП с "полушириной" D экстремума кривой $\alpha(t)$ в области фазового перехода, фактор размытия равен:

$$\xi^D = 0.284\,D.$$

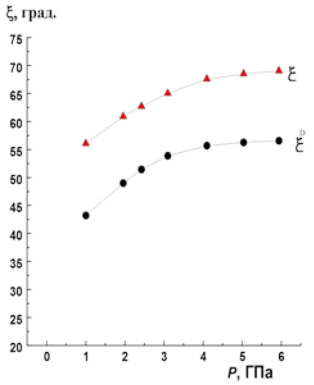


Рисунок – 3 Зависимости степени размытия ФП от ДХП для керамических образцов

Установлено, что степень размытия СЭ ФП для неспеченных образцов практически не зависит от величины ВД и составляет ~22 ^{0}С. Очевидно, что в этом случае основной причиной размытия являются концентрационные флуктуации состава, и, в меньшей степени, микродеформации кристаллической решетки. Результаты вычислений для керамик в обоих методах (рис. 3) показали одинаковый характер изменения ξ в зависимости от величины ВД, хотя численные значения ξ различаются. При этом зависимость фактора размытия ФП от ВД наблюдается до 3,5 ГПа, что обусловлено ростом микродеформаций кристаллической решетки керамик при этих давлениях. Начиная с 3,5 ГПа, влияние ВД на величину ξ незначительное.

Литература

1. Акимов, А.И. Уточнение параметров кристаллической структуры титаната свинца с различной степенью дефектности по катионной и анионной подрешеткам методом Ритвельда /А.И. Акимов, Г.К. Савчук, А.К. Летко, В.А. Рубцов// Кристаллография – 2003. – т.48 (2) – С. 267-271.

2. Акимов, А.И. Керамические материалы (диэлектрические, пьезо-электрические, сверхпроводящие): условия получения, структура, свойства /А.И. Акимов, ГК Савчук// Минск: Изд. центр БГУ, 2012. 256с.

3. Бланк В. Д. Фазовые превращения в твердых телах при высоких давлениях/ В. Д. Бланк, Э И Эстрин// Физматлит, 2011. 412с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

4. Oganov A.R. Modern Methods of Crystal Structure Prediction / A.R. Oganov, Schön J.C., Jansen M., Woodley S.M., Tipton W.W., Hennig R.G.// Berlin: Wiley-VCH – 2010. – pp. 223-231.

5. Исупов В.А. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом и дипольные стекла // Изв. Ан СССР. Сер. физ. – 1990. – т.54, № 6. – С. 1131-1134.

6. Ролов, Б.Н. Физика размытых фазовых переходов /Б.Н. Ролов, В.Э. Юркевич// Изд.: Ростовский университет, 1983. 320с.

А. Д. Юник (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **Я. А. Соловьёв,** канд. техн. наук, доцент

СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ НОРМАЛЬНО-ЗАКРЫТЫХ GaN/AlGaN ТРАНЗИСТОРОВ С ВЫСОКОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОНОВ

В настоящее время одной из наиболее важных социальных проблем в мире является неуклонный рост энергопотребления. Кремниевая (Si) технология, которая более пяти десятилетий являлась доминирующей при создании элементной базы для всех электронных устройств, начинает не справляться с возрастающими требованиями. В этой связи одним из наиболее перспективных направлений развития силовой электроники является реализация устройств на основе широкозонных полупроводников. Особый интерес здесь представляют нитриды элементов третьей группы таблицы Менделеева (GaN, AlN, InN-III-нитридов и др.), обладающие целым рядом уникальных свойств.

Одним из наиболее ярких на данный момент представителей изделий данного класса является транзистор с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ). Благодаря своим превосходным свойствам, GaN/AlGaN-транзисторы оказались способны с легкостью заменить мощные кремниевые полевые транзисторы в компактных импульсных источниках питания, DC/DC-преобразователях, разумных сетях электропитания, электроприводах и др.

Целью настоящей работы является решение задачи выбора способа формирования нормально-закрытых ТВПЭ (формирования затвора транзисторов данного типа), а также выбора типовой гетероструктуры для нормально-закрытых ТВПЭ на основе GaN/AlGaN.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Как известно, транзисторы (ТВПЭ) на основе гетероструктур GaN/AlGaN по своей природе являются нормально-открытыми (или нормально-включенными) устройствами. Тем не менее, в большинстве случаев для применений в силовой электронике требуется нормально-закрытый (нормально-выключенный) вариант исполнения транзистора.

Одним из первых предложенных способов формирования нормально-закрытого ТВПЭ был т.н. “recessed gate”, который заключается в локальном уменьшении толщины (затраве) барьерного слоя AlGaN под затвором. Начиная с определенной толщины барьерного AlGaN уровень Ферми на границе раздела GaN/AlGaN будет находиться ниже зоны проводимости AlGaN, что соответствует истощению канала (который в данном случае обычно называют двумерным электронным газом или 2DEG) и возникновению положительного порогового напряжения (Vth) [1, 2].

Другим ранним подходом был с т.н. “fluorine gate”, заключающийся во введении отрицательно заряженных ионов фтора в область под затвором транзистора, что, как и в первом случае, приводит к истощению двумерного электронного газа [3]. Кроме того, введение ионов фтора приводит к изгибу зоны проводимости AlGaN, что, в свою очередь, вызывает увеличение высоты барьера металл/AlGaN и уменьшению тока утечки затвора [4].

Однако, данные методы оказались не самыми востребованными за счет плохой воспроизводимости процесса плазменного травления барьерного слоя AlGaN под затвором, что приводило к нестабильности уровней порогового напряжения (Vth), в особенности при повышении уровня рабочих температур.

На смену ранним вариантам реализации нормально-закрытого ТВПЭ пришло более “элегантное” технологическое решение, которое заключалось в последовательном соединении нормально-закрытого кремниевого МОП-транзистора с нормально-открытым высоковольтным ТВПЭ (т.е. в таком приборе выходное напряжение (сток-исток) МОП-транзистора определяет входное напряжение (затвор-исток) ТВПЭ). Однако, данная “каскадная” схема также имеет свои недостатки: последовательное соединение вносит паразитные эффекты, влияющие на производительность при переключении транзистора, а температурные режимы работы устройства будут ограничены тепловыми свойствами кремниевого МОП-транзистора.

На данный момент одним из самых оптимальных вариантов получения нормально-закрытого ТВПЭ (и метода формирования затвора)

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

является так называемый ТВПЭ с затвором p-типа (p-GaN gate). Как показано на рисунке 1, в данном методе в процессе роста гетероструктуры на поверхности барьерного слоя AlGaN (или AlN+AlGaN) дополнительно формируется тонкий (2-3 нм) слой нитрида галлия легированный магнием (p-GaN), который впоследствии будет располагаться только в областях под затвором и перекрывать канал двумерного электронного газа при подаче положительного потенциала на затвор. Уже первые полученные таким методом транзисторы имели уровни порогового напряжения (Vth) порядка 1 В, а пробивное напряжение (Vb) достигало рекордных 800 В [5].

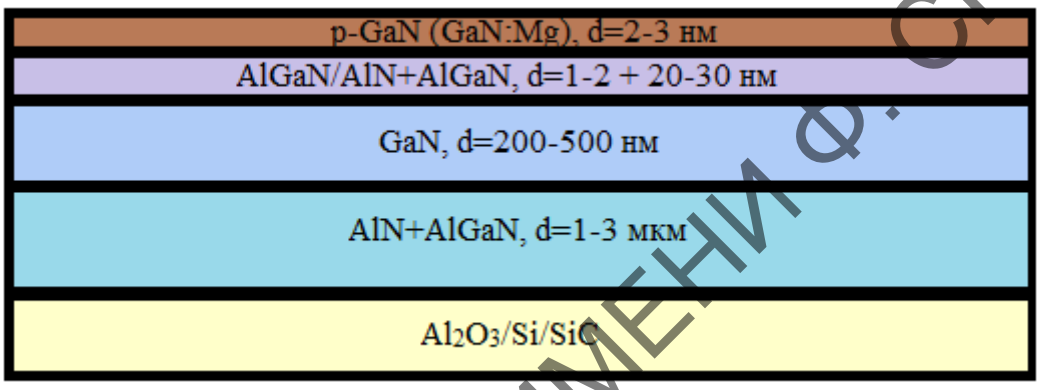


Рисунок 1 – Типовая гетероструктура для формирования нормально-закрытого ТВПЭ с затвором p-типа

Таким образом, представленные в настоящей статье способ формирования затвора (p-GaN gate) и типовая гетероструктура на основе GaN/AlGaN позволяют решить задачу формирования нормально-закрытых ТВПЭ. Стоит отметить, что подобная реализация нормально-закрытых ТВПЭ на данный момент является единственным коммерчески доступным и широко используемым решением.

Литература

1. Saito, W.; Takada, Y.; Kuraguchi, M.; Tsuda, K.; Omura, I. Recessed-gate structure approach toward normally off high-Voltage AlGaN/GaN HEMT for power electronics applications // IEEE Electron Device Lett. – 2006. – 53. – 356–362.

2. Kumar, V.; Kuliev, A.; Tanaka, T.; Otoki, Y.; Adesida, I. High transconductance enhancement-mode AlGaN/GaN HEMTs on SiC substrate // Electron. Lett. – 2003. – 39. – 1758–1760.

3. Cai, Y.; Zhou, Y.; Lau, K.M.; Chen, K.J. Control of Threshold Voltage of AlGaN/GaN HEMTs by Fluoride-Based Plasma Treatment: From

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Depletion Mode to Enhancement Mode // IEEE Electron Device Lett. – 2006. – 53. – 2207–2215.

4. Chen, K.J.; Zhou, C. Enhancement-mode AlGaN/GaN HEMT and MIS-HEMT technology // Phys. Status Solidi A. – 2011. – 208. – 434–438.

5. Uemoto, Y.; Hikita, M.; Ueno, H.; Matsuo, H.; Ishida, H.; Yanagihara, M.; Ueda, T.; Tanaka, T.; Ueda, D. Gate Injection Transistor (GIT) – A Normally-Off AlGaN/GaN Power Transistor Using Conductivity Modulation // IEEE Trans. Electron Devices. – 2007. – 54. – 3393–3399.

П. С. Яночкин, А. С. Русыкин (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. Е. Гайшун**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ZrO_2-Ti ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ЦЕРИЕМ

Нанотехнологии прочно укрепились в различных сферах деятельности человека и развиваются стремительными темпами. Перспективным направлением в этой отрасли является синтез тонкопленочных покрытий, которые могут применяться в таких областях науки и техники, как оптика, оптоэлектроника, наноэлектроника и др. В последние годы среди всех возможных способов синтеза тонких пленок все более широкое распространение получает золь-гель метод [1], который привлекателен как возможностью синтезировать покрытия требуемого качества, так и своей экономичностью, так как процесс формирования покрытий данным методом является менее энергозатратным по сравнению с другими технологиями и не требует наличия сложного и дорогостоящего оборудования [2].

В ходе работы были сформированы золь-гель пленки на основе ZrO_2-Ti^{3+}, солегированные наночастицами серебра и ионами церия. Формирование данных покрытий на подложке было выполнено методом центрифугирования с последующей термообработкой при температуре 500 ^{o}C. Были измерены толщина и коэффициенты преломления полученных покрытий. Состав пленок и результаты измерения представлены в таблице 1.

Полученные данные иллюстрируют, что введение наночастиц серебра и ионов церия практически не оказывает влияния на толщину формируемых покрытий. Добавление ионов церия приводит к увеличению коэффициента преломления получаемых покрытий на (3-5) % для всех исследуемых матриц.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Таблица 1 – Коэффициент преломления и толщина покрытий, легированных церием и серебром

Состав	Коэффициент преломления	Толщина покрытия, нм
ZrO_2-Ti^{3+}	1,87	123,0
ZrO_2-Ti^{3+}+Ag(0,5%)	1,93	122,7
ZrO_2-Ti^{3+}+Ce^{3+}(1%)	2,04	124,5
ZrO_2-Ti^{3+}+Ce^{3+}(1%)+Ag(0,5%)	1,95	122,0

Регистрацию оптических спектров пропускания (рисунок 1) полученных образцов провели на спектрофотометре Varian CARY 50. Измерения проводились в области от 300 нм до 800 нм с шагом в 2,0 нм, спектральная ширина щели 0,5 нм.

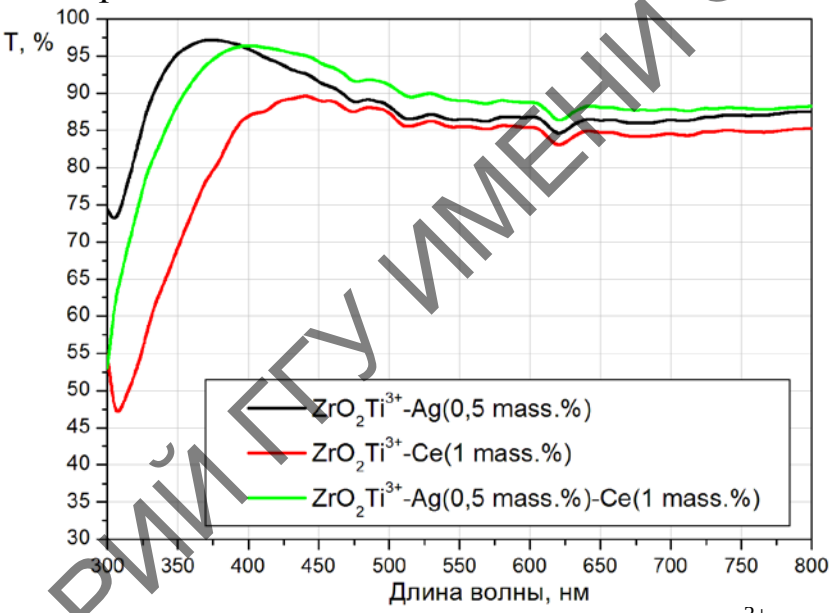


Рисунок 1 – Спектр пропускания легированных ZrO_2-Ti^{3+}покрытий

Исследование оптических свойств покрытий показало, что пленки составов ZrO_2-Ti^{3+}+Ag(0,5%) и ZrO_2-Ti^{3+}+Ce^{3+}(1%)+Ag(0,5%) обладают достаточно высоким коэффициентом пропускания, особенно в диапазоне от 350 нм до 450 нм.

Оценивая полученные данные, можно прийти к выводу, что дополнительное допирование серебром пленок ZrO_2-Ti^{3+}-Ce^{3+} приводит к увеличению их коэффициентов пропускания до 96 % на длине волны в 400 нм, что соответствует видимому спектру излучения, и постепенно снижается до 87 % при приближении к 800 нм в ИК-области.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Методом атомно-силовой микроскопии были получены изображения поверхности покрытия ZrO_2-Ti^{3+}-Ce^{3+}, которые свидетельствуют о наличии пор размером (0,3-0,5) нм по всей площади поверхности сформированного образца.

Полученные в результате работы данные будут использоваться для дальнейшего изучения оптических и структурных свойств тонкопленочных золь-гель покрытий.

Литература

1. Шабанова, Н.А. Золь-гель технологии. Нанодисперсный кремнезем / Н.А.Шабанова, П.Д. Саркисов. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 238 с.

2. Кашапов, Н. Ф. Вакуумные технологии нанесения функциональных покрытий / Н. Ф. Кашапов, Г. С. Лучкин, А. Г. Лучкин // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. – №2. – С. 340– 345.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Секция 2 «Моделирование физических процессов»

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

А. В. Астрейко (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Н. В. Иноземцева,** канд. техн. наук, доцент

СИЛОВОЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА

Современное развитие машиностроения невозможно без создания новых, более совершенных и точных механизмов и машин. Основу многих механизмов в машиностроении составляют плоские рычажные механизмы, в состав которых входят группы Ассура II класса, для которых разработаны методы кинематического и кинетостатического исследования. Практика машиностроения показывает, что механизмы с группами Ассура высших классов (III, IV и далее), уже применяются в машинах, и в последнее время начинают получать все большее использование [1]. Успешному применению подобных механизмов длительное время препятствовало отсутствие соответствующих алгоритмов анализа и синтеза. Следовательно, разработка методов и проведение кинематического и кинетостатического исследования таких групп, является задачей весьма актуальной. Цель работы – выполнение силового анализа и определение кинетостатических параметров механизма с группой Ассура III класса.

В качестве объекта исследования был выбран шестизвенный механизм, включающий группу Ассура III класса с вращательными кинематическими парами, рисунок 1.

Задачу будем решать при следующих допущениях: механизм обладает плоскостью симметрии, т.е. система сил в механизме представляет собой плоскую систему сил и трение в кинематических парах не учитывается. Для выполнения силового анализа предварительно был выполнен кинематический анализ механизма аналитическим методом [2]

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

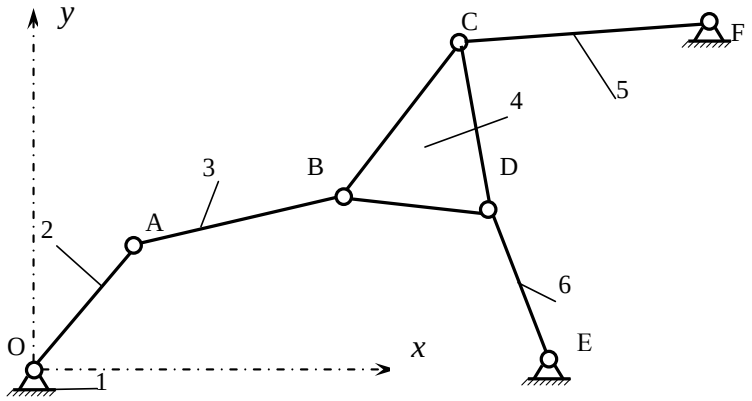


Рисунок 1 – Схема механизма

Расчет сил инерций определяем по формулам [3]. Вектор сил инерции представляем в виде двух компонент (проекций на координатные оси x, y). $\Phi_{ix} = -m_i \cdot a_{Six}$, $\Phi_{iy} = -m_i \cdot a_{Siy}$, $i = 2,3,4,5,6$.

Здесь i - номер звена; Φ_{ix}, Φ_{iy} - проекции вектора сил инерции i-го звена на координатные оси; m_i - масса i-го звена; a_{Six}, a_{Siy} - проекции вектора ускорений центра масс i-го звена. Пары сил инерции находим по формуле [3]: $M_i^{\Phi} = -J_{Si} \cdot \varepsilon_i$, $i = 2,3,4,5,6$.

Силовой анализ ведем по структурным группам, начиная с последней группы Ассура и заканчивая входным звеном. Картина позвенного силового нагружения группы Ассура III (3-6) и входного звена 2 представлена на рисунке 2.

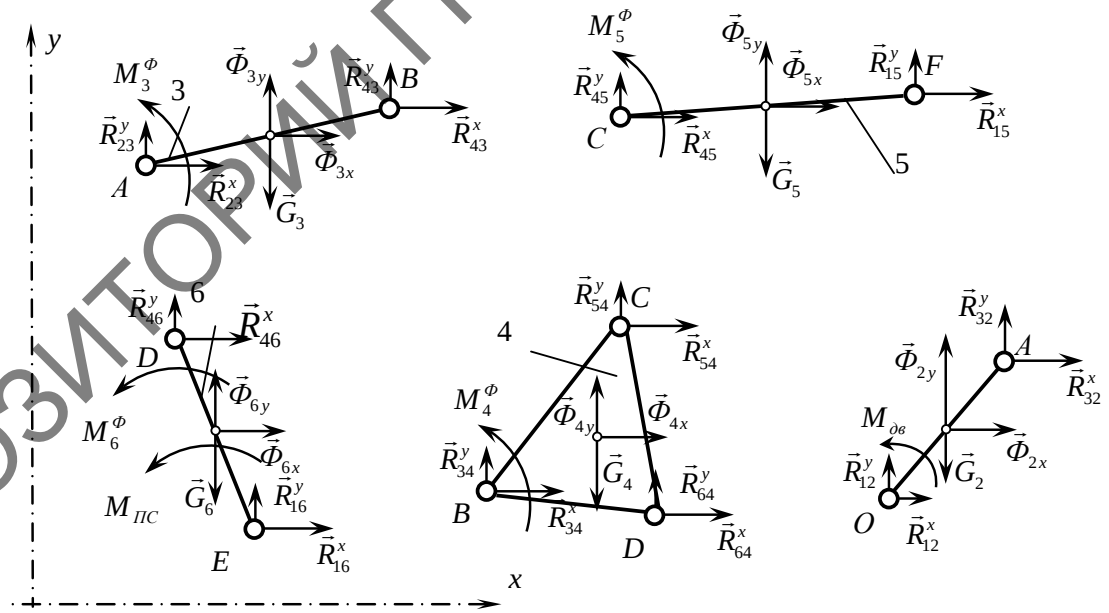


Рисунок 2 – Картина силового нагружения

На рисунке 2 показаны: силы тяжести звеньев G_i; движущий момент $M_{дв}$, приложенный к звену 2; момент сил полезного сопротив-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ления $M_{ПС}$, приложенный к выходному звену 6; силы инерции звеньев и реакции связей в кинематических парах $\vec{R}_{ij}^{x}, \vec{R}_{ij}^{y}$. Рассмотрим звено 2 и действующую на него систему сил. Запишем 3 уравнения кинетостатики:

уравнение моментов сил, действующих на звено 2, относительно точки O: $\sum M_O\left(\vec{F}_2\right)=0$:

$$\left(\Phi_{2y}-G_2\right)\left(x_{S2}-x_O\right)-\Phi_{2x}\left(y_{S2}-y_O\right)+M_{дв}+R_{32}^{y}\left(x_A-x_O\right)-R_{32}^{x}\left(y_A-y_O\right)=0;$$

уравнения проекций всех сил на координатные оси x и y:

$$\sum F_{2x}=0,\ R_{12}^{x}+\Phi_{2x}+R_{32}^{x}=0;$$

$$\sum F_{2y}=0,\ R_{12}^{y}+\Phi_{2y}-G_2+R_{32}^{y}=0.$$

Для звеньев 3-6 уравнения кинетостатики получены и здесь не приводятся. В результате получена система 15 алгебраических уравнений с 14 неизвестными реакциями связей $\vec{R}_{ij}^{x}, \vec{R}_{ij}^{y}$ и неизвестный движущий момент $M_{дв}$.Система уравнений была решена с помощью математического пакета MathCad.

Приведем здесь результаты силового расчета механизма при следующих входных параметрах: $l_{OA}=0.1$м, $l_{AB}=0.3$м, $l_{BD}=0.2$м, $l_{DE}=0.3$м, $l_{BC}=0.2$м, $l_{CF}=0.3$м, $l_{CD}=0.2$м, $m_2=0.815$кг, $m_3=2.44$кг, $m_4=4.89$кг, $m_5=2.44$кг, $m_6=2.44$кг, $\omega_2=6.5\,c^{-1}$, $\varepsilon_2=0\,c^{-2}$, $M_{ПС}=550\,\text{Н}\cdot\text{м}$.

Для положения $\varphi_2=45^0$ определены реакции связей в кинематических парах $R_{12}^{y}=1323.70\,\text{Н}$, $R_{12}^{x}=7693.21\,\text{Н}$, $R_{23}^{y}=1314.48\,\text{Н}$, $R_{23}^{x}=7691.99\,\text{Н}$, $R_{43}^{y}=-1289.4170\,\text{Н}$, $R_{43}^{x}=7683.72\,\text{Н}$, $R_{15}^{y}=1479.41.70\,\text{Н}$, $R_{15}^{x}=-4994.72\,\text{Н}$, $R_{45}^{y}=-1459.49\,\text{Н}$, $R_{45}^{x}=4995.58\,\text{Н}$, $R_{16}^{y}=-2685.96\,\text{Н}$, $R_{16}^{x}=-2677.45\,\text{Н}$, $R_{46}^{y}=2709.88\,\text{Н}$, $R_{46}^{x}=2678.89\,\text{Н}$ и движущий момент $M_{дв}=450.67\,\text{Н}\cdot\text{м}$

Вывод. Выполнен силовой анализ механизма с группой Ассура III-го класса аналитическим методом. Определены реакции связей в кинематических парах.

Литература

1. Дворников, Л.Т. Кинематическое и кинетостатическое исследование двухсекционного грохота / Л.Т. Дворников, С.П. Стариков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2008. - №1. – С. 44-46.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. Иноземцева, Н.В. Исследование плоских механизмов высоких классов методом инверсии / Н.В. Иноземцева, А.В. Астрейко // Материалы XII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиноведения». Гомель, 22-23 ноября 2018 г. С. 332-334.

3. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для вузов / М. З. Коловский [и др.]. - 2-е изд., испр. - Москва: Академия, 2008. - 558 с.

О. Н. Бенько (МГПУ имени И.П. Шамякина, Мозырь)
Науч. рук. **Е. М. Овсиюк,** канд. физ.-мат. наук, доцент

ЦИЛИНДРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНЫЕ РЕШЕНИЯ СПИНОРНЫХ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА В ГИПЕРБОЛИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЛОБАЧЕВСКОГО

Рассмотрим спинорные уравнения Максвелла в цилиндрических координатах сферического пространства s_3:

$$dS^2 = dt^2 - dr^2 - \sinh^2 r\, d\phi^2 - \cosh^2 r\, dz^2\,, \qquad x^\alpha = (t, r, \phi, z)\,, \quad (1)$$

$$G = \{\rho \in [0, +\infty)\,,\ \phi \in [-\pi, +\pi]\,,\ z \in (-\infty, +\infty)\}\,.$$

Исходим из уравнения Максвелла в спинорной форме [1]

$$\left[\sigma^c e^\alpha_{(c)}(x)\partial_\alpha + \sigma^c(\frac{1}{2}\Sigma^{ab} \otimes I + I \otimes \frac{1}{2}\Sigma^{ab})\gamma_{abc}(x)\right]\xi(x) = 0, \qquad (2)$$

$$\Sigma^{0j} = \frac{1}{2}\sigma^j, \quad \Sigma^{12} = -\frac{i}{2}\sigma^3, \quad \Sigma^{23} = -\frac{i}{2}\sigma^1, \quad \Sigma^{31} = -\frac{i}{2}\sigma^2\,.$$

С учетом (1) уравнение (2) записывается в виде

$$\left[\partial_t + \sigma^1\partial_r + \frac{\sigma^2}{\sinh r}\partial_\phi + \frac{\sigma^3}{\cosh r}\partial_z + \right.$$

$$\left. + \sigma^2(\Sigma^{12} \otimes I + I \otimes \Sigma^{12})\frac{\cosh r}{\sinh r} - \sigma^3(\Sigma^{31} \otimes I + I \otimes \Sigma^{31})\frac{\sinh r}{\cosh r}\right]\xi = 0. \quad (3)$$

Будем использовать следующую подстановку для симметричного спинора ξ:

$$\xi(t, r, \phi, z) = e^{-i\varepsilon t}\, e^{im\phi}\, e^{ikz} \begin{vmatrix} f(r) & h(r) \\ h(r) & g(r) \end{vmatrix},$$

тогда уравнение (3) дает 4 дифференциальных уравнения

$$\left(\frac{d}{dr} + \frac{m}{\sinh r} + \frac{\sinh r}{\cosh r}\right)h + \left(-i\varepsilon + \frac{ik}{\cosh r}\right)f = 0;$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$\left(\frac{d}{dr}-\frac{m}{\sinh r}+\frac{\sinh r}{\cosh r}\right)h+\left(-i\varepsilon-\frac{ik}{\cosh r}\right)g=0;$$

$$\left(\frac{d}{dr}+\frac{m}{\sinh r}+\frac{\cosh r}{\sinh r}+\frac{1}{2}\frac{\sinh r}{\cos r}\right)g+\left(-\frac{1}{2}\frac{\sinh r}{\cosh r}\right)f+\left(\frac{ik}{\cosh r}-i\varepsilon\right)h=0,$$

$$\left(\frac{d}{dr}-\frac{m}{\sinh r}+\frac{\cosh r}{\sinh r}+\frac{1}{2}\frac{\sinh r}{\cos r}\right)f+\left(-\frac{ik}{\cosh r}-i\varepsilon\right)h+\left(-\frac{1}{2}\frac{\sinh r}{\cosh r}\right)g=0.$$

Складываем и вычитаем уравнения внутри каждой пары, при этом вводим новые переменные $F=f+g$, $G=f-g$. В результате такого преобразования приходим к трем независимым уравнениям:

$$\frac{ik}{\cosh r}F-i\varepsilon G+\frac{2m}{\sinh r}h=0,\quad \frac{ik}{\cosh r}G-i\varepsilon F+2\left(\frac{d}{dr}+\frac{\sinh r}{\cosh r}\right)h=0,$$

$$-2i\varepsilon h-\frac{m}{\sinh r}G+\left(\frac{d}{dr}+\frac{\cosh r}{\sinh r}\right)F=0.$$

Систему уравнений можно упростить, выделив простые множители из двух функций:

$$F=\frac{1}{\sinh r}\bar{F},\quad h=\frac{1}{\cosh r}\bar{h}.$$

Исключаем функцию G и используем обозначение $2i\bar{h}=\bar{H}$:

$$\frac{1}{\cosh r}\left(\varepsilon\frac{d}{dr}+\frac{km}{\cosh r\sinh r}\right)\bar{H}+\frac{1}{\sinh r}\left(\varepsilon^2-\frac{k^2}{\cosh^2 r}\right)\bar{F}=0,$$

$$\frac{1}{\sinh r}\left(\varepsilon\frac{d}{dr}-\frac{km}{\sinh r\cosh r}\right)\bar{F}+\frac{1}{\cosh r}\left(-\varepsilon^2+\frac{m^2}{\sinh^2 r}\right)\bar{H}=0.$$

Введем переменную: $\sinh r=\sqrt{z}$, $z\in[0,\infty)$; тогда получим уравнения с рациональными коэффициентами

$$\left(2\varepsilon\frac{d}{dz}+\frac{km}{z(1+z)}\right)\bar{H}+\frac{\varepsilon^2-k^2+\varepsilon^2 z}{z(1+z)}\bar{F}=0,$$

$$\left(2\varepsilon\frac{d}{dz}-\frac{km}{z(1+z)}\right)\bar{F}+\frac{m^2-\varepsilon^2 z}{z(1+z)}\bar{H}=0. \qquad (4)$$

Замечаем, что если воспользоваться методом исключения, то получим два дифференциальных уравнения второго порядка с 4 особыми точками. Сведем задачу к анализу уравнений только с 3 особыми точками. Для этого введем новые функции

$$\bar{F}=W+iV,\quad \bar{H}=iW+V,$$

тогда система (4) примет вид

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$\left(2\varepsilon\frac{d}{dz}+\frac{km}{z(1+z)}\right)(iW+V)+\frac{\varepsilon^2-k^2+\varepsilon^2 z}{z(1+z)}(W+iV)=0,$$

$$\left(2\varepsilon\frac{d}{dz}-\frac{km}{z(1+z)}\right)(W+iV)+\frac{m^2-\varepsilon^2 z}{z(1+z)}(iW+V)=0.$$

Перейдем к переменной $y=-z$ и найдем уравнения второго порядка в пространстве Лобачевского

$$\left\{y(y-1)\frac{d^2}{dy^2}+(2y-1)\frac{d}{dy}-\frac{1}{4}i\varepsilon(i\varepsilon+2)+\frac{k^2/4}{(y-1)}+\frac{m^2/4}{y}\right\}W=0, \quad (5)$$

$$\left\{y(y-1)\frac{d^2}{dy^2}+(2y-1)\frac{d}{dy}-\frac{1}{4}i\varepsilon(i\varepsilon-2)+\frac{k^2/4}{(y-1)}+\frac{m^2/4}{y}\right\}V=0; \quad (6)$$

уравнения этой системы симметричны относительно замены $V\Longleftrightarrow W$, $\varepsilon\Longleftrightarrow-\varepsilon$. Для определенности следим за уравнением для функции $W(y)$. Найдем поведение решений около особых точек:

$$y\to 0, W\sim y^A, A=\pm\frac{|m|}{2};$$

$$y\to\infty, W\sim y^C, C=\frac{i\varepsilon}{2}, -\frac{i\varepsilon}{2}-1;$$

$$y\to 1, W\sim(y-1)^B, B=\pm\frac{ik}{2}.$$

Ищем решения уравнения (5) в виде $W(y)=y^A(y-1)^B\overline{W}(y)$:

$$(y-1)y\overline{W}''+\left[2A(y-1)+2By+(2y-1)\right]\overline{W}'+$$

$$+\left((A+B)^2+A+B-\frac{1}{4}i\varepsilon(i\varepsilon+2)+\frac{k^2}{4(y-1)}+\frac{B^2}{y-1}+\frac{m^2}{4y}-\frac{A^2}{y}\right)\overline{W}=0.$$

Накладывая ограничения на параметры A и B, приходим к уравнению гипергеометрического типа [2]

$$y(1-y)\frac{d^2F}{dy^2}+\left[\gamma-(\alpha+\beta+1)y\right]\frac{dF}{dy}-\alpha\beta F=0$$

с параметрами:

$$A=+\frac{|m|}{2},\quad B=\frac{ik}{2},$$

$$\alpha=\frac{|m|+i(k-\varepsilon)}{2},\quad \beta=\frac{|m|+i(k+\varepsilon)}{2}+1,\quad \gamma=|m|+1;$$

соответствующее полное решение имеет вид $W(y)=y^{|m|/2}(y-1)^{ik/2}F(\alpha,\beta,\gamma;y)$. Найденное решение обращается в нуль в точке $y=0\,(r=0)$. Найдем поведение этого решения при $y\to-\infty$. Воспользуемся известным соотношением Куммера [2]:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$u_1(y)=\frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\beta-\alpha)}{\Gamma(\gamma-\alpha)\Gamma(\beta)}u_3(y)+\frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\alpha-\beta)}{\Gamma(\gamma-\beta)\Gamma(\alpha)}u_4(y), \qquad (7)$$

$$u_3(y)=(-y)^{-\alpha}F(\alpha,\alpha+1-\gamma,\alpha+1-\beta;\frac{1}{y}),$$

$$u_4(y)=(-y)^{-\beta}F(\beta+1-\gamma,\beta,\beta+1-\alpha;\frac{1}{y}).$$

При $y\to-\infty$ соотношение (7) дает

$$u_1(y)=\frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\beta-\alpha)}{\Gamma(\gamma-\alpha)\Gamma(\beta)}(-y)^{-\alpha}+\frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\alpha-\beta)}{\Gamma(\gamma-\beta)\Gamma(\alpha)}(-y)^{-\beta};$$

с учетом чего находим следующую асимптотику на бесконечности для полного решения

$$W_1(y)\sim\frac{\Gamma(\beta-\alpha)}{\Gamma(\gamma-\alpha)\Gamma(\beta)}(-y)^{i\varepsilon/2}+\frac{\Gamma(\beta-\alpha)}{\Gamma(\gamma-\alpha)\Gamma(\beta)}(-y)^{i\varepsilon/2-1}$$

Вторым слагаемых можно пренебречь в сравнении с первым, так получаем асимптотику

$$W_1(y)\sim\frac{\Gamma(\beta-\alpha)}{\Gamma(\gamma-\alpha)\Gamma(\beta)}(-y)^{i\varepsilon/2}=\frac{\Gamma(\beta-\alpha)}{\Gamma(\gamma-\alpha)\Gamma(\beta)}(\frac{1}{2})^{i\varepsilon}e^{i\varepsilon r}$$

Если взять за основу решение Куммера

$$u_5=y^{1-\gamma}F(\alpha+1-\gamma,\beta+1-\gamma,2-\gamma;y)=$$

$$=y^{-|m|}F\left(\frac{-|m|+i(k-\varepsilon)}{2},\frac{-|m|+i(k+\varepsilon)}{2}+1,1-|m|;y\right),$$

придем к полному решению, сингулярному в нуле

$$\overline{W}_5(y)=y^{-|m|/2}(y-1)^{ik/2}F\left(\frac{-|m|+i(k-\varepsilon)}{2},\frac{-|m|+i(k+\varepsilon)}{2}+1,1-|m|;y\right);$$

т. е. $\overline{W_5}(y\to 0)\sim y^{\frac{-m}{2}}$

Чтобы найти поведение этого решения на бесконечности, воспользуемся другой формулой Куммера [2]

$$u_5(y\to-\infty)=A\cdot(-y)^{-\alpha}+B\cdot(-y)^{-\beta}=A\cdot(-y)^{-\frac{|m|}{2}-i\frac{k-\varepsilon}{2}}+B\cdot(-y)^{-\frac{|m|}{2}-i\frac{k+\varepsilon}{2}-1},$$

т. е. для полного решения находим следующую асимптотику на бесконечности

$$\overline{W_5}(y\to-\infty)\sim A\cdot(-y)^{\frac{i\varepsilon}{2}}+B\cdot(-y)^{-\frac{i\varepsilon}{2}-1}\sim A\cdot(-y)^{\frac{i\varepsilon}{2}}$$

Если за основу выбирать решения Куммера u_3 и u_4, то для полных решений на бесконечности получим асимптотики

$$W_3(y\to-\infty)=y^{+i\varepsilon/2},\quad W_4(y\to-\infty)=y^{-i\varepsilon/2-1}.$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Литература

1. Редьков, В.М. Поля частиц в римановом пространстве и группа Лоренца / В.М. Редьков. – Минск: Белорусская наука, 2009. – 486 с.

2. Бейтмен, Г. Высшие трансцендентные функции. Гипергеометрическая функция. Функция Лежандра / Г. Бейтмен, А. Эрдейи. – М.: Наука, 1965. – 296 с.

М. А. Бужан (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ РАЗРАБОТКИ ЭФФЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

Один из важных этапов разработки собственного программного комплекса – проектирование эффективного пользовательского интерфейса (ЭПИ). ЭПИ позволяет увеличить скорость ввода данных, а также снизить количество ошибок при их вводе. Он дает качество, скорость и простоту анализа данных. Позволяет осваивать систему, прикладывая минимум усилий и за минимальное время, позволяет минимизировать затраты на обучение и поддержку. И конечно, эффект первого впечатления, особенно актуальный при выборе систем, которые можно рассматривать в качестве конкурента для покрытия той или иной функциональной или отраслевой задачи.

Эффект первого впечатления очень важен, потому что он формирует ожидания у пользователя. Если он видит понятный удобный интерфейс, он будет легче использовать и внедрять программный комплекс. Он поверит в то, что с этим легко и просто работать.

Стоит отметить что при выборе одного из методов проектирования ЭПИ, таких как, прототипирование, использование шаблонов, каркасные модели, а также с использованием элементов искусственного интеллекта, была пройдена стадия анализа и разработки базового программного прототипа решения. На стадии анализа были рассмотрены и сравнены существующие на рынке аналогичные программные комплексы, позволяющие проводить автоматизированный расчет надежности сложных технических систем, для анализа и расчета безопасности, технического риска, готовности и ремонтопригодности. Определены общие функциональные требования и сценарии работы. Основываясь на предложенной методике и отталкиваясь от исследований целевой аудитории, реализован программный прототип [1] ав-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

томатизации построения и эксплуатации вероятностных моделей надёжности электроэнергетических систем различной структурной организации на основе математического аппарата вероятностного моделирования для оценки надёжности безопасного функционирования электроэнергетических систем, в условиях воздействия случайных факторов [2]. Рассмотрена апробация реализованного программного средства на примере электроэнергетической системы районного центра [3].

Отмечу, что пользовательский интерфейс является программой и его модель связана с фактами и правилами предметной области, то изложенные этапы актуальны для проектирования ЭПИ. Из этого следует, что эффективный пользовательский интерфейс должен базироваться на разработке экспертом его модели, на основе которой впоследствии производится прикладное программное решение.

Концептуальная модель эффективного пользовательского интерфейса, описывающая основные свойства и компоненты для автоматизированный расчет надежности сложных технических систем, для анализа и расчета безопасности, технического риска, готовности и ремонтопригодности, имеет статическую конфигурацию пользовательского интерфейса (сценарная база знаний, типичная схема взаимодействия) в соответствии с состоянием вычислительного процесса. Рассмотренный подход является начальным этапом в формировании методологии проектирования эффективного пользовательских интерфейсов.

Литература

1. Сукач, Е.И. Вероятностно-алгебраическое моделирование сложных систем графовой структуры / Е. И. Сукач; М-во образования РБ, Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2012. – 224 с.

2. Бужан, М.А. Аппарат оценки надёжности при проектировании электроэнергетических систем /М. А. Бужан, Ю. В. Жердецкий //Творчество молодых, 2018: сборник научных работ студентов, магистрантов и аспирантов, Ч.1. -2018.Ч1. – С. 185-189.

3. Бужан, М.А. Вероятностно-алгебраическое моделирование как средство оценки надёжности при проектировании электроэнергетических систем / М.А. Бужан, Ю.В. Жердецкий, Е.И. Сукач // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. Сер.: Естественные науки. - 2017. - № 3 (102). - С. 77-82.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

М. Д. Герасименко (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **В. Ю. Гавриш,** ст. преподаватель

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЕТЛЕВЫХ ИНТЕГРАЛОВ

Введение. Известно [1], что вычисление квантово-полевых амплитуд в высших порядках теории возмущений сводится к вычислению петлевых интегралов с последующей процедурой перенормировки массы и заряда частиц. Наиболее известными подходами являются процедура регуляризации Паули-Виларса [1], сведение к мастер-интегралам методом Ткачёва-Четыркина [2] и др.

Работа посвящена наиболее рациональному методу расчета петлевых интегралов – методу размерной регуляризации [3], в котором осуществляется аналитическое продолжение к нецелым размерностям пространства. Поскольку изложение всех методов достаточно громоздко, зададимся целью продемонстрировать технику расчёта методом размерной регуляризации в простейшем случае скалярного интеграла.

Постановка задачи. Простейший случай расходящегося интеграла имеет вид

$$I = \int \frac{d^4 q}{(2\pi)^4} \frac{1}{(q^2 - C)^2}, \tag{1}$$

где $q = (q^0, \vec{q})$, а пределы интегрирования опущены. Для вычисления данного интеграла, расходящегося логарифмически, перейдём к d-мерному пространству времени, в котором 4-вектор q

$$q = (q^0, |\vec{q}|, \varphi, \theta_1, \theta_2, ...) \tag{2}$$

и, соответственно, выражение (1) примет вид:

$$I = \int \frac{d^d q}{(2\pi)^d} \frac{1}{(q^2 - C)^\alpha} = \int \frac{d^{d-1} q}{(2\pi)^d} \int dq^0 \frac{1}{((q^0)^2 - |\vec{q}|^2 - C)^\alpha}. \tag{3}$$

Вычисление интеграла (3) проведём с Виковским поворотом [1]:

$$q^0 \to i q_E^0, \qquad \int dq^0 \to i \int dq_E^0, \tag{4}$$

в результате которого $q_E^2 = -q^2$, а выражение (3) примет вид

$$I = i(-1)^{-\alpha} \int \frac{d^d q_E}{(2\pi)^d} \frac{1}{(q_E{}^2 + C)^\alpha}. \tag{5}$$

Дальнейшая процедура вычисления связана с интегрированием по d-мерному пространству

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$\int d^d q_E = \int d\overline{q}\ \overline{q}^{d-1}\ d\Omega_{d-1}, \tag{6}$$

где $\overline{q} = \sqrt{(q_E^0)^2 + |\vec{q}\,|^2}$ – модуль вектора q_E, а $d\Omega_{d-1}$ – элемент телесного угла. Для вычисления последнего воспользуемся следующим трюком: известно, что

$$\int e^{-x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}. \tag{7}$$

Переходя к d-мерному интегрированию в формуле (7)

$$\int e^{-(x_1^2+x_2^2+...+x_d^2)} dx_1 dx_2 ... dx_d = \frac{\pi^{\frac{d}{2}}}{2}, \tag{8}$$

или, с учетом того, что

$$|\vec{r}\,| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + ... + x_d^2}, \quad dx_1 dx_2 ... dx_d = |\vec{r}\,|^{d-1} d\,|\vec{r}\,|\, d\Omega_{d-1} \tag{9}$$

из выражения (8) получаем

$$\int e^{-|\vec{r}|^2}\ |\vec{r}\,|^{d-1}\ d\,|\vec{r}\,|\, d\Omega_{d-1} = \frac{\pi^{\frac{d}{2}}}{2}, \tag{10}$$

откуда

$$\int d\Omega_{d-1} = 2\frac{\pi^{\frac{d}{2}}}{\Gamma\left(\frac{d}{2}\right)}, \tag{11}$$

где $\Gamma(z)$ – гамма-функция Эйлера.

Вычисление петлевого интеграла. Интеграл (5) вычислим с помощью (11) путем сведения к табличному: используя интегральное представление B-функции Эйлера

$$\mathrm{B}(n,m) = \frac{\Gamma(n)\Gamma(m)}{\Gamma(n+m)} = \int dt\ \frac{t^{n-1}}{(1+t)^{n+m}}, \tag{12}$$

вводя переменную $t = \left(\frac{s}{M}\right)^a$ из соотношения (12) получаем:

$$\int \frac{ds^a}{M^a} \left(\frac{s}{M}\right)^{a(n-1)} \frac{M^{a(n+m)}}{(s^a + M^a)^{n+m}} = \int \frac{a\ s^{a-1} ds}{M^a} \left(\frac{s}{M}\right)^{a(n-1)} \frac{M^{a(n+m)}}{(s^a + M^a)^{n+m}} =$$

$$= a\ M^{a\ m} \int ds \frac{s^{a\ n-1}}{(s^a + M^a)^{n+m}}. \tag{13}$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Вводя обозначения $x = an - 1,\ y = n + m$ из (13) окончательно получаем:

$$\int ds \frac{s^x}{(s^a + M^a)^y} = \frac{1}{a\, M^{ay-x-1}} \frac{\Gamma\left(\frac{1+x}{a}\right)\Gamma\left(\frac{ay-x-1}{a}\right)}{\Gamma(y)}. \qquad (14)$$

С учётом выражения (14) после некоторых преобразований получаем [4]:

$$I = i(-1)^{-\alpha} \int \frac{d^d q_E}{(2\pi)^d} \frac{1}{(q^2 + C)^\alpha} = i \frac{(-1)^{-\alpha}}{(2\pi)^d} \int d\Omega_{d-1} \int d\overline{q}\ \frac{\overline{q}^{d-1}}{(\overline{q}^2 + C)^\alpha} =$$

$$= i \frac{(-1)^{-\alpha}}{(2\pi)^d} \frac{2\pi^{\frac{d}{2}}}{\Gamma\left(\frac{d}{2}\right)} \int d\overline{q}\ \frac{\overline{q}^{d-1}}{(\overline{q}^2 + C)^\alpha} = i \frac{(-1)^{-\alpha}}{(2\pi)^d} \pi^{\frac{d}{2}} \frac{\Gamma\left(-\frac{d}{2} + \alpha\right)}{\Gamma(\alpha)} C^{\frac{d}{2} - \alpha}. \qquad (15)$$

Анализ выражения (15) показывает, что в частном случае интеграла типа (1) для $d = 4$ и $\alpha = 2$ получаем расходящийся интеграл, дальнейший расчёт которого связан с использованием постоянной Эйлера–Маскерони [4]. Данная процедура достаточно громоздка, поэтому в работе проводится не будет.

Заключение. В работе продемонстрирована процедура расчёта петлевых интегралов методом размерной регуляризации. Анализ полученных выражений показывает, что расходимость в таком подходе обусловлена наличием полюсов у гамма-функции Эйлера.

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. Smirnov, A. V., Petukhov, A. V. The number of master integrals is finite / A.V. Smirnov, A. V. Petukhov. – Lett. Math. Phys. – Vol. № 97, 2011. – p.37-44.

3. Казаков, Д.И. Радиационные поправки, расходимости, регуляризация / Д.И. Казаков. – ОИЯИ – Дубна, 2008. – 93 с.

4. Jorge C. Romao. Modern techniques for one-loop calculation / Romao, J.C. – Departamento de Fisica, Instituto Superior Tecnico, Portugal, 2004. – 81 p.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. А. Гришечкина (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПОВЕДЕНИЕ В РЕЛЯТИВИСТСКОМ КОНФИГУРАЦИОННОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИЙ ГРИНА

Рассмотрим следующие релятивистские функции Грина системы двух частиц массы m каждая, которые в импульсном представлении имеют вид [1]:

$$\frac{1}{\operatorname{ch}\chi-\cos a};\qquad \frac{1}{\operatorname{ch}^2\chi-\cos^2 a};\qquad \frac{\operatorname{ch}\chi}{\operatorname{ch}^2\chi-\cos^2 a};\qquad \frac{1}{\operatorname{ch}\chi(\operatorname{ch}\chi-\cos a)}. \tag{1}$$

Здесь χ – быстрота, связанная с релятивистским импульсом p соотношением $p=m\operatorname{sh}\chi$, a – параметр, с помощью которого параметризуется энергия связанного состояния $E=m\cos a$.

Переход в релятивистское конфигурационное представление в одномерном случае осуществляется с помощью преобразования Фурье:

$$\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}\chi-\cos a}d\chi;\qquad \int_{-\infty}^{+\infty}\frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}^2\chi-\cos^2 a}d\chi;\qquad \int_{-\infty}^{+\infty}\frac{e^{i\rho\chi}\operatorname{ch}\chi}{\operatorname{ch}^2\chi-\cos^2 a}d\chi;\qquad \int_{-\infty}^{+\infty}\frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}\chi(\operatorname{ch}\chi-\cos a)}d\chi. \tag{2}$$

Для нахождения функций Грина в релятивистском конфигурационном представлении необходимо вычислить эти интегралы. Для этого воспользуемся методами теории функций комплексной переменной [2]. Рассмотрим вместо интегралов по вещественной прямой (2) интегралы по замкнутому контуру $C=C_1+C_2+C_3+C_4$, показанному на рисунке 1:

$$\oint_C\frac{e^{i\rho z}}{\operatorname{ch}z-\cos a}dz;\qquad \oint_C\frac{e^{i\rho z}}{\operatorname{ch}^2 z-\cos^2 a}dz;\qquad \oint_C\frac{e^{i\upsilon z}\operatorname{ch}z}{\operatorname{ch}^2 z-\cos^2 a}dz;\qquad \oint_C\frac{e^{i\rho z}}{\operatorname{ch}z(\operatorname{ch}z-\cos a)}dz. \tag{3}$$

Предельный переход $R\to\infty$ вдоль вещественной оси даст искомые интегралы (2). Путь вдоль линии C_3 выбран таким образом, чтобы знаменатель подынтегральной функции остался неизменным. При этом в числителе появится постоянный множитель $e^{-2\pi\rho}$. Интегралы

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

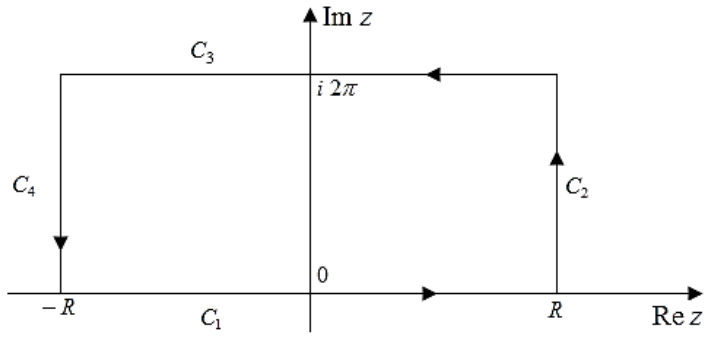


Рисунок 1 – Контур интегрирования в комплексной плоскости

по линиям C_2 и C_4 стремятся к 0 при $R \to \infty$. Таким образом, для одного из интегралов (2) получим

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}\chi - \cos a} d\chi = \frac{1}{1 - e^{-2\pi\rho}} \oint_C \frac{e^{i\rho z}}{\operatorname{ch} z - \cos a} dz. \qquad (4)$$

Аналогично доказывается связь остальных интегралов (2) с интегралами (3).

Значения интегралов (3) можно определить, используя теорему о вычетах [2]. Находя особые точки для каждой из подынтегральных функций и соответствующие значения вычетов в них, получим следующие результаты:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}\chi - \cos a} d\chi = \frac{2\pi}{\sin a} \frac{\operatorname{sh}(\rho(\pi - a))}{\operatorname{sh}(\rho\pi)};$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}^2\chi - \cos^2 a} d\chi = \frac{\pi}{\cos a \cdot \sin a} \frac{\operatorname{sh}(\rho(\pi/2 - a))}{\operatorname{sh}(\rho\pi/2)};$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi} \operatorname{ch}\chi}{\operatorname{ch}^2\chi - \cos^2 a} d\chi = \frac{\pi}{\sin a} \frac{\operatorname{ch}(\rho(a - \pi/2))}{\operatorname{ch}(\rho\pi/2)};$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}\chi(\operatorname{ch}\chi - \cos a)} d\chi = \frac{2\pi}{\cos a} \frac{1}{\operatorname{sh}(\rho\pi)} \left[\frac{\operatorname{sh}(\rho(\pi - a))}{\sin a} - \operatorname{sh}(\rho\pi/2) \right].$$

Теперь если в интегралах (2) заменить $\cos a$ на $\operatorname{ch} b$ получим Фурье-преобразования функций Грина для состояний рассеяния, для которых энергия параметризуется соотношением $E = m \operatorname{ch} b$. При вычислении полученных интегралов возникнут трудности, связанные с дополнительными полюсами, которые попадут на контур интегрирования в комплексной плоскости. Для устранения данной проблемы сместим полюса с контура интегрирования. Это можно сделать не-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

сколькими способами, например, путем замены $\operatorname{ch} b$ на $\operatorname{ch}(b+i\varepsilon)$ или $\operatorname{ch}(b-i\varepsilon)$. В таком случае получим Фурье-преобразования для двух разных типов функций Грина. Нахождение значений интегралов аналогично процедуре, описанной выше. В пределе $\varepsilon \to +0$ получим:

- при замене $\cos a$ на $\operatorname{ch}(b+i\varepsilon)$

$$\begin{gathered}
\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}\chi - \operatorname{ch}(b+i\varepsilon)} d\chi = \frac{2\pi i}{\operatorname{sh}(\pi\rho)} \frac{\operatorname{sh}(\rho(ib+\pi))}{\operatorname{sh} b}; \\
\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}^2\chi - \operatorname{ch}^2(b+i\varepsilon)} d\chi = \frac{2\pi i}{\operatorname{sh}(\rho\pi/2)} \frac{\operatorname{sh}(\rho(ib+\pi/2))}{\operatorname{sh}(2b)}; \\
\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}\operatorname{ch}(\chi)}{\operatorname{ch}^2\chi - \operatorname{ch}^2(b+i\varepsilon)} d\chi = \frac{\pi i}{\operatorname{ch}(\rho\pi/2)} \frac{\operatorname{ch}(\rho(ib+\pi/2))}{\operatorname{sh} b}; \\
\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}\chi(\operatorname{ch}\chi - \operatorname{ch}(b+i\varepsilon))} d\chi = \frac{2\pi i}{\operatorname{sh}(\rho\pi)} \left[\frac{-\operatorname{sh}(\rho\pi/2)}{i\cdot\operatorname{ch} b} + \frac{2\operatorname{sh}(\rho(ib+\pi))}{\operatorname{sh}(2b)} \right];
\end{gathered} \tag{5}$$

- при замене $\cos a$ на $\operatorname{ch}(b-i\varepsilon)$

$$\begin{gathered}
\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}\chi - \operatorname{ch}(b-i\varepsilon)} d\chi = \frac{2\pi i}{\operatorname{sh}(\pi\rho)} \frac{\operatorname{sh}(\rho(ib-\pi))}{\operatorname{sh} b}; \\
\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}^2\chi - \operatorname{ch}^2(b-i\varepsilon)} d\chi = \frac{2\pi i}{\operatorname{sh}(\rho\pi/2)} \frac{\operatorname{sh}(\rho(ib-\pi/2))}{\operatorname{sh}(2b)}; \\
\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}\operatorname{ch}\chi}{\operatorname{ch}^2\chi - \operatorname{ch}^2(b-i\varepsilon)} d\chi = \frac{-\pi i}{\operatorname{ch}(\rho\pi/2)} \frac{\operatorname{ch}(\rho(ib-\pi/2))}{\operatorname{sh} b}; \\
\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\rho\chi}}{\operatorname{ch}\chi(\operatorname{ch}\chi - \operatorname{ch}(b-i\varepsilon))} d\chi = \frac{2\pi i}{\operatorname{sh}(\rho\pi)} \left[\frac{-\operatorname{sh}(\rho\pi/2)}{i\cdot\operatorname{ch} b} + \frac{2\operatorname{sh}(\rho(ib-\pi))}{\operatorname{sh}(2b)} \right].
\end{gathered} \tag{6}$$

Действительные части полученных выражений одинаковы, а мнимые отличаются знаком. На рисунках 2, 3 представлены графики зависимости мнимой и действительной частей первого из выражений (5) и (6) от ρ. Из полученных результатов ясно, что все функции Грина при $\rho \to 0$ конечны, а при $\rho \to \infty$ и $\rho \to -\infty$ ведут себя как функция $Ae^{\pm i\rho b}$.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

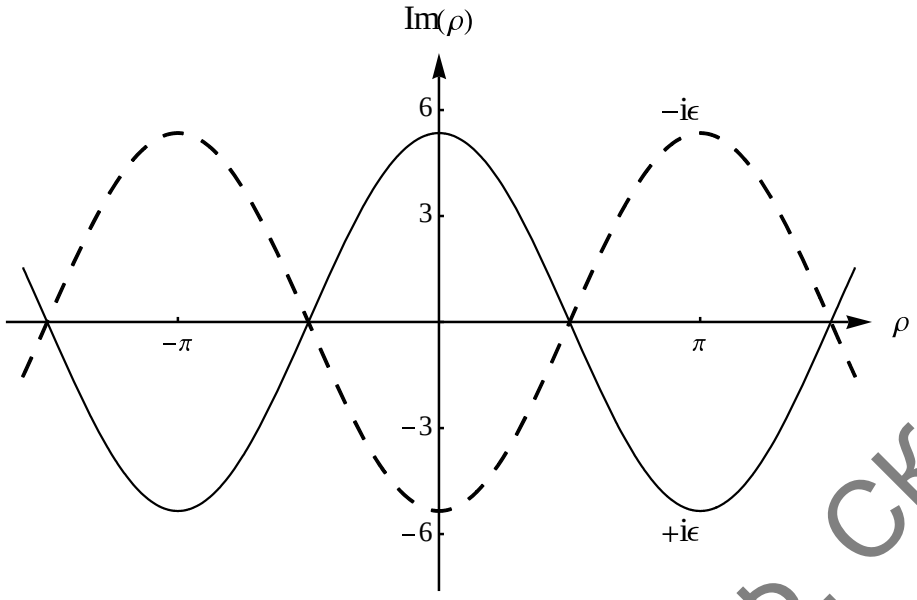


Рисунок 2 – Графики зависимости мнимой части первого из выражений (5) и (6) от ρ

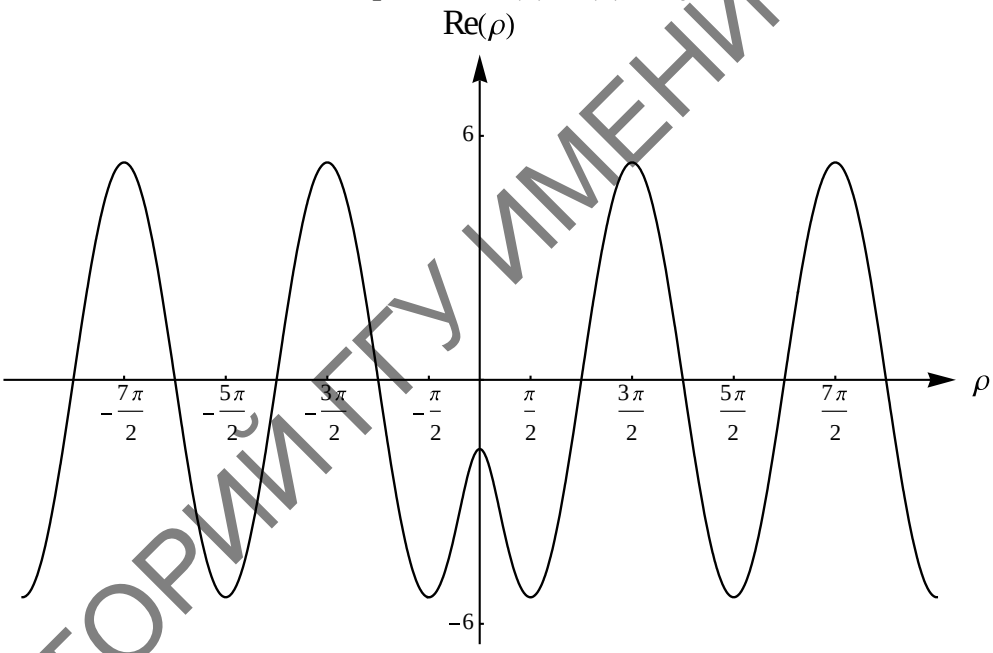


Рисунок 3 – График зависимости действительной части первого из выражений (5) и (6) от ρ

Литература

1. Kapshai, V.N. Relativistic two-particle one-dimensional scattering problem for superposition of δ-potentials / V. N. Kapshai, T. A. Alferova // J. Phys. A. – 1999. – Vol.32. – P.5329-5342.

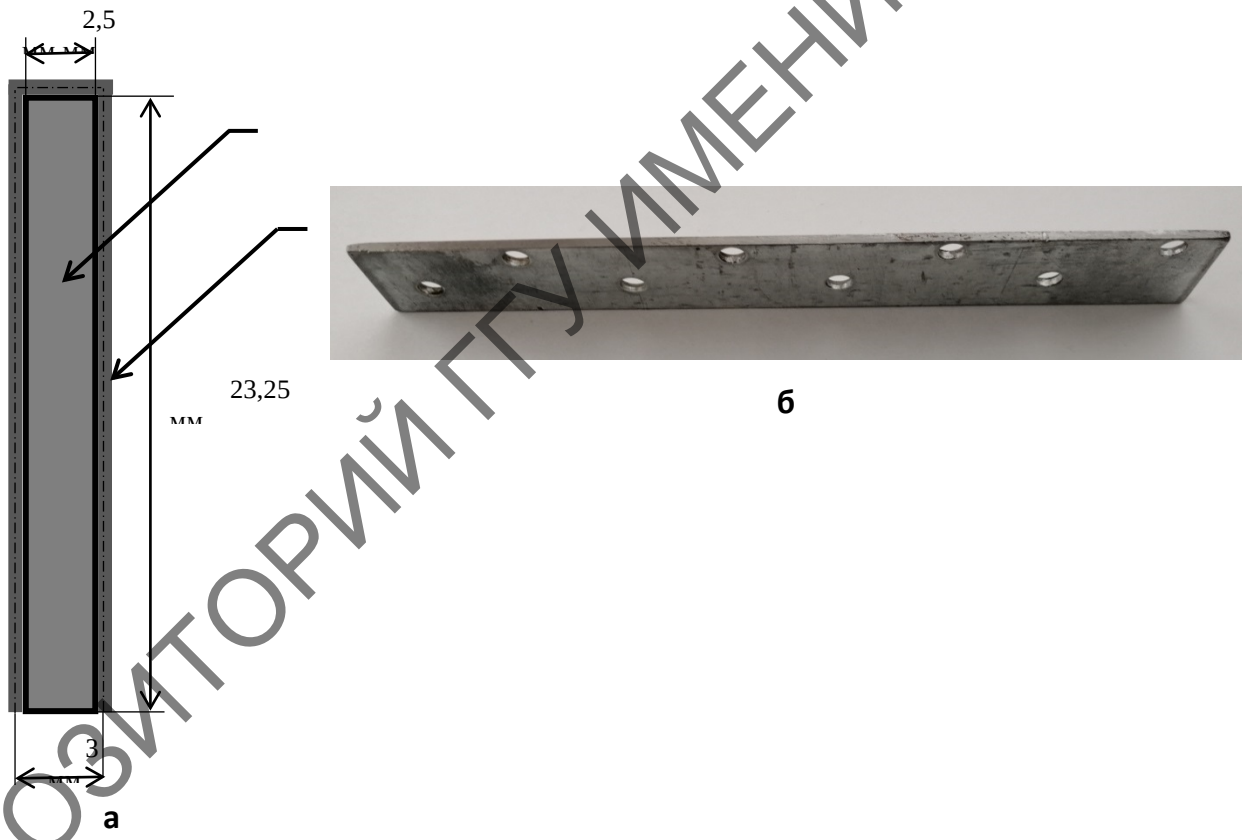
2. Лаврентьев, М.А. Методы теории функций комплексного переменного / М.А. Лавреньтьев, Б.В. Шабат. – М. : Физматлит, 1958. – 678 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. А. Гузовец, Д. В. Слепенков (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **И. В. Семченко,** д-р. физ.-мат. наук, профессор

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА НА ОСНОВЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОМЕГА-ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НИХРОМОВОЙ ПРОВОЛОКИ

В ходе проделанной работы создан образец метаматериала на основе прямоугольных омега-элементов из нихромовой проволоки диаметром 0,5 мм, которая изгибается по контуру заранее изготовленного шаблона (рисунок 1(а,б)), при этом осевая длина проволоки соответствует условию полуволнового резонанса и все размеры элемента (рисунок 1(а)) соответствуют теоретически найденным сбалансированным параметрам.



1– сечение шаблона, 2– сечение проволоки
Рисунок 1 – Чертеж (а) и фотография шаблона (б) для изготовления прямоугольных омега-элементов с рассчитанными параметрами

Для создания экспериментального образца было изготовлено 1024 прямоугольных омега-элемента с рассчитанными параметрами (рисунок 2).

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Рисунок 2 – Фотография изготовленного прямоугольного омега-элемента с рассчитанными параметрами

Для изготовления образца двумерной решётки за основу был взят пеноплекс, так как он обладает всеми необходимыми требованиями, в первую очередь, радиопрозрачностью, легкостью, прочностью и доступностью. Лист пенопласта размером 0,5 х 0,5 м и толщиной 20 мм расчерчен в соответствии с схемой расстановки прямоугольных омега-элементов (рисунок 3), где отрезками показаны бороздки в слое пенополистирола, в которые вставлялись элементы. Сплошные отрезки показывают элементы, которые расположены концами вниз, а штриховые отрезки – концами вверх. Бороздки наносились тонким лезвием. Расстояние между отрезками соответствует межэлементному расстоянию *s* и периоду решетки p, которые были получены в результате моделирования метаматериала.

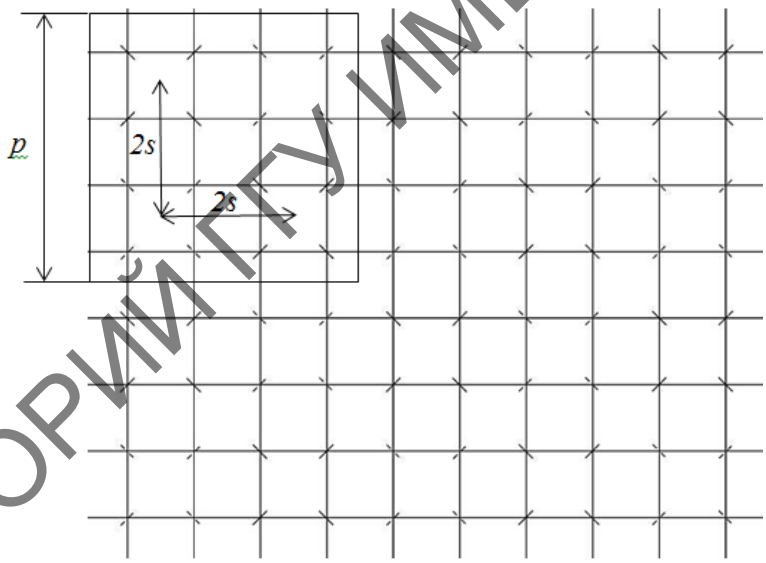


Рисунок 3 – Схема расстановки прямоугольных омега-резонаторов в образце

Схема расстановки прямоугольных омега-резонаторов в образце была распечатана на плоттере и закреплена на листе пенополистирола. Канцелярским ножом делались надрезы по отрезкам в бумаге. В надрезы вставлялись прямоугольные омега-резонаторы. Фотография изготовленного экспериментального образца метаматериала на основе сбалансированных омега-резонаторов показана на рисунке 4.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

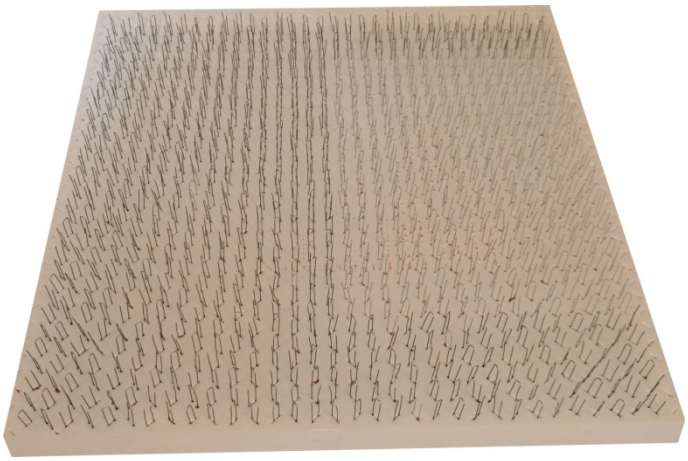
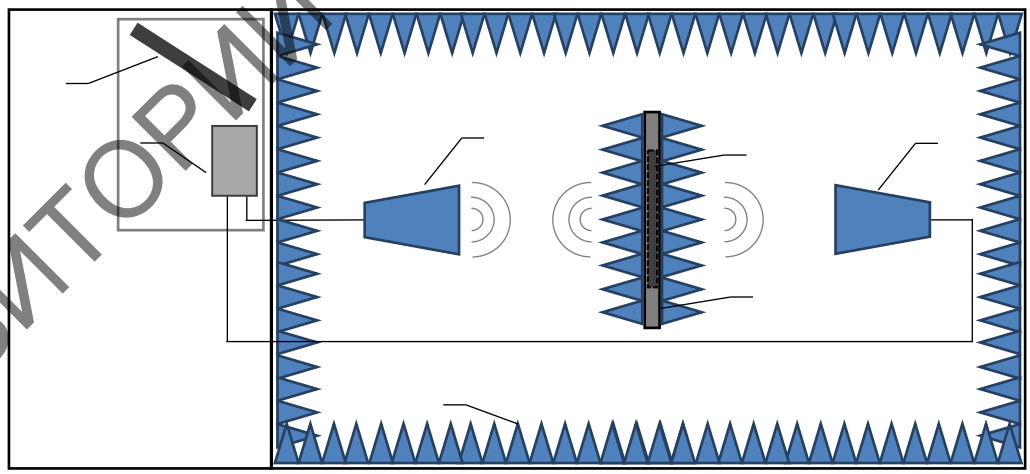


Рисунок 4 – Фотографии изготовленного экспериментального образца метаматериала

Экспериментальные исследования проведены в безэховой камере. Безэховая камера представляет собой помещение, облицованное изнутри радиопоглощающим материалом (ТОРА) с целью уменьшения отражения от стен и обеспечения в некотором объёме камеры – безэховой зоне – заданного малого уровня отражений, то есть условий, приближающихся к условиям «свободного пространства». Стенки безэховой камеры с высокой эффективностью экранирования от магнитных и электрических полей выполнены из железосодержащего сплава. Тонкий стальной экран позволяет гасить магнитное поле на 60 дБ.

Схема проведения эксперимента и безэховой камеры показана на рисунке 5.



1, 2 – передающая и приемная антенны П6-23А; 3 – экспериментальный образец, 4 – защитный экран, покрытый поглотителем с окошком для закрепления экспериментального образца, 5 – векторный анализатор цепей АКИП-6602, 6 – ЭВМ для получения и обработки сигнала с векторного анализатора, 7 – безэховая камера, 8 – поглотитель электромагнитных волн «ТОРА»

Рисунок 5 − Схема проведения эксперимента в безэховой камере

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В работе в качестве излучающей и приемной антенны используется широкополосная измерительная антенна П6-23А, которая представляет собой рупорно-линзовую антенну со стандартным коаксиальным соединителем. Использовался векторный анализатор электрических цепей, который предназначен для измерения характеристики прохождения сигнала через тестируемое устройство и характеристики отражения сигналов от его портов. Эти характеристики называются S-параметрами.

Измерения проводились при нормальном падении электромагнитной волны на образец метаматериала в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц. В этих диапазонах проведены измерения параметров S11, S21, S12, S22 с образцом, без образца и с металлическим листом.

Результат измерения приведен в виде графика частотной зависимости коэффициентов отражения, прохождения и поглощения по амплитуде изображен на рисунке 6.

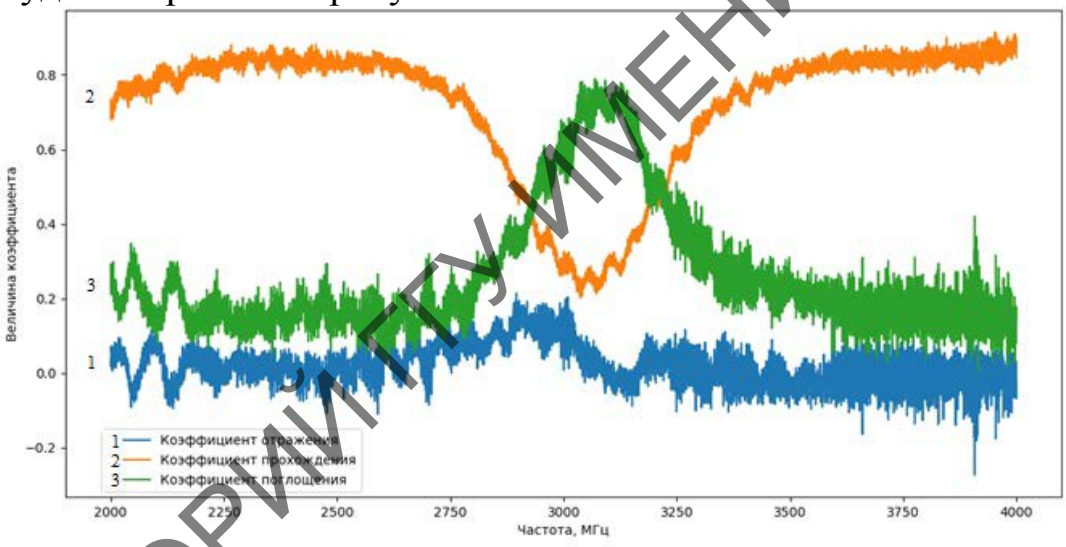


Рисунок 6–График частотной зависимости коэффициентов отражения, прохождения и поглощения по амплитуде

Из графика следует, что изготовленный экспериментальный образец проявляет высокие поглощающие свойства вблизи резонансной частоты. Теоретический расчет был проведён для 3 ГГц, при проведении эксперимента резонансные свойства проявились при 3,067 ГГц. Это можно объяснить погрешностью при изготовлении образца вручную. При этом исследованный образец демонстрирует коэффициент отражения, близкий к нулю не только вблизи резонансной частоты, но и в достаточно широком частотном диапазоне. Такое свойство позволяет называть разработанный метаматериал «прозрачным» вне полосы поглощения.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Литература

1. Семченко, И.В. Электромагнитные волны в метаматериалах и спиральных структурах / И.В. Семченко, С.А. Хахомов. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 279 с.

А. А. Гузовец (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **И. В. Семченко,** д-р. физ.-мат. наук, профессор

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ «ИДЕАЛЬНОГО» ДВУСТОРОННЕГО ПОГЛОТИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОМЕГА-ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НИХРОМОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Для изготовления образца двумерной решётки за основу был взят лист пенопласта размером 0,5 х 0,5 м и толщиной 20 мм. Фотография изготовленного экспериментального образца метаматериала показана на рисунке 1.

Рисунок 1 – Фотографии изготовленного экспериментального образца метаматериала

Экспериментальные исследования проведены в безэховой камере. Безэховая камера представляет собой помещение, облицованное изнутри радиопоглощающим материалом (ТОРА) с целью уменьшения отражения от стен. Поглотитель электромагнитных волн «ТОРА» (рисунок 2) обеспечивает проведение высокоточных измерений характеристик антенной техники и испытаний радиоэлектронной аппаратуры на электромагнитную совместимость.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

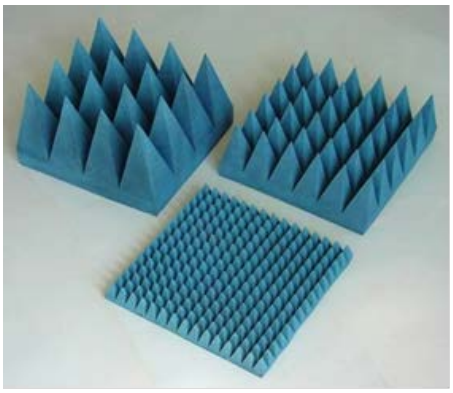


Рисунок 2 – Пирамидальные поглотители «ТОРА»

Для описание контуров спектральных линий может быть использовано распределение Лоренца. Контур спектральной линии определяется механизмом уширения (рисунок 3).

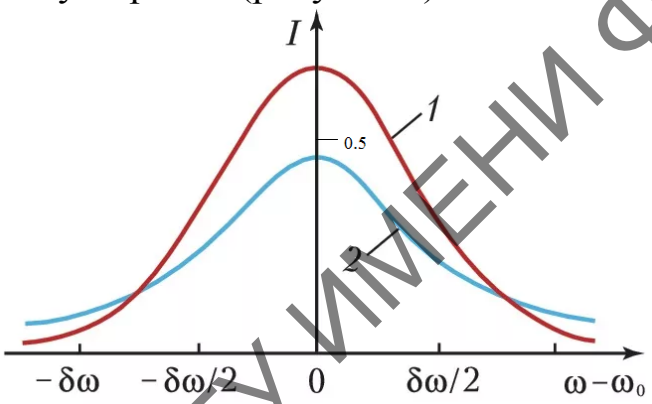


Рисунок 3 – Нормированные на единицу гауссов (1) и лоренцевский (2) контур спектральных линий с одинаковыми ширинами dω.

Спектральные линии в дискретных спектрах испускания или поглощения не являются строго монохроматичными, они всегда обладают естественной шириной. Взаимодействия атомов между собой и с внешними полями приводят к дальнейшему уширению спектральных линий. Распределение интенсивности излучения I(ω), где ω - круговая частота излучения, рассматривается в пределах ширины спектральной линии $\delta\omega = \omega_2 - \omega_1$, где частоты ω_1 и ω_2 определяются условием: $I(\omega_1) = I(\omega_2) = \frac{1}{2} I_{макс}(\omega)$, где $I_{макс}(\omega)$ – это максимальное значение интенсивности линии.

При ударном и радиационном уширениях получается лоренцевский контур спектральной линии, который имеет вид:

$$g(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{(\omega - \omega_0 - \Delta)^2 - \Gamma^2/4}$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

где $\delta\omega = \Gamma$, частота ω_0 соответствует максимальной интенсивности линии, а Δ – сопровождающий уширение сдвиг линии [1].

С помощью программы Wolfram Mathematic подобраны модели для описания частотной зависимости коэффициентов отражения, прохождения, поглощения по амплитуде и мощности.

Для электромагнитных моделей лучше использовать распределение Лоренца. Для проведения сравнительного анализа полученных экспериментальных и теоретических результатов проводилась аппроксимация экспериментальных данных методом наименьших квадратов с целью нахождения функциональных зависимостей, с наилучшим приближением описывающих полученные экспериментальные зависимости.

На рисунках 4 и 5 сплошной линией показаны аппроксимирующие кривые, построенные по экспериментальным значениям, для коэффициентов отражения (красная линия), прохождения (синяя линия) и поглощения (черная линия). Штриховой линией показаны математические модели, построенные с помощью распределения Лоренца, с наилучшим приближением описывающие частотную зависимость коэффициентов отражения (красная линия), прохождения (синяя линия) и поглощения (чёрная линия).

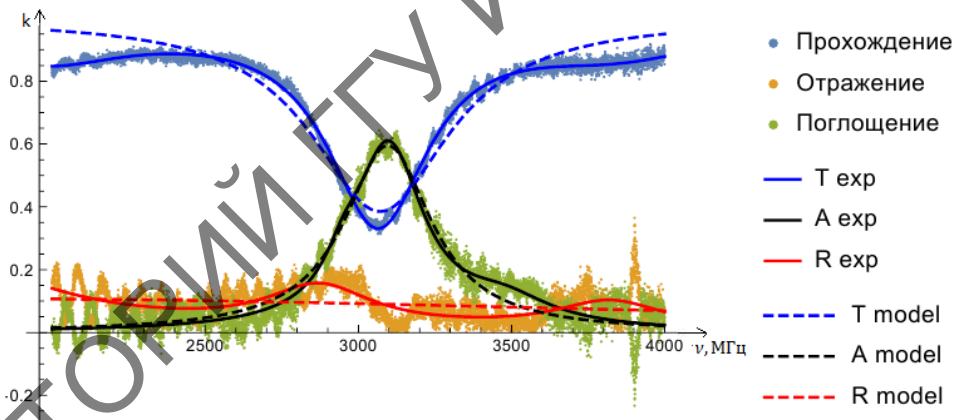


Рисунок 4 – Аппроксимирующие кривые и математическая модель, построенные по экспериментальным графикам частотной зависимости для коэффициентов отражения, прохождения и поглощения по амплитуде

Из экспериментальных графиков на рисунке 4 видно, что коэффициент поглощения (для амплитуды волны) достигает максимального значения 64,4% на частоте 3,068 ГГц, при этом коэффициент отражения не превышает 15% в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц. Из графиков на рисунке 5 видно, что коэффициент поглощения (для мощности волны) достигает максимального значения 87 % на частоте 3,068 ГГц,

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

при этом коэффициент отражения не превышает 5 % в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц.

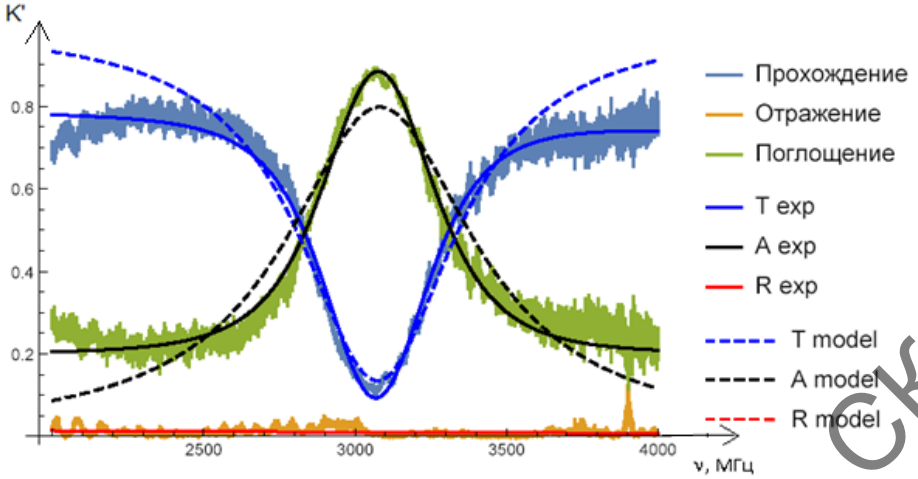


Рисунок 5 – Аппроксимирующие кривые и математическая модель, построенные по экспериментальным графикам частотной зависимости для коэффициентов отражения, прохождения и поглощения по мощности

Результаты экспериментальных исследований частотной зависимости для коэффициентов отражения, прохождения и поглощения образца «идеального» двустороннего поглотителя в высокой степени соответствуют теоретическим результатам.

Литература

1. Энциклопедия физики и техники [Электронный ресурс] / Контур спектральных линий. Режим доступа: http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1743.html. - Дата доступа: 06.03.2020.

2. Семченко, И.В. Электромагнитные волны в метаматериалах и спиральных структурах / И.В. Семченко, С.А. Хахомов. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 279 с.

Д. А. Давидовский (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **В.И. Токочаков**, канд. техн. наук, доцент

СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ УЗЛОВ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В электрической системе должно поддерживаться устойчивое равновесие в производстве и потреблении активной и реактивной мощности.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

При коротких замыканиях, отключениях мощных агрегатов и внезапных изменениях мощности нагрузок в системе это равновесие нарушается. Результирующие переходные процессы могут привести к значительному увеличению углов между электродвижущей силой (ЭДС) работающих генераторов и напряжением сети, а также к резкому изменению напряжения в основных узлах системы. В результате отдельные генераторы и целые электростанции могут выйти из синхронного режима работы. Восстановление нормального режима работы системы в таких случаях связано с длительным отключением электроэнергии для большинства потребителей.

Динамическая и статическая устойчивости являются важнейшими условиями надежности системы, обеспечивающей бесперебойное энергоснабжение потребителей электроэнергией требуемого качества.

Статическая устойчивость – это способность системы самопроизвольно восстанавливать свой первоначальный режим после небольшого или медленно меняющегося во времени возмущения. Переходные процессы, возникающие во время этого процесса, быстро затухают, и баланс в системе поддерживается действием регуляторов параметров, работающих в пределах установок.

Часть системы электроснабжения, непосредственно снабжающая электрической энергией потребителей, называется системой электроснабжения (для расчета устойчивости – узлом нагрузки). Она содержит питающие и распределительные сети, трансформаторы, компенсирующие устройства и электроприемники. Установившиеся режимы и переходные процессы должны удовлетворять общим требованиям, сформулированным в отношении системы в целом.

Статическая устойчивость узла нагрузки системы проверяется по практическим критериям: изменению эквивалентной ЭДС в зависимости от напряжения $dE_э/dU > 0$; изменению реактивной мощности в зависимости от эквивалентной ЭДС $dQ_э/dE_э > 0$.

Для этого строят зависимости ЭДС в функции напряжения на шинах нагрузки U, т.е. $E_э = f(U)$, а также зависимость предоставляемой электроэнергетической системой реактивной мощности $Q_э$ в функции ЭДС $E_э$, т.е. $Q_э = f(E_э)$. Указанные зависимости строятся с использованием компьютеров.

В точке включения нагрузки состояние равновесия характеризуется изменяющимися параметрами режима U, $P_Н = f(U)$, $Q_Н = f(U)$. В этом случае определяющей переменной является напряжение U в узле подключения нагрузки, которое отражает состояние всех элементов системы. Изменение всех переменных параметров режима можно за-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

фиксировать по показателям режима – эквивалентной ЭДС $E_э$ и реактивной мощности $Q_Н$, по которым судят о статической устойчивости узла нагрузки.

Зависимость графически анализируется

$$E_э = \sqrt{\left(U_Н + \frac{Q_Н X_{ВН}}{U_Н}\right)^2 + \left(\frac{P_Н X_{ВН}}{U_Н}\right)^2}. \quad (1)$$

С утяжелением режима по переменной напряжения в узле U кривая $E_э = f(U)$ имеет минимум при $dE_э/dU = 0$ с координатами, соответствующими критическому режиму $E_{кр}$ и $U_{кр}$ (рисунок 1).

Критерий статической устойчивости (критерий Жданова) имеет вид $dE_э/dU > 0$.

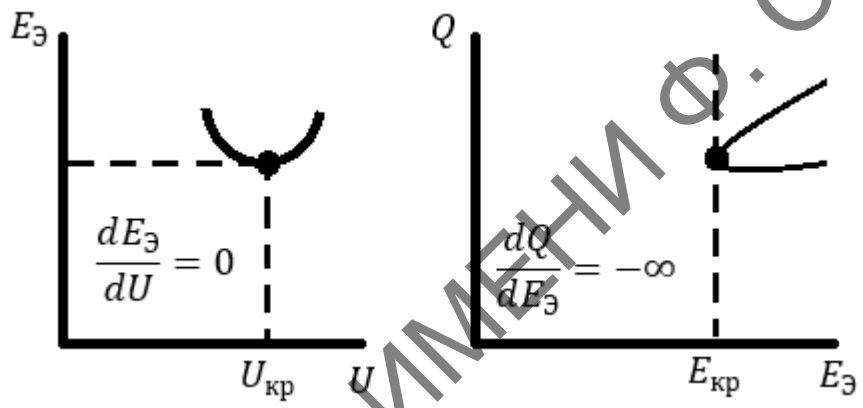


Рисунок 1 – Графическое представление критерия предела устойчивости

Коэффициенты запаса по напряжению и эквивалентной ЭДС определяются по формулам

$$K_з^U = \frac{U_{ном} - U_{кр}}{U_{ном}} 100\%, \quad (2)$$

$$K_з^E = \frac{E_0 - E_{кр}}{E_0} 100\%, \quad (3)$$

где $U_{кр}$, $E_{кр}$ – параметры напряжения и эквивалентной ЭДС критического режима.

При выполнении расчетов, связанных с сильными падениями напряжения в узлах нагрузки, следует иметь в виду, что по ряду причин падения напряжения могут привести к самоотключению потребителей. Сброс нагрузки промышленных предприятий может достигать, согласно экспериментальным данным, 50 % [1]. Следовательно, при выполнении расчетов для действующих энергосистем необходимо при падении напряжения на шинах потребителей примерно до 0,7 $U_{ном}$ и ниже учитывать самоотключения, для чего необходимо уменьшать величину нагрузки двигателя на 20–30 %.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

На основании этих расчетов, при необходимости, следует выбирать мероприятия, улучшающие устойчивость нагрузки: регулирование возбуждения синхронных машин, а также отключение части неответственной нагрузки при падении напряжения в узлах.

Если эти мероприятия не решают задачи, то может быть поставлен вопрос об улучшении характеристик комплексной нагрузки (замена части асинхронных двигателей синхронными), а также параметров внешней сети (увеличение мощности питающих трансформаторов, строительство новых линии электропередач в распределительных сетях и т.д.).

Литература

1. Крючков И.П. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов / И.П. Крючков [и др.]; под ред. И.П. Крючкова. – М.: МЭИ, 2009. – 416 с.

2. Астахов Ю.Н. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях: учебное пособие для вузов / Ю.Н. Астахов [и др.]; под ред. В.А. Веникова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 504 с.

3. Калентионок, Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем /Е.В. Калентионок. – Минск: Техноперспектива, 2008. – 375 с.

Р. Ю. Доломанюк (БелГУТ, Гомель)
Науч. рук. **А. А. Васильев,** канд. техн. наук, доцент

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРРОЗИЙНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ АТМОСФЕРЫ

Эксплуатация мостов, в том виде, как это происходит сегодня, приводит к уменьшению срока их службы, снижению надежности, повышению рисков.

Возникает необходимость нового подхода для устранения приведенных недостатков. Методической основой эксплуатационной системы должны стать новейшие научные разработки автоматизированной оценки и прогноза технического состояния мостов, которые находятся в эксплуатации.

Большую роль в надежности эксплуатации и долговечности пролетного строения играют разнообразные технологические и физические факторы – состав бетона, режимы твердения, качество работ по

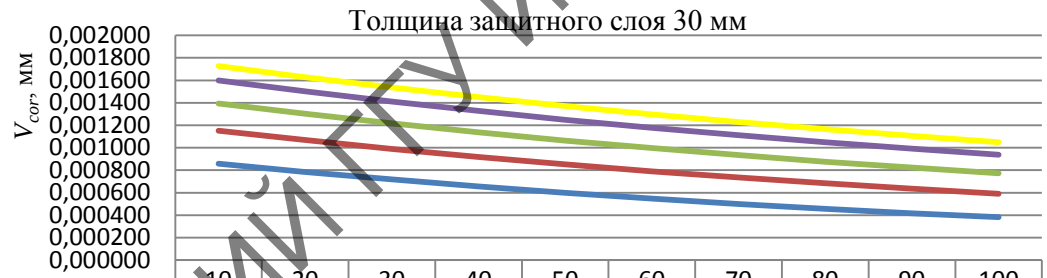
РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

укладки и уплотнению, различные характеристики используемой арматуры. От этих факторов зависят свойства бетона (плотность, морозостойкость, трещиностойкость, величина деформаций усадки и т.д.), а в итоге способность конструкции противостоять климатическим воздействиям. В следствии чего, ускорение времени наступления опасного повреждения стальной арматуры в бетоне пролетных строений, влияющая на прочность и долговечность элементов конструкции моста. [1-10]

В связи с этим возникла задача определения значений скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона, класса по прочности на сжатие $C^{18}_{/22,5}$, $C^{22}_{/27,5}$, $C^{28}/_{35}$, $C^{30}/_{37}$, и определяемой по экспоненциальной зависимости от времени Рисунок 1 [2, стр 133], с граничным значением ширины раскрытия трещин до 1 мм.

При толщине защитного слоя более 35 мм, скорость коррозии совершенно мала и стремится к нулю. Значение принимает вид равный 0,0001 мм/год.

В соответствии с полученным выражением, используя различные эксплуатационные условия [11-14], а также скорости коррозии арматуры рисунок 2 построена зависимость глубины коррозии арматуры от защитного слоя бетона.

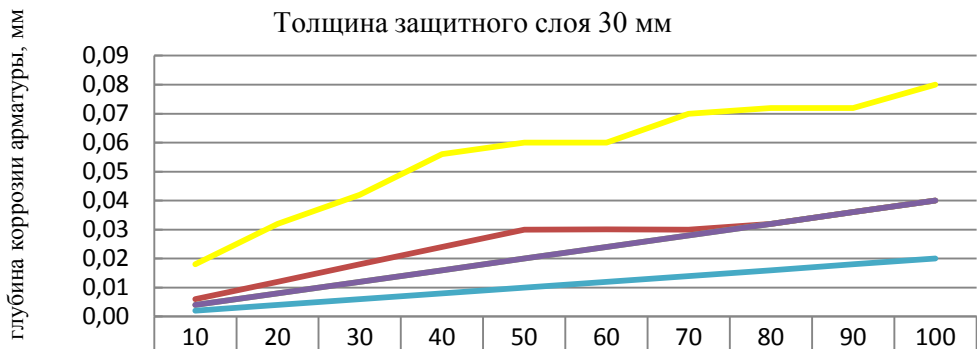


	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C30/37	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
C28/35	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
C25/30	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
C22/27,5	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
C18/22,5	0,0008	0,0007	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003

Рисунок 1 – Регрессионная зависимость средней скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона для области ускоренной карбонизации

В качестве примера на рисунке 3 представлена регрессионная зависимость во времени критического повреждения стальной арматуры для бетонов классов по прочности С18/22,5, – С30/37. Рассчитаны зависимости для толщин защитного слоя до 50 мм.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ



	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C18/22,5	0,018	0,032	0,042	0,056	0,060	0,060	0,070	0,072	0,072	0,080
C22/27,5	0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,030	0,030	0,032	0,036	0,040
C25/30	0,004	0,008	0,012	0,016	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,040
C28/35	0,004	0,008	0,012	0,016	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,040
C30/37	0,002	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020

Рисунок 2 – Регрессионная зависимость глубины коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона для области ускоренной карбонизации

Полученные зависимости позволяют прогнозировать время наступления критических повреждений стальной арматуры различных диаметров в железобетонных элементах из бетонов различных классов по прочности, эксплуатирующийся при разных атмосферных условиях в зависимости от толщины защитного слоя. [15-17]

Литература

1. Мосты и трубы Строительные нормы проектирования = Масты і трубы Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-3.03-232-2018. – Введ. 1.03.19 – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2019. – 162 с.

2. Васильев, А.А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

3. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях : монография: В 2 ч. Ч. 2 / С. Н. Леонович [и др.], под ред. С. Н. Леоновича. – Минск: БНТУ, 2016.– 204 с. – ISBN 978-985-550-925-8 (Ч. 2).

4. Takewaka, K. Quality and Cover Thickness of Concrete based on the Estimation of Chloride Penetration in Marine Environments [Текст]: ACI SP 109-17 / K. Takewaka, S. Mastumoto. – American Concrete Institute, 1988. – P. 381-400.

5. Васильев, А.А. Доломанюк, Р.Ю. Дашкевич, С.В. Модель прогнозирования долговечности железобетонных пролетных строений

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

мостов / А.А. Васильев, Р.Ю. Доломанюк, С.В. Дашкевич // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2018. –№ 1(36). – С. 121-123.

6. Бабицкий, В.В. Прогнозирование степени гидратации цемента с химическими добавками // Материалы, технологии, инструмент. – 2005. - №1.- с.76-79.

7. Papadakis, V. G. Effect of composition, Enviromental Factors and Cement-line Mortan Coating on Concrete Carbonation / Papadakis V.G., Fardis M.N., Vayenas G.G. // Materials and Structures, Vol. 25. – 1992.

8. Dura Crete: Brite EuRam III Project BE95-1347, Report R8, Compliance Testing for Probabilistic Design Purposes, 1999.

9. Бородай, Д. І. До оцінки ресурсу залізобетонних елементів мостів на стадії проектування / Д. І. Бородай // Автомобільні дороги і дорожнэ будівництво. – 2010. – Вип. 79. – С. 101-112.

10. Карапетов Э.С., Шестовицкий Д.А. Прогноз срока службы железобетонных мостов на основе модели процесса карбонизации защитного слоя / Э.С. Карапетов, Д.А. Шестовицкий // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – том 13, № 1(46). – С. 14-23.

11. Васильев, А.И. Оценка коррозийного износа рабочей арматуры в балках пролетных строений автодорожных мостов / А.И. Васильев // Бетон и железобетон. – 2000. – №2. – С. 20-23.

12. Васильев, А.И. прогноз коррозии арматуры железобетонных мостовых конструкций при карбонизации защитного слоя / А.И. Васильев, А.С. Бейвель, А.М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 2001. –№5. – С. 25-27.

13. Бородай, Д. І. До оцінки ресурсу залізобетонних елементів мостів на стадії проектування / Д. І. Бородай // Автомобільні дороги і дорожнэ будівництво. – 2010. – Вип. 79. – С. 101-112.

14. Алмазов, В.О. Учет климатических воздействий при проектировании и прогнозе долговечности железобетонных пролетных строений / Автомобильные дороги: информ. сб. / Информавтодор. – М., 1997. – вып. 11, с. 18-28.

15. Васильев, А.И. Оценка коррозийного износа рабочей арматуры в балках пролетных строений автодорожных мостов / А.И. Васильев // Бетон и железобетон. – 2000. – №2. – С. 20-23.

16. Бабицкий В.В., Семенюк С.Д. Элементы прогнозирования коррозийного состояния стальной арматуры железобетона. Ресурсо сберегающие материалы, конструкции, здания и сооружения / Сборник научных работ. Ровно. – 2014. – Выпуск № 28. – с. 112-120.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

17. Васильев, А.И. прогноз коррозии арматуры железобетонных мостовых конструкций при карбонизации защитного слоя / А.И. Васильев, А.С. Бейвель, А.М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 2001. –№5. – С. 25-27.

М. В. Евреинова (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **В. Ю. Гавриш,** ст. преподаватель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Введение. Изучение физических свойств элементарных частиц связано с моделированием их движения. Особое практическое значение подобные исследования имеют для ускорителей, в которых движения частиц проходит во внешних электрических и магнитных полях.

Целью данной является моделирование движение частиц во внешнем электромагнитном поле без учета квантово-механических эффектов.

Движение частицы в электромагнитном поле. Моделирование движения частицы заряда q массы m проведем в электромагнитном поле с компонентами

$$\vec{E} = \{0, E_y, E_z\}, \quad \vec{H} = \{0, 0, H_z\} \tag{1}$$

(такой выбор направления полей обусловлен дальнейшим решением поставленной задачи). В таком случае уравнения движения частицы

$$m\dot{\vec{v}} = e\vec{E} + \frac{q}{c}[\vec{v}\vec{H}] \tag{2}$$

запишутся в виде [1]:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{q}{c}\dot{y}H_z, \\ m\ddot{y} &= qE_y - \frac{q}{c}x\dot{H}_z, \\ m\ddot{z} &= qE_z. \end{aligned} \tag{3}$$

Из последнего уравнения системы (3) посредством интегрирования нетрудно получить, что

$$z(t) = \frac{qE_z}{2m}t^2 + v_{0z}t, \tag{4}$$

т.е. вдоль оси OZ частица движется равноускорено.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Решение оставшихся уравнений системы (3) проведём умножением на i с последующим сложением:

$$\ddot{x}+i\ddot{y}=\frac{q}{c}\dot{y}H_z+iqE_y-i\frac{q}{c}\dot{x}H_z, \tag{5}$$

или

$$(\ddot{x}+i\ddot{y})+i\omega(\dot{x}+i\dot{y})=i\frac{q}{m}E_y, \tag{6}$$

где $\omega=qH/mc$. Решение уравнения (6) будем искать как сумму решений с правой частью и без неё. После некоторых вычислений из уравнения (6) получаем, что

$$\dot{x}+i\dot{y}=a\,e^{i\omega t}+\frac{cE_y}{H_z}, \tag{7}$$

где a – некоторая комплексная неизвестная.

Отделяя действительную и мнимую часть уравнения (7), получаем

$$\dot{x}=a\cos(\omega t)+c\frac{E_y}{H_z},\quad \dot{y}=-a\sin(\omega t) \tag{8}$$

или при условии, что $x(0)=y(0)=0$ из (8) получаем [2]:

$$x=\frac{a}{\omega}\sin(\omega t)+c\frac{E_y}{H_z}t,\quad y=\frac{a}{\omega}(\sin(\omega t)-1). \tag{9}$$

Анализ уравнений (9) показывает, что в зависимости от значения параметра a форма траектории частицы меняется; данную зависимость мы и исследуем.

Параметры моделирования. Подбирая параметр a так, чтобы

$$|a|>\frac{cE_y}{H_z}, \tag{10}$$

получаем следующую траекторию движения частицы заряда q и массы m:

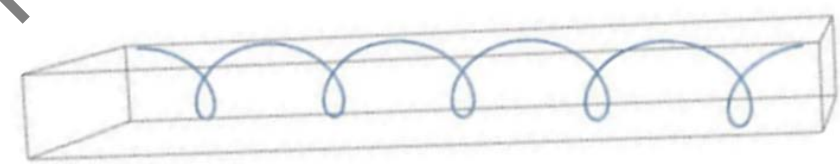


Рисунок 1 – Траектория движения частицы в случае $|a|>\frac{cE_y}{H_z}$

В случае

$$|a|<\frac{cE_y}{H_z} \tag{11}$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

получаем:

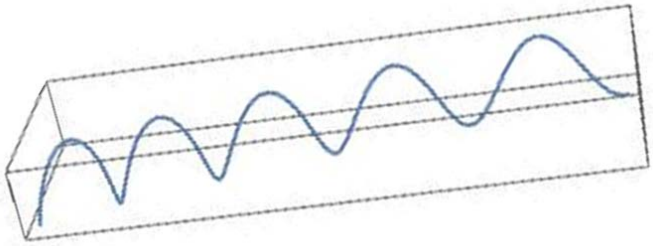


Рисунок 2 – Траектория движения частицы в случае $|a| < \dfrac{cE_y}{H_z}$

Заключение. Работа посвящена моделированию движения заряженных частиц во внешнем электромагнитном поле. В ходе работы продемонстрирована процедура решения уравнений движения с последующим моделированием движения при различных параметрах.

Литература

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учебное пособие для вузов в 10 томах: Т. 2. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Москва: Физматлит. – 2006. – 586 с.

2. Медведев, Б.В. Начала теоретической физики / Б.В. Медведев. – Москва: Наука. – 1977. – 496 с.

3. Савельев И.В. Основы теоретической физики: учебник: в 2 томах. Т. 1. Механика. Электродинамика / И.В. Савельев. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань». – 2005. – 430 с.

А. В. Ивашкевич

(Институт физики имени. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск)

Науч. рук. **В. М. Редьков**, д-р. физ.-мат. наук

ЦИЛИНДРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНЫЕ РЕШЕНИЯ СПИНОРНЫХ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА В СФЕРИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ РИМАНА

Выполним разделение переменных в спинорных уравнениях Максвелла в цилиндрических координатах $x^\alpha = (t, r, \phi, z)$, $r \in [0, +\pi/2]$, $\phi \in [-\pi, +\pi]$, $z \in [-\pi, +\pi]$ сферического пространства:

$$dS^2 = dt^2 - dr^2 - \sin^2 r\, d\phi^2 - \cos^2 r\, dz^2.$$

Тетрада и соответствующие коэффициенты вращения Риччи [1] такие (приводим только отличные от нуля коэффициенты Риччи)

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$e_{(\alpha)\beta}=\begin{vmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & -1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & -\sin r & 0\\ 0 & 0 & 0 & -\cos r\end{vmatrix},\quad \gamma_{122}=\frac{\cos r}{\sin r},\quad \gamma_{313}=\frac{\sin r}{\cos r}.$$

Спинорные уравнения Максвелла [1] ($\xi(x)$ – симметричный спинор 2 ранга; используем обозначения $\Sigma^{0j}=(1/2)\sigma^{j}, \Sigma^{12}=-(i/2)\sigma^{3}$ и т. д.)

$$\left[\sigma^{c}e^{\alpha}_{(c)}\partial_{\alpha}+\sigma^{c}(\frac{1}{2}\Sigma^{ab}\otimes I+I\otimes\frac{1}{2}\Sigma^{ab})\gamma_{abc}\right]\xi=0,$$

принимают вид (пусть $\Pi_2=\sigma^2\otimes I+I\otimes\sigma^2$ и $\Pi_3=\sigma^3\otimes I+I\otimes\sigma^3$)

$$\left[\partial_t+\sigma^1\partial_r-\frac{i\sigma^2\Pi_3}{2}\frac{\cos r}{\sin r}-\frac{i\sigma^3\Pi_2}{2}\frac{\sin r}{\cos r}+\frac{\sigma^2\partial_\phi}{\sin r}+\frac{\sigma^3\partial_z}{\cos r}\right]\xi=0.$$

Используем для спинора ξ подстановку

$$\xi(t,r,\phi,z)=e^{-i\omega t}e^{im\phi}e^{ikz}\begin{vmatrix}f(r) & h(r)\\ h(r) & g(r)\end{vmatrix}.$$

Получаем систему из 4 уравнений для 3 функций:

$$(\frac{d}{dr}+\frac{m}{\sin r}-\frac{\sin r}{\cos r})h+(-i\omega+\frac{ik}{\cos r})f=0,$$

$$(\frac{d}{dr}-\frac{m}{\sin r}-\frac{\sin r}{\cos r})h+(-i\omega-\frac{ik}{\cos r})g=0;$$

$$(\frac{d}{dr}+\frac{m}{\sin r}+\frac{\cos r}{\sin r}-\frac{1}{2}\frac{\sin r}{\cos r})g+\frac{1}{2}\frac{\sin r}{\cos r}f+(-i\omega+\frac{ik}{\cos r})h=0,$$

$$(\frac{d}{dr}-\frac{m}{\sin r}+\frac{\cos r}{\sin r}-\frac{1}{2}\frac{\sin r}{\cos r})f+\frac{1}{2}\frac{\sin r}{\cos r}g+(-i\omega-\frac{ik}{\cos r})h=0.$$

Складываем и вычитаем уравнения внутри каждой пары (при этом вводим новые переменные $F=f+g, G=f-g$), в результате получаем

$$\frac{ik}{\cos r}F-i\omega G+\frac{2m}{\sin r}h=0,$$

$$\frac{ik}{\cos r}G-i\omega F+2(\frac{d}{dr}-\frac{\sin r}{\cos r})h=0,$$

$$-\frac{2ik}{\cos r}h-\frac{m}{\sin r}F+(\frac{d}{dr}+\frac{\cos r}{\sin r}-\frac{\sin r}{\cos r})G=0,$$

$$2i\omega h+\frac{m}{\sin r}G-(\frac{d}{dr}+\frac{\cos r}{\sin r})F=0.$$

Из первого, второго и четвертого уравнений выражаем функции ωG, ωF, $2i\omega h$ и подставляем их в третье уравнение. В результате

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

приходим к тождеству $0 \equiv 0$. Следовательно, в предыдущей системе независимыми являются только 3 уравнения:

$$\frac{ik}{\cos r}F - i\omega G + \frac{2m}{\sin r}h = 0,$$

$$\frac{ik}{\cos r}G - i\omega F + 2(\frac{d}{dr} - \frac{\sin r}{\cos r})h = 0,$$

$$2i\omega h + \frac{m}{\sin r}G - (\frac{d}{dr} + \frac{\cos r}{\sin r})F = 0.$$

Выделим простые множители из двух функций $F = \sin^{-1} r\,\bar{F}, h = \cos^{-1} r\,\bar{h}$; дальше используем обозначение $2i\bar{h} = \bar{H}$. В результате система уравнений примет вид

$$\omega G = \frac{k\bar{F} - m\bar{H}}{\cos r \sin r},$$

$$\frac{\omega k}{\cos r}G - \frac{\omega^2}{\sin r}\bar{F} - \frac{\omega}{\cos r}\frac{d\bar{H}}{dr} = 0,$$

$$\omega^2 \frac{1}{\cos r}\bar{H} + \frac{\omega m}{\sin r}G - \frac{\omega}{\sin r}\frac{d\bar{F}}{dr} = 0.$$

С помощью первого уравнения исключаем ωG:

$$\frac{1}{\cos r}(\omega\frac{d}{dr} + \frac{km}{\cos r \sin r})\bar{H} + \frac{1}{\sin r}(\omega^2 - \frac{k^2}{\cos^2 r})\bar{F} = 0,$$

$$\frac{1}{\sin r}(\omega\frac{d}{dr} - \frac{km}{\sin r \cos r})\bar{F} + \frac{1}{\cos r}(-\omega^2 + \frac{m^2}{\sin^2 r})\bar{H} = 0.$$

Введем переменную $\sin r = \sqrt{z}$, $z \in [0, 1]$, тогда предыдущая система записывается так:

$$(2\omega\frac{d}{dz} + \frac{km}{z(1-z)})\bar{H} + \frac{\omega 2 - k^2 - \omega^2 z}{z(1-z)}\bar{F} = 0,$$

$$(2\omega\frac{d}{dz} - \frac{km}{z(1-z)})\bar{F} + \frac{m^2 - \omega^2 z}{z(1-z)}\bar{H} = 0.$$

Пользуясь методом исключения будем получать два дифференциальных уравнения 2-го порядка с 4-мя особыми точками: $\bar{H}$, $z = 0, 1, \infty, (1 - k^2/\omega^2)$, $\bar{F}$, $z = 0, 1, \infty, m^2/\omega^2$. Однако, есть возможность привести задачу к анализу уравнений только с тремя особыми точками, для этого в введем новые функции $\bar{H} = V + W$, $\bar{F} = V - W$, тогда складывая и вычитая уравнения предыдущей системы получим

$$\left(4\omega\frac{d}{dz} + \frac{\omega^2 - k^2 + m^2 - 2\omega^2 z}{z(1-z)}\right)V - \frac{\omega^2 - (k+m)^2}{z(1-z)}W = 0,$$

$$\left(4\omega\frac{d}{dz} - \frac{\omega^2 - k^2 + m^2 - 2\omega^2 z}{z(1-z)}\right)W + \frac{\omega^2 - (k-m)^2}{z(1-z)}V = 0.$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Отсюда находим уравнение для функции $W(z)$:

$$z(z-1)W''+(2z-1)W'+\left\{-\frac{\omega(\omega+2)}{4}-\frac{k^2}{4(z-1)}+\frac{m^2}{4z}\right\}W=0.$$

Существует простая симметрия между уравнениями: они переходят друг в друга в результате формальных замен $V \Longleftrightarrow W$, $\omega \Longleftrightarrow -\omega$, $m \Longleftrightarrow -m$. Следовательно, без каких-либо вычислений можем написать уравнение для функции $V(z)$:

$$z(z-1)V''+(2z-1)V'+\left\{-\frac{\omega(\omega-2)}{4}-\frac{k^2}{4(z-1)}+\frac{m^2}{4z}\right\}V=0.$$

Решения уравнений строятся в гипергеометрических функциях:

$$W=W_0\, z^{|m|/2}(z-1)^{|k|/2}F(\alpha,\beta,\gamma;z),$$

$$V=V_0\, z^{|m|/2}(z-1)^{|k|/2}F(\alpha+1,\beta-1,\gamma;z),$$

$$\alpha=-n,\ \beta=n+1+|m|+|k|,\ \gamma=|m|+1,$$

$$\omega=2n+|k|+|m|,\ \ n=0,1,2,\ldots.$$

Относительный коэффициент между множителями V_0 и W_0 может быть найден с использованием системы уравнений первого порядка.

Литература

1. Редьков, В.М. Поля частиц в римановом пространстве и группа Лоренца / В.М. Редьков. - Белорусская наука, Минск, 2009. 486 стр.

А. В. Ивашкевич
(Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск)
Науч. рук. **В. М. Редьков**, д-р. физ.-мат. наук

О РЕШЕНИЯХ СПИНОРНЫХ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА В ПРОСТРАНСТВЕ-ВРЕМЕНИ ШВАРЦШИЛЬДА

Будем исследовать спинорные уравнения Максвелла в метрике Шварцшильда [1]:

$$dS^2=\varphi dt^2-r^2(d\theta^2+\sin^2\theta d\phi^2)-\frac{dr^2}{\varphi},\quad \varphi=1-\frac{1}{r}.$$

Подстановка для симметричного спинора $\xi(x)$, соответствующего электромагнитному тензору $F_{\alpha,\beta}$, выбирается в виде [1] (для краткости индексы j, m в функциях Вигнера опускаются)

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$\xi = e^{-i\varepsilon t}\begin{vmatrix} f\,D_{-1} & h\,D_0 \\ h\,D_0 & g\,D_{+1} \end{vmatrix},\ D_\sigma = D^j_{-m,-\sigma}(\phi,\theta,0);\ \ j=1,2,3,...;\ m=-j,...,j;$$

здесь f,g,h – неизвестные радиальные функции. После разделения переменных получаем систему из 4 уравнений, где только 3 являются независимыми. Затем вводим новые переменные, и из двух функций выделяем простые множители:

$$F = f+g,\quad G = f-g,\quad F = \frac{1}{r\sqrt{\varphi}}\bar{F},\quad G = \frac{1}{r\sqrt{\varphi}}\bar{G}.$$

При этом система из трех уравнений эквивалентна следующей:

$$\left(\frac{d^2}{dr^2}+\frac{\varphi'}{\varphi}\frac{d}{dr}+\frac{\varepsilon^2}{\varphi^2}-\frac{j(j+1)}{r^2\varphi}\right)\bar{G}=0,\ \bar{F}=\frac{\varphi}{i\varepsilon}\frac{d}{dr}\bar{G},\ h=\frac{ia}{2\varepsilon}\frac{\sqrt{\varphi}}{r}G.$$

Основной функцией является $\bar{G}(r)$, остальные определяются через нее. Явный вид основного уравнения следующий:

$$\left(\frac{d^2}{dr^2}+\frac{1}{r(r-1)}\frac{d}{dr}+\frac{\varepsilon^2 r^2}{(r-1)^2}-\frac{j(j+1)}{r^2}\frac{r}{r-1}\right)\bar{G}=0;$$

здесь имеем три особые точки: $r=0,1$ – регулярные, точка $r=\infty$ – нерегулярная ранга 2; это класс функций Гойна. Уравнение становится понятнее, если использовать другую переменную:

$$r_* = r+\ln(r-1),\quad r\to\infty, r_*\to+\infty;\quad r\to 1+0, r_*\to-\infty,$$

$$\left(\frac{d^2}{dr_*^2}+\varepsilon^2-U(r_*)\right)\bar{G}=0,\qquad U(r_*)=\varepsilon^2-\frac{j(j+1)}{r^2}\varphi;$$

на бесконечностях эффективный потенциал стремится к нулю. Это означает, что здесь имеем задачу шреденгеровского вида с потенциалом барьерного типа, спадающего около радиуса Шварцшильда ($r\to 1, r_*\to-\infty$) и на бесконечности ($r\to\infty, r_*\to+\infty$) к нулю.

С точки зрения квантовой механики это означает, что электромагнитное поле с энергией квантов ниже высоты барьера может туннелировать и уходить на пространственную бесконечность; также возможен обратный процесс проникновения электро-магнитного поля с энергией ниже высоты барьера к черной дыре.

Обратимся к построению точных решений уравнения в виде

$$\bar{G} = r^c(r-1)^a e^{br}\ g(r).$$

Фактически на основе принятой подстановки исследуются 8 вариантов решений. Находим уравнение для функции $g(r)$:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$g''+\left(\frac{2c}{r}+\frac{2a}{r-1}+2b+\frac{1}{r(r-1)}\right)g'+\left[\frac{c(c-1)}{r^2}+\frac{a(a-1)}{(r-1)^2}+\frac{2ca}{r-1}-\right.$$

$$-\frac{2ca}{r}+\frac{2cb}{r}+\frac{2ab}{r-1}+b^2+\frac{c}{r-1}-\frac{c}{r^2}-\frac{c}{r}+\frac{a}{r}+\frac{a}{(r-1)^2}-$$

$$\left.-\frac{a}{r-1}+\frac{b}{r-1}-\frac{b}{r}+\varepsilon^2+\frac{2\varepsilon^2}{r-1}+\frac{\varepsilon^2}{(r-1)^2}+\frac{j(j+1)}{r}-\frac{j(j+1)}{r-1}\right]g=0.$$

Приравнивая коэффициенты при $(r-1)^{-2}$ и r^{-2} к нулю, получаем $a=\pm i\varepsilon; c=0,2;$ дополнительно требуем $b^2+\varepsilon^2=0\Rightarrow b=\pm i\varepsilon$. В результате уравнение упрощается:

$$g''+\left(\frac{2a+1}{r-1}+\frac{2c-1}{r}+2b\right)g'+\left[\frac{2ca+2ab+c-a+b-j(j+1)+2\varepsilon^2}{r-1}+\right.$$

$$\left.+\frac{-2ca+2cb-c+a-b+j(j+1)}{r}\right]g=0.$$

Математическая структура всех 8 вариантов этого уравнения одинаковая. Строим решения в виде степенных рядов. Удобно записать последнее уравнение коротко таким образом:

$$g''+(p+\frac{p_1}{r-1}+\frac{p_2}{r})g'+(\frac{q_1}{r-1}+\frac{q_2}{r})g=0.$$

Поскольку физический интерес представляет степенной ряд по переменной $x=r-1$, то преобразуем уравнение к этой переменной (штрих обозначает производную d/dx):

$$g''+(p+\frac{p_1}{x}+\frac{p_2}{x+1})g'+(\frac{q_1}{x}+\frac{q_2}{x+1})g=0.$$

Строим его решения в виде рядов: $g(x)=\sum_{k=0}^{\infty}c_k x^k$. После необходимых вычислений получаем 3-членные рекуррентные соотношения для коэффициентов ряда:

$$n=2,3,\ldots,\qquad [p(n-1)+q_1+q_2]c_{n-1}+$$

$$+[n(n-1)+(p+p_1+p_2)n+q_1]c_n+[(n+1)n+p_1(n+1)]c_{n+1}=0.$$

Возможные радиусы сходимости находим по методу Пуанкаре – Перрона. Для этого делим общее рекуррентное соотношение на n^2c_{n-1}

$$\frac{1}{n^2}[p(n-1)+q_1+q_2]+\frac{1}{n^2}[n(n-1)+(p+p_1+p_2)n+q_1]\frac{c_n}{c_{n-1}}+$$

$$+\frac{1}{n^2}[(n+1)n+p_1(n+1)]\frac{c_{n+1}}{c_n}\frac{c_n}{c_{n-1}}=0$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

и устремляем $n \to \infty$. В результате находим простое уравнение для величины, определяющей возможные радиусы сходимости:

$$R = \lim_{n\to\infty} \frac{c_n}{c_{n-1}} = R, \quad R + R^2 = 0 \Rightarrow R_{conv} = \frac{1}{|R|} = 1, \infty .$$

Напоминаем, что полная функция строится в виде

$$\bar{G}(r) = r^c (r-1)^a e^{br} g(r) \quad \Rightarrow \quad \bar{G}(x) = (1+x)^c x^a e^{b(1+x)} g(x);$$

$$c = 0, 2; \quad a = -i\varepsilon, +i\varepsilon; \quad b = -i\varepsilon, +i\varepsilon; \quad x \in (0, +\infty).$$

Ниже перечислены 8 вариантов (они разбиты в пары комплексно сопряженных, и значит, линейно независимых решений):

$$c = 0, \quad a = +i\varepsilon, \quad b = +i\varepsilon, \quad \bar{G}_1 = x^{+i\varepsilon} e^{+i\varepsilon(1+x)} g_1(x),$$

$$c = 0, \quad a = -i\varepsilon, \quad b = -i\varepsilon, \quad \bar{G}_1^* = x^{-i\varepsilon} e^{-i\varepsilon(1+x)} g_1^*(x);$$

$$c = 0, \quad a = +i\varepsilon, \quad b = -i\varepsilon, \quad \bar{G}_2 = x^{+i\varepsilon} e^{-i\varepsilon(1+x)} g_2(x),$$

$$c = 0, \quad a = -i\varepsilon, \quad b = +i\varepsilon, \quad \bar{G}_2^* = x^{-i\varepsilon} e^{+i\varepsilon(1+x)} g_2^*(x);$$

$$c = 2, \quad a = +i\varepsilon, \quad b = +i\varepsilon, \quad \bar{G}_3 = (1+x)^2 x^{+i\varepsilon} e^{+i\varepsilon(1+x)} g_3(x),$$

$$c = 2, \quad a = +i\varepsilon, \quad b = -i\varepsilon, \quad \bar{G}_4 = (1+x)^2 x^{+i\varepsilon} e^{-i\varepsilon(1+x)} g_4(x);$$

$$c = 2, \quad a = -i\varepsilon, \quad b = +i\varepsilon, \quad \bar{G}_4^* = (1+x)^2 x^{-i\varepsilon} e^{+i\varepsilon(1+x)} g_4^*(x),$$

$$c = 2, \quad a = -i\varepsilon, \quad b = -i\varepsilon, \quad \bar{G}_3^* = (1+x)^2 x^{-i\varepsilon} e^{-i\varepsilon(1+x)} g_x^3(x).$$

Литература

1. Редьков, В.М. Тетрадный формализм, сферическая симметрия и базис Шредингера / В.М. Редьков. – Белорусская наука: Минск, 2011. – 339 с.

Е. В. Каленчак (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **А. В. Чураков**, канд. мед. наук, доцент

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ МАГНИТНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕКАРСТВ

Цель технологии таргентной доставки лекарств через сеть сосудов различного диаметра обеспечить в месте поражения необходимую концентрацию препарата, связанного с магнитными наночастицами, которыми управляют при помощи внешних магнитных полей.

Магнитные наночастицы отлично подходят для различных применений благодаря следующим особенностям: они являются нетоксичными и хорошо воспринимаются живыми организмами; могут быть

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

требуемого размерах; возможно воздействовать магнитными полями для адресной доставки.

Далее рассмотрим, какие именно силы воздействуют на частицу в кровеносном русле.

Наиболее детально действие магнитных полей при моделировании транспорта рассматривают и описывают в своих исследованиях Furlani E. J. и Furlani E. P.

Для возможности прогнозирования магнитной силы требуется создать модель магнитного поведения частицы носителя [1]. Для этого предполагаем, что в частицу носителя встроено N-ое количество одинаковых невзаимодействующих магнитных наночастиц. Каждая из этих частиц магнитная частица имеет радиус и объем. Для возможности предсказать силу, действующую на магнитную частицу, частицу заменяют «эквивалентным» точечным диполем, который расположен в ее центре [2]. Таким образом, сила зависит от величины магнитного поля в месте расположения диполя. Также важно магнитное поле магнита, которое будет зависеть, в том числе и от формы магнита. Достаточно подробно этот момент рассматривается в работе [3].

Для упрощенного описания силы, с которой кровь действует на магнитные частицы, считают, что сосуд имеет цилиндрическую форму, в котором наблюдается ламинарный поток, параллельный оси. Для более точных расчетов требуется также учитывать диаметр сосуда, его проницаемость, а также форму и пористость частицы-носителя.

Важно отметить, что в небольших сосудах, чей диаметр составляет менее 500 мкм, кажущаяся вязкость крови значительно уменьшается. Это эффект продолжат наблюдаться до диаметра приблизительно 10 мкм. Это явление принято называть эффектом Фарсеуса-Линдквиста в честь первооткрывателей. Уменьшение кажущейся вязкости крови происходит главным образом из-за вращения и смещения деформируемых клеток (в основном красных кровяных клеток) в направлении оси трубки, так что возле стенки образуется обедненная клетками область (в основном, плазма). Влияние обедненной клетками области не оказывает существенного влияния на кажущуюся вязкость крови для крупных сосудов (d> 500 мкм), поскольку ширина обедненного клетками слоя намного меньше диаметра сосуда. Это оказывает свое влияние и на транспорт частиц.

Так как для доставки используют наночастицы, требуется также учитывать и силу Саффмана, действующие на небольшие частицы в области сдвига. Подъемная сила Саффмана, представляет собой подъ-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

емную силу, появляющаяся из-за эффекта инерции в вязком потоке вокруг частицы, и перпендикулярную направлению потока.

При моделировании движения частиц в сосудах с достаточно большим диаметром требуется учитывать силу инерции. В данных условиях умножения массы несущей частицы и ускорение частиц носителя (который совпадает с ускорением кровотока в сосуде) не является пренебрежимо малым, и это дает значительное влияние на магнитное нацеливание препарата.

Важно понимать, что не всегда магнитная фиксация и доставка лекарств будут иметь 100% успех, поэтому некоторые частицы будут теряться на протяжении всего пути от места инъекции к целевому органу. На сегодняшний день проблема заключается в увеличении числа частиц, достигающих цели, а также сделать их придерживаться в течение длительного времени.

Литература

1. Furlani, E.J. A model for predicting magnetic targeting of mulfunctional particles in the microvasculature [Текст] / E.J. Furlani, E.P. Furlani // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2007. – Vol. 312, iss. 1. – P. 187-193.

2. Furlani, E.P. Analytical model of magnetic nanoparticle transport and capture in the microvasculature [Текст] / E.P. Furlani, K. C. Ng // Physical Review. – 2006. – Vol. 73, iss. 6. – P. 1-10 – 061919.

3. Shaw, S. Mathematical Model on Magnetic Drug Targeting in Microvessel [Текст] / S. Shaw // IntechOpen / Magnetism and Magnetic Materials. – 2018. – Vol. 5 – P. 1-27.

В. А. Климович (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **И. А. Концевой,** ст. преподаватель

ФОРМИРОВАНИЕ ВОЛН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕОДНОРОДНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

В настоящей работе рассматриваются закономерности формирования температурных полей в однокомпонентной теплофизической системе с объемным источником энергии. В динамической теории неравновесных состояний вещества эти задачи важны [1]. Цель рабо-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ты: изучить тепловое состояние в системе с неоднородным по волновой координате источником энергии.

Волновое уравнение теплопереноса записываем в виде:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = w^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_\upsilon . \qquad (1)$$

Здесь x – декартова координата; t – время; T – температура; $w = \sqrt{\lambda/(c\gamma)}$ – скорость распространения тепловых возмущений; λ – коэффициент теплопроводности; c – объемная теплоемкость; γ – время релаксации теплового потока; $k_\upsilon = q_\upsilon/(c\gamma)$; q_υ – мощность внутренних источников (стоков) тепла.

Уравнение (1) имеет точное решение [2]:

$$T = [A(\alpha)]^{-1}[\theta(z) - \dot{A}(\alpha)], \quad z = \int \frac{d\alpha}{A(\alpha)} - \int \frac{d\beta}{B(\beta)}, \quad \theta = -2/z, \qquad (2)$$

$$B(\beta) = B \equiv \text{const} \neq 0, \ \alpha = x' + t, \ \beta = x' - t, \ x' = x/w, \ k_\upsilon = \frac{2T}{AB}\left(\dot{A} + AT\right)^2,$$

где $A(\alpha)$ – произвольная функция; точкой над символом функции указано дифференцирование по ее аргументу. В рассматриваемом случае выделение / поглощение энергии зависит явным образом от волновой координаты α: линия $\alpha = \text{const}$, есть характеристика (волна), распространяющаяся с постоянной скоростью влево, в направлении отрицательных значений x. В таких тепловых процессах может наблюдаться нетривиальное поведение изотерм $T(\alpha,\beta) = T_i \equiv \text{const}$. Проанализируем эту ситуацию. Линию изотермы и ее безразмерную скорость записываем в виде:

$$A(\alpha)T_i = (-2/z) - \dot{A}(\alpha), \quad \left(\frac{dx'}{dt}\right)_i = \frac{1 + BD}{1 - BD}, \quad BD \neq 1,$$

$$D(\alpha) = \frac{1}{A} - \frac{2\left(\ddot{A} - \dot{A}T_i\right)}{\left(\dot{A} - AT_i\right)^2}, \quad \alpha = \alpha_i(t), \quad \left(\frac{dx'}{dt}\right)_i = \frac{1}{w}\frac{dx_i}{dt} = \frac{N}{w} = M .$$

Здесь отметим, что величина M представляет собой тепловое число Маха, равное отношению скорости изотермы $N = dx_i/dt$ к скорости w распространения тепловых возмущений. Предположим, что неоднородность источника энергии является периодической функцией волновой координаты: $A(\alpha) = A_0 + A_1 \sin\omega\alpha$, $A_0, A_1, \omega - \text{const}$. Выполнив необходимые расчеты, получаем:

$$\left(\frac{dx'}{dt}\right)_i = \frac{A_1 \sin\omega\alpha\left(\dot{A} - AT_i\right)^2 - 2B\left(\ddot{A} - \dot{A}T_i\right)}{\left(A_1 \sin\omega\alpha - 2B\right)\left(\dot{A} - AT_i\right)^2 + 2B\left(\ddot{A} - \dot{A}T_i\right)}. \qquad (3)$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Знаменатель указанной дроби колеблется около постоянного значения $2A_0^3T_i^2$ и сохраняет знак этой величины. Числитель дроби – суперпозиция двух периодических функций, таких, что скорость колеблется около нуля с амплитудой, периодически зависящей от α. Такое явление является следствием периодической неоднородности источника энергии по волновой координате. Исследуем корреляцию «источник энергии – тепловое число Маха» на изотерме $T = T_i$. Функция

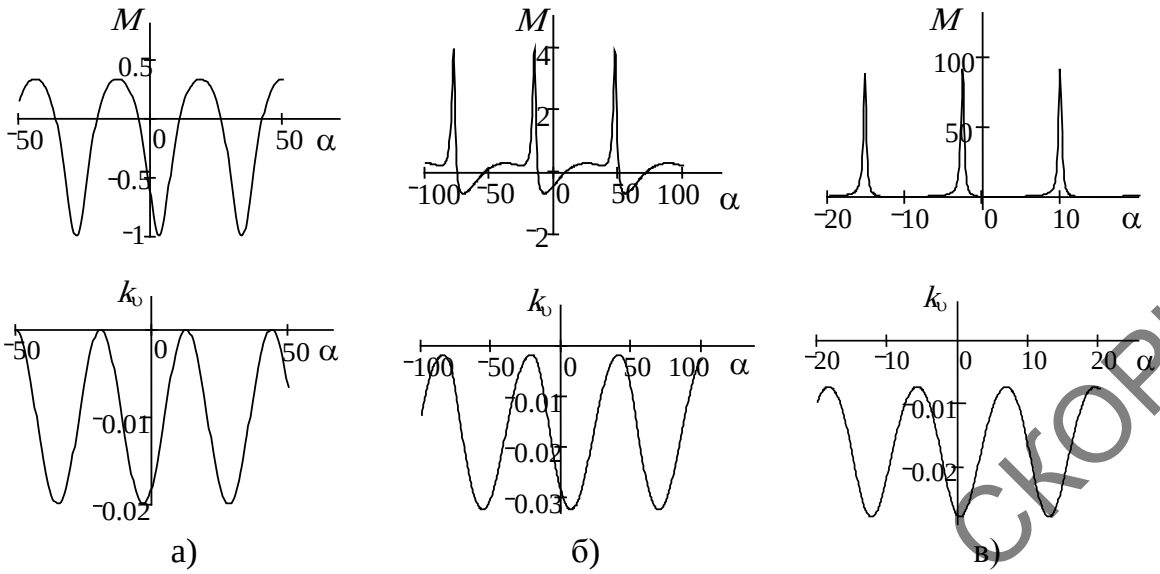
$$k_\upsilon(T = T_i, \alpha) = \frac{(-2)T_i}{A_0(A_0 + A_1 \sin \omega\alpha)}\left[A_1\omega\cos\omega\alpha + T_i(A_0 + A_1 \sin \omega\alpha)\right]^2 \le 0$$

определяет периодическую неоднородность стока энергии. Далее примем $A_0 > A_1 > 0$; в качестве исходных данных принимаем такие, для которых выполняется условие $1 > BD = -A_0D$, т.е. $M + 1 > 0$. Результаты расчета указанного варианта приведены на рисунке. Отметим здесь существование периодически появляющихся точек остановки изотермы $(dx'/dt)_i = 0$, число Маха знакопеременное; тепловой процесс «дозвуковой» $\left[|M| < 1\right]$ на «холодных» $[T_i < 1]$ и на «горячих» $[T_i > 1]$ изотермах. Гладкому периодическому изменению стока энергии $k_\upsilon(T_i, \alpha)$ соответствуют гладкие периодические колебания скорости изотермы. Если отсутствуют точки вырождения $[k_\upsilon(T = T_i, \alpha = \alpha_0) = 0]$ стока энергии – ситуация меняется: для таких режимов всюду $k_\upsilon(T = T_i, \alpha) < 0$, а на «холодных» изотермах $[T_i \sim 0{,}2]$ скорость перемещения, т.е. число Маха, имеет импульсно-периодический характер. Это означает, что гладкой периодической неоднородности стока энергии соответствуют импульсы с острыми пиками. Это обусловлено нелинейной (кубической) зависимостью стока $k_\upsilon(T, \alpha)$ от температуры:

$$(\partial k_\upsilon)/(\partial T) = 2(\dot{A} + AT)(\dot{A} + 3AT)/(AB).$$

Наличие резких пиков импульсов скорости характерно для сверхзвукового $\left[M > 1\right]$ режима движения изотермы в «холодной» области. Для изотерм с более высокой температурой острые пики импульсов скорости не характерны; здесь движение дозвуковое; зависимости $k_\upsilon(T_i, \alpha)$ и $M(\alpha)$ представляют собой квазигармонические функции.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ



а) б) в)

Рисунок 1 – Корреляция «источник энергии – тепловое число Маха»:
а – T_i=0.1, A_0=1, A_1=1, ω=0.2; б – T_i=0.2, A_0=1, A_1=0.7, ω=0.1;
в – T_i=0.2, A_0=1, A_1=0.125, ω=0.5

Работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергетические системы, процессы и технологии 2.84». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.

Литература

1. Жоу, Д. Расширенная необратимая термодинамика / Д. Жоу, Х. Касас-Баскос, Дж. Лебон. – Москва–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. – 528 с.

2. Шабловский, О. Н. Нелинейные волновые уравнения и конкуренция источников энергии в двухкомпонентных системах / О.Н. Шабловский // Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем. Вып. 13. – М.: Янус-К, 2010. – С. 78–89.

А. Лепик
(КГУТИ имени Ш. Есенова, Актау, Республика Казахстан)
Науч. рук. **Д. Д. Абдешов**, ст. преподаватель

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Электромагнитные зондирования с контролируемым источником являются значимым инструментом геофизической разведки как в малоглубинных вариантах, так и при исследованиях верхней части зем-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ной коры. Современная электроразведка берется решать сложные двумерные и трехмерные задачи. Для обоснования различных технологий электромагнитных зондирований у исследователя имеется такой инструмент, как моделирование. Моделируя зондирования над геологическими структурами с известными физическими и геометрическими параметрами, можно выяснить преимущества и ограничения различных систем возбуждения и приема электромагнитного поля.

Основным геофизическим методом при поисках углеводородов в настоящее время является сейсморазведка. Электроразведка выступает, как правило, в качестве вспомогательного метода, однако в определенных геологических условиях ее вклад в изучение геологического разреза может быть существенным. Так, в районах развития соляно-купольной тектоники сложной задачей для сейсмических методов является картирование первой отражающей границы (кровли соленосных отложений), от которой ведутся глубинные построения подсолевых границ. Эта трудность связана с тем, что неоднородные по своему составу соляные структуры и межкупольные мульды сложены породами с близкими скоростными характеристиками и в силу этого слабо различимы на временных сейсмических разрезах, что не позволяет их учесть при построении глубинных разрезов подсолевого комплекса отложений. Совершенно иначе данные структуры проявляются в электромагнитном поле. Существенная разница в значениях удельного электрического сопротивления (r) пород, слагающих соляные купола (r = 200— 20000 Ом×м), и надсолевых комплексов в мульдовых зонах (r = 2—10 Ом×м) обусловливает их хорошую дифференциацию в интегральных геоэлектрических параметрах. Поэтому электроразведка в течение длительного времени успешно применялась для изучения геологических разрезов в районах распространения соляных структур, в частности, в Прикаспии. При этом наиболее часто в силу своей технологичности применяется метод зондирований становлением поля с использованием различных установок. В настоящее время наблюдается рост интереса нефтедобывающих компаний, занимающихся разведкой нефти в подсолевых отложениях, к оценке возможности картирования кровли соляных структур при помощи электроразведки. В рамках составления регламента полевых электроразведочных работ в подобных геологических условиях была поставлена задача исследования чувствительности различных электроразведочных систем к вариациям рельефа кровли соляных структур. Задача решалась комплексно при помощи математического и физического моделирования.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Математическое моделирование переходных характеристик выполнялось с помощью программы Modem3D.[1] Программа предназначена для расчета импульсных электромагнитных полей в сложных трехмерных проводящих средах и реализована как интегрированная среда с полным набором графических функций для ввода данных, организации вычислительного процесса и анализа результатов расчетов. Задача моделирования устанавливающегося электромагнитного поля решается векторным методом конечных элементов на неструктурированной трехмерной тетраэдральной пространственной сетке. Интегрирование по времени осуществлялось с использованием неявной схемы Кранка—Николсона второго порядка точности. Для повышения производительности программы Modem3D алгоритмы были распараллелены, что позволило эффективно использовать многоядерность современных процессоров. Распараллеливание применялось к векторно-матричным арифметическим операциям. Также для выполнения массовых расчетов была выполнена адаптация программы к работе в системе распределенных вычислений (GRIDсистема) и облачных средах, организованных в ИНГГ СО РАН.[2] Тестирование на простых геометрических объектах и в случае горизонтально-слоистых сред показало, что для широкого класса моделей расчеты выполняются с высокой точностью.

Выполненное математическое и физическое моделирование нестационарных полей двух установок (с индуктивным и смешанным возбуждением) показало, что установка AMNB-n более эффективна для определения формы и размера соляных структур, чем установка Qq-n. При этом даже относительно сложные вариации геологического строения соляной толщи (отрицательные углы наклона стенок соляных куполов, карнизы) находят отражение в регистрируемом сигнале, однако необходима разработка специальной методики для их выделения. Учитывая возможность создания достаточно сложных аналоговых моделей геологических структур, потенциал физического моделирования при решении методических задач электроразведки остается высоким.

Литература

1. Бобров, Н.Ю. Физическое и численное моделирование / Н.Ю. Бобров. – М.: Геология и геофизика. 2017. – 435с.

2. Гопов, М.К. Математические методы в решении технических задач / М.К. Гопов. – М.: Юрайт, 2008. – 212 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Д. А. Максименко (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **М. И. Лискович,** ст. преподаватель

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ БОЛЬШОГО КОЛИЧЕСТВА ЗВЕЗДОЧЕК В ЦЕПНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ВЕЛОСИПЕДА

Цепной называется передача, состоящая из двух колес-звездочек, соединенных цепью.

Такие передачи применяют в сельскохозяйственных машинах, велосипедах, мотоциклах, автомобилях, дорожно-строительных машинах и т. д. Они универсальны, просты и экономичны. Состоят из ведущих и ведомых звездочек и охватывающих их одно-, двух-, трехрядных и более цепей.

Вращение ведущей звездочки преобразуется во вращение ведомой благодаря сцеплению цепи с зубьями звездочек.

На сегодняшний день редко можно встретить велосипед, у которого только по одной ведущей и ведомой звездочке. Это либо модели, выпущенные 20-30 лет назад, либо специфический «синглспид». Количество ведущих и ведомых звездочек, путем умножения их друг на друга, определяет число скоростей велосипеда. Так как число ведущих звездочек две – три, а ведомых от 5 до 10, то на современных велосипедах число скоростей, как правило, изменяется от 10 до 30.

Соответственно, велосипед с 15 скоростями имеет 3 ведущих и 5 ведомых звездочек, а модель с 30 скоростями — 10 ведомых звездочек. Различаются такие модели технологическими издержками и количеством вариаций крутящего момента.

Для более равномерного распределения затрачиваемой на вращение педалей энергии нужно правильно переключать скорости. Переключение скорости на велосипеде меняет каденс (частоту вращения) и необходимую силу давления на педали, достигаемую за счет варьирования передаточного числа между колесом и педалями.

Определим, влияет ли количество скоростей на качество катания? Улучшаются ли технические характеристики велосипеда при увеличении количества звёздочек?

Рассмотрим распространенный вариант, в котором для количество звезд на передней передаче равной трем, а на задней семи.

Передаточное отношение будем рассчитывать по формуле:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1},$$

где i_{12} - передаточное отношение от ведущей (передней) звёздочки к ведомой (задней), z_2 – число зубьев ведомой (задней) звёздочки, z_1 – число зубьев ведущей (передней) звёздочки.

При числах зубьев на передних звездочках 42, 34, 24 и числах зубьев на задних звездочках 14, 16, 18, 20, 22, 25 и 34 мы получаем множество передаточных отношений, которые расположим в порядке убывания: 3,00; 2,63; 2,43; 2,33; 2,13; 2,10; 1,91; 1,89; 1,71; 1,70; 1,68; 1,55; 1,50; 1,36; 1,33; 1,24; 1,20; 1,09; 1,00; 0,96; 0,71. Видно, что многие передаточные отношения отличаются незначительно.

А учитывая, что для цепной передачи не желателен большой перекос и обычно передачи переключатся в сочетании, как показано на рис. 1.

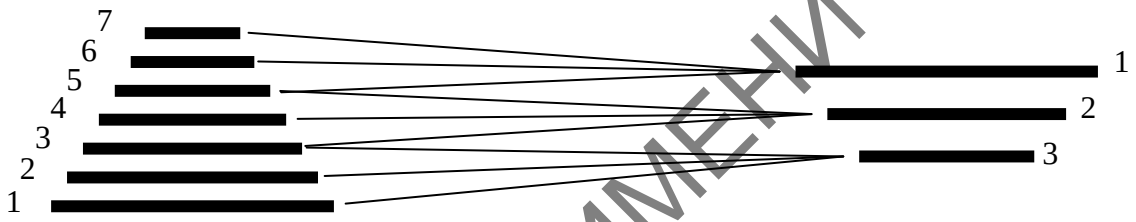


Рисунок 1 – Рекомендуемая схема переключения передач

То количество передач можно сократить до девяти сочетаний (таблица 1)

Таблица 1

№ п/п	Кол-во зубьев ведущей звёздочки	Кол-во зубьев ведомой звёздочки	Передаточное отношение	Величина изменения усилия, (%)
1	42	14	3,00	14,3
2	42	16	2,63	12,5
3	42	18	2,33	23,5
4	34	18	1,89	11,1
5	34	20	1,70	10,0
6	34	22	1,55	41,7
7	24	22	1,09	13,6
8	24	25	0,96	36,0
9	24	34	0,71	

Величина изменения усилия показывает плавность изменения усилия прикладываемого к педалям велосипеда при изменении передачи.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

И, как видно из таблицы, предложенные производителем сочетания передач не являются идеальными, так как разница между одними вариантами изменяется очень существенно по сравнению с другими.

Проверим, что будет, если оставить только одну ведущую звёздочку с количеством зубьев равных 42. Для поддержания имеющихся передаточных отношений не будем ограничиваться имеющимися ведомыми звёздочками, а введём дополнительные. Данные сведём в таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	Кол-во зубьев ведомой звёздочки	Передаточное отношение	Величина изменения усилия, (%)
1	14	3	14,3
2	16	2,63	12,5
3	18	2,33	22,2
4	22	1,91	13,6
5	25	1,68	16,0
6	29	1,45	20,7
7	35	1,20	20,0
8	42	1,00	

В результате общее количество звезд уменьшилось до 9, отсутствует необходимость установки системы переключения скоростей на ведущих звёздочках, получено более плавное переключение между всеми передачами.

Таким образом, можно сделать вывод, что большое количество звёздочек не является необходимостью для рядового потребителя и их можно заменить меньшим количеством без каких-либо потерь.

В. В. Миткевич (ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **В. И. Токочаков**, канд. техн. наук, доцент

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ОСНОВНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Надежность энергоснабжения – способность электрической системы подавать электрическую энергию подключенным к ней потребителям в любое время. Нарушения надежности, то есть перебои в

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

подаче электроэнергии, наносят большой ущерб сельскохозяйственным объектам. Этот ущерб определяется, с одной стороны, простоем, а с другой – повреждением продуктов.

В соответствии с Правилами монтажа электрооборудования все приемники питания делятся на три категории в отношении обеспечения надежности электроснабжения.

К первой категории относятся потребители, чьи перебои в электроснабжении могут привести к: опасности для жизни людей, значительному ущербу для национальной экономики, повреждению дорогостоящего основного оборудования, болезням и смерти животных, массовым бракам, порче сельскохозяйственной продукции, нарушению сложных технологических процессов.

Ко второй категории относятся потребители, чьи перебои в электроснабжении приводят к огромному дефициту продуктов, огромному времени простоя рабочих и механизмов, нарушению нормальной деятельности значительного числа городских и сельских жителей.

Третья категория включает всех остальных потребителей электроэнергии, которые не включены в список первой и второй категорий.

На первом этапе проектирования электрической сети разрабатывается ряд возможных конфигураций. Параметры конфигурации сети формируются на основе двух основных требований: общая длина сети должна быть как можно меньше. Должны быть предусмотрены требования к надежности электроснабжения потребителей.

При построении конфигурации сети необходимо обеспечить возможность доставки всей мощности электростанций в аварийных условиях, то есть обеспечить подачу электроэнергии в сеть как минимум двумя линиями. В одной цепи замкнутой сети желательно использовать одно номинальное напряжение, иногда два, но не более. Если, согласно результатам расчетов потоков мощности, отдельные участки сети имеют небольшую нагрузку и, следовательно, им нужно будет выбрать напряжение, которое значительно ниже, чем для других участков, это указывает на неудачный выбор конфигурации сети.

Конфигурация сети, ее длина, количество линий в каждой секции напрямую влияют на выбор номинального напряжения.

В практической деятельности при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения энергетик должен постоянно принимать различные решения. На эти решения влияет большое количество факторов, среди которых надежность занимает особое место.

Обоснование необходимого уровня надежности систем электроснабжения имеет большое значение как на этапе проектирования, так

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

и в процессе эксплуатации, поскольку перебои в электроснабжении могут привести к значительному ущербу для потребителей и другим негативным последствиям.

Показатели надежности – это количественные характеристики одного или нескольких свойств системы электропитания, которые определяют ее надежность. Значения этих показателей получены из результатов испытаний или эксплуатации.

В зависимости от восстанавливаемости элементов системы электроснабжения отдельные показатели надежности делятся на показатели для возобновляемых изделий и показатели для невозобновляемых изделий. Комплексные метрики также используются. Надежность элементов электрической сети можно оценить с помощью части показателей надежности или всех показателей.

Вероятность безотказной работы $p(t)$ – вероятность того, что в заданном интервале времени в системе или элементе не произойдет отказ.

Статистическая оценка p(t):

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где N_0 – первоначальное количество элементов для испытания или эксплуатируемых; $n(t)$ – число элементов, отказавших за время t.

Интегральная функция распределения вероятностей безотказной работы

$$R(t) = P(t_{\text{отк}} > t) = \frac{n(t_{\text{отк}} > t)}{N_0(t = 0)} = \begin{Bmatrix} 0; t = \infty \\ 1; t = 0. \end{Bmatrix}$$

Интегральная функция распределения вероятностей безотказной работы $R(t)$ численно равна доле начального количества объектов $N_0(t=0)$, не отказавших до произвольного, но фиксированного момента времени t, это $n(t_{\text{отк}} > t)$ объектов.

Таким образом надежность систем элетроснабжения сельских потребителей зависит от надежности элементов системы, схемы конфигурации сети и категории элетроприемников.

Литература

1. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Учебное пособие. / А.В. Лыкин – М.: Университетская книга; Логос, 2006. – 254 с.

2. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. / Д.Л. Файбисович – М.: НЦ ЭНАС, 2006. – 352 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

3. Вокин И.А. Проектирование районной электрической сети: Учебное пособие / И.А. Вокин, Д.М. Карсунцева. – Сызрань: Самар. гос. техн. ун-т., филиал в Сызрани, 2011. – 20 с.

А. С. Невмержицкая (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Г. Ю. Тюменков,** канд. физ.-мат. наук, доцент

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИСИКАВЫ-ЧАНГА-ЛУ ВИДА $\tilde{V} = \tilde{V}(\tilde{P}, \tilde{T})$

До сих пор актуальна задача дальнейшего изучения физических свойств реальных газов на основе использования полуэмпирических уравнений состояния [1]. Эти уравнения часто представляются в несодержащем энтропию виде $P = P(T, V)$. Все уравнения имеют дополнительные параметры a и b, связанные с силами парного межмолекулярного взаимодействия, которые часто бывают зависящими от температуры. Математическая простота уравнений состояния содержит определенную сложность, заключающуюся в их преобразовании к виду $V = V(T, V)$. Это связано с характером их математической зависимости от объёма макросистемы.

Рассмотрим часто используемое в расчетах уравнение Исикавы-Чанга-Лу

$$P = \frac{RT(2V + b(T))}{V(2V - b(T))} - \frac{a(T)}{\sqrt{T}V\big(V + b(T)\big)}, \tag{1}$$

имеющее приведенную форму

$$\tilde{P} = \frac{\tilde{T}(2\chi\tilde{V} + \beta(\tilde{T}))}{\Omega_b\chi\tilde{V}(2\chi\tilde{V} - \beta(\tilde{T}))} - \frac{\Omega_a\alpha(\tilde{T})}{\Omega_b^2\sqrt{\tilde{T}}\chi\tilde{V}\left(\chi\tilde{V} + \beta(\tilde{T})\right)}, \tag{2}$$

с параметрами

$$\chi = 2.89812008,\ \ \Omega_a = 0.46712311,\ \ \Omega_b = 0.10876233,$$

и встроенными функциями

$$\alpha(\tilde{T}) = 0.94162 + 0.48023\tilde{T} - \frac{0.42185}{\tilde{T}},$$

$$\beta(\tilde{T}) = 0.83056 + 0.21595\tilde{T} - 0.04651\tilde{T}^2.$$

Для того, чтобы выделить искомую зависимость, сначала запишем уравнение состояния в виде кубического уравнения

$$-2\tilde{P}\sqrt{\tilde{T}}\chi^3{\Omega_b}^2\tilde{V}^3 + \sqrt{\tilde{T}}\chi^2\Omega_b\big(2\tilde{T} - \tilde{P}\beta(\tilde{T})\Omega_b\big)\tilde{V}^2 +$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$+\chi\left(-2\alpha(\tilde{T})\Omega_a+\sqrt{\tilde{T}}\beta(\tilde{T})\Omega_b\left(3\tilde{T}+\tilde{P}\beta(\tilde{T})\Omega_b\right)\right)\tilde{V}+ \qquad (3)$$
$$+\beta(\tilde{T})\left(\alpha(\tilde{T})\Omega_a+\tilde{T}^{3/2}\beta(\tilde{T})\Omega_b\right)=0.$$

И решим уравнение (3) методом Кардано [2], введя кубическое уравнение общего вида

$$ax^3+bx^2+cx+d=0. \qquad (4)$$

Для уравнения Исикавы-Чанга-Лу (3) коэффициенты уравнения (4) равны:

$$a=-2\tilde{P}\sqrt{\tilde{T}}\chi^3{\Omega_b}^2,$$
$$b=\sqrt{\tilde{T}}\chi^2\Omega_b\left(2\tilde{T}-\tilde{P}\beta(\tilde{T})\Omega_b\right),$$
$$c=\chi\left(-2\alpha(\tilde{T})\Omega_a+\sqrt{\tilde{T}}\beta(\tilde{T})\Omega_b\left(3\tilde{T}+\tilde{P}\beta(\tilde{T})\Omega_b\right)\right),$$
$$d=\beta(\tilde{T})\left(\alpha(\tilde{T})\Omega_a+\tilde{T}^{3/2}\beta(\tilde{T})\Omega_b\right).$$

С данными коэффициентами уравнение (3) имеет один вещественный и два сопряжённых комплексных корня. Но так как речь идёт об объеме макросистемы, то физическим является вещественное решение $y_1=\tilde{V}$:

$$\tilde{V}=y_1=(\mathrm{X}_1-\mathrm{X}_2)^{1/3}+(\mathrm{X}_1+\mathrm{X}_2)^{1/3}, \qquad (5)$$

$$\mathrm{X}_1=\frac{2\times10^{-4}U_1U_2}{\tilde{P}\tilde{T}^{3/2}}+\frac{1.9\times10^{-8}(395.37\tilde{T}+\tilde{P}U_1)^3}{\tilde{P}^3}+$$
$$+\frac{1.33U_3}{\tilde{P}^2\sqrt{\tilde{T}}}\left(-0.88+\frac{0.39}{\tilde{T}}-0.45\tilde{T}+\right.$$
$$\left.+2.6\times10^{-5}\sqrt{\tilde{T}}U_1(-593.06\tilde{T}+\tilde{P}U_1)\right),$$
$$\mathrm{X}_2=\left(\frac{1}{\tilde{P}^6\tilde{T}^3}\left(-\frac{1}{\tilde{T}^{3/2}}1.3\times10^{-13}U_4+\right.\right.$$
$$+0.01\left(0.002\tilde{P}^2U_1U_2+1.97\times10^{-7}\tilde{T}^{3/2}\left(395.37\tilde{T}+\tilde{P}U_1\right)^3+\right.$$
$$+1.49\tilde{P}U_3\left(3.62-8.09\tilde{T}-4.13\tilde{T}^2+\right.$$
$$\left.\left.\left.\left.+0.0002\tilde{T}^{3/2}U_1\left(-593.06\tilde{T}+\tilde{P}U_1\right)\right)\right)^2\right)\right)^{1/2}.$$

Функции U_1, U_2, U_3 и U_4 в свою очередь имеют вид:

$$U_1=-17.86-4.64\tilde{T}+\tilde{T}^2,$$
$$U_2=\left(38.96-86.95\tilde{T}-44.35\tilde{T}^2-17.86\tilde{T}^{5/2}-4.64\tilde{T}^{7/2}+\tilde{T}^{9/2}\right),$$
$$U_3=2\tilde{T}+\tilde{P}\left(-0.09-0.02\tilde{T}+0.01\tilde{T}^2\right),$$
$$U_4=\left(22331.21\tilde{T}^{7/2}+\tilde{P}^2\tilde{T}^{3/2}\left(318.90+165.83\tilde{T}-14.16\tilde{T}^2-\right.\right.$$
$$\left.-9.29\tilde{T}^3+\tilde{T}^4\right)+\tilde{P}(13201.49-29467.31\tilde{T}-15028.45\tilde{T}^2+$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$+7060.41\tilde{T}^{5/2} + 1835.74\tilde{T}^{7/2} - 395.37\tilde{T}^{9/2})\Big)^3.$$

Таким образом, представление приведенного уравнения Исикавы-Чанга-Лу в форме $\tilde{V} = \tilde{V}(\tilde{P}, \tilde{T})$ имеет вид (5). Несмотря на сложность и громоздкость, эта форма уравнения допускает применение численного и аналитического анализа.

Литература

1. Tian, J. New equations of state for the hard polyhedron fluids / J. Tian, H. Jiang, A. Mulero // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2019. – Vol. 24. – P. 13109–13115.

2. Гусак, А.А. Справочник по высшей математике в двух томах / А.А. Гусак, Г.М. Гусак, Е.А. Бричикова. – Минск: Тетрасистемс, 1999. – 640 с.

3. Невмержицкая, А.С., Тюменков Г.Ю. О приведенных полуэмпирических уравнения состояния вида $\tilde{V} = \tilde{V}(\tilde{P}, \tilde{T})$ // Проблемы физики, математики и техники. – 2019. – № 4 (41). – С. 28–30.

А. В. Павленко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Ю. А. Гришечкин** канд. физ.-мат. наук, доцент,
В. Н. Капшай канд. физ.-мат. наук, доцент.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЗАДАЧА О СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЯХ ДВУХЧАСТИЧНЫХ СИСТЕМ В СЛУЧАЕ ПОТЕНЦИАЛА ГАУССА В ИМПУЛЬСНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ

Одной из задач квантовой теории поля является изучение связанных состояний релятивистских двухчастичных систем. В данной работе найдены спектры энергий и волновые функции связанных состояний релятивистских систем двух скалярных частиц на основании решения уравнений квазипотенциального типа [1, 2]

$$\psi_{(j)}(2E, p) = \frac{-2m}{\pi} G_{(j)}(2E, p)\, \mathrm{E}_p \int_0^\infty \frac{dk}{E_k} V(p,k)\psi_{(j)}(2E,k),\ E_p = \sqrt{m^2 + p^2}, \quad (1)$$

где индекс j – соответствует одному из четырех типов кваипотенциальных уравнений: $j = 1$ – уравнение Логунова-Тавхелидзе, $j = 2$ – уравнение Кадышевского, $j = 3$ – модифицированное уравнение Логунова-Тавхелидзе, $j = 4$ – модифицированное уравнение Кадышевского. В интегральных уравнениях (1) были использованы следущие

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

обозначения: $0 < 2E < 2m$ – энергия двухчастичной системы, m – масса каждой частицы, $\psi_{(j)}(2E, p)$ – волновая функция, $V(p,k)$ – релятивистский потенциал, p и k – модули импульсов, $G_{(j)}(2E, p)$ – функции Грина, для каждого из четырех уравнений имеющие вид [1, 2]

$$G_{(1)}(2E, p) = \frac{1}{E_p^2 - E^2 - i0}\frac{m}{E_p}; \; G_{(2)}(2E, p) = \frac{1}{2E_p - 2E - i0}\frac{m}{E_p^2}; \qquad (2)$$

$$G_{(3)}(2E, p) = \frac{1}{E_p^2 - E^2 - i0}; \quad G_{(4)}(2E, p) = \frac{1}{2E_p - 2E - i0}\frac{1}{E_p}.$$

Потенциал Гаусса в импульсном представлении в сферически симметричном случае имеет следующий вид [3]:

$$V(\mathrm{p}, \mathrm{k}) = -\frac{\lambda}{8\sqrt{\pi^3 a}}\left[\exp\left(-\frac{(p-\mathrm{k})^2}{4a}\right) - \exp\left(-\frac{(p+k)^2}{4a}\right)\right], \qquad (3)$$

где $\lambda > 0$ и $a > 0$ – постоянные величины. Подставив потенциал (3) и каждую из функций Грина (2) в уравнение (1) и заменив интегралы суммой по квадратурной формуле прямоугольников [4], мы приводим интегральные уравнения к системам линейных алгебраических уравнений

$$K\psi = E^2\psi \text{ – для } j = 1,3; \qquad (4)$$

$$M\psi = E\psi \text{ – для } j = 2,4,$$

где K и M – матрицы систем уравнений, ψ – векторы, компоненты которых являются значениями волновых функций в узловых точках квадратурной формулы. Таким образом, задача о нахождении энергий и волновых функций связанных состояний сведена к задаче на собственные значения и собственные векторы систем уравнений (4).

На рисунке 1 приведены графики зависимостей $2E$ энергии двухчастичной системы от константы связи λ для первых четырех состояний. Вычисления проведены для $m = 1$, $a = 0,01$.

Волновые функции, вычисленные для $\lambda = 20$, приведены на рисунке 2.

В работе найдены численные решения четырех квазипотенциальных уравнений, описывающих связанные состояния систем двух одинаковых скалярных частиц для потенциала Гаусса в импульсном представлении в сферически симметричном случае.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

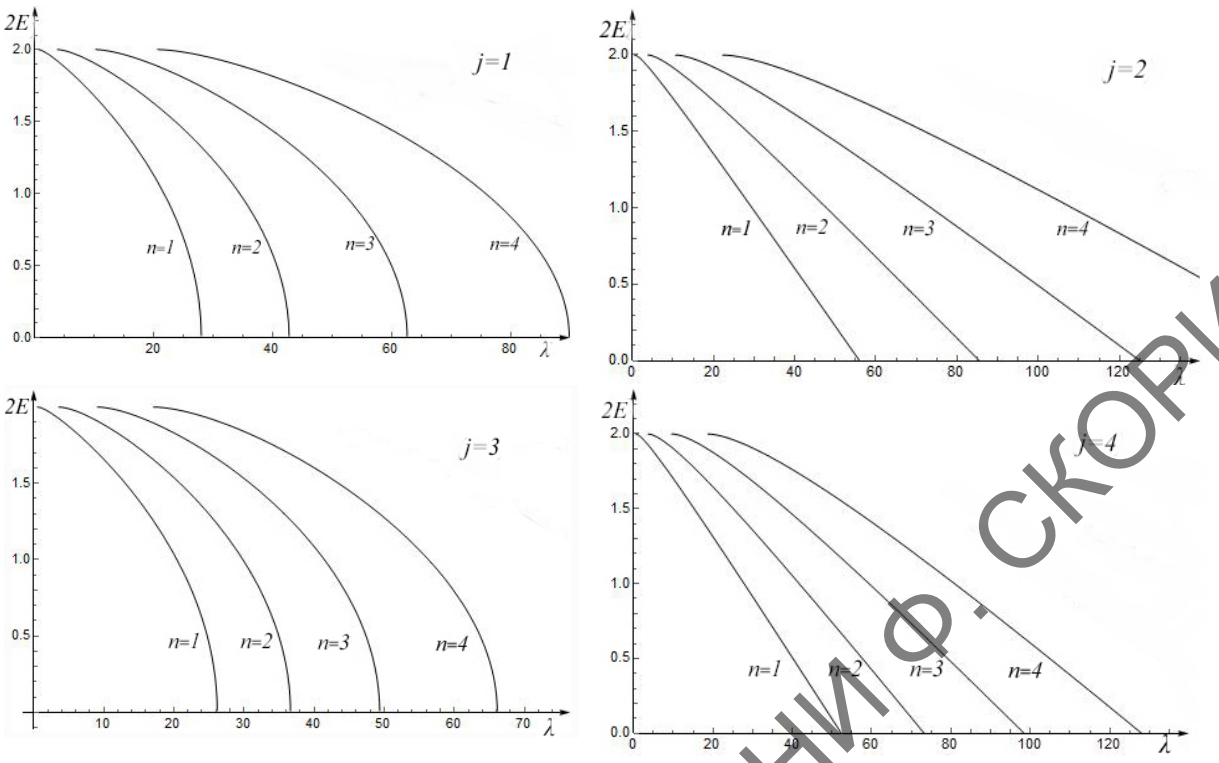


Рисунок 1 – Условия квантования энергии связанных состояний

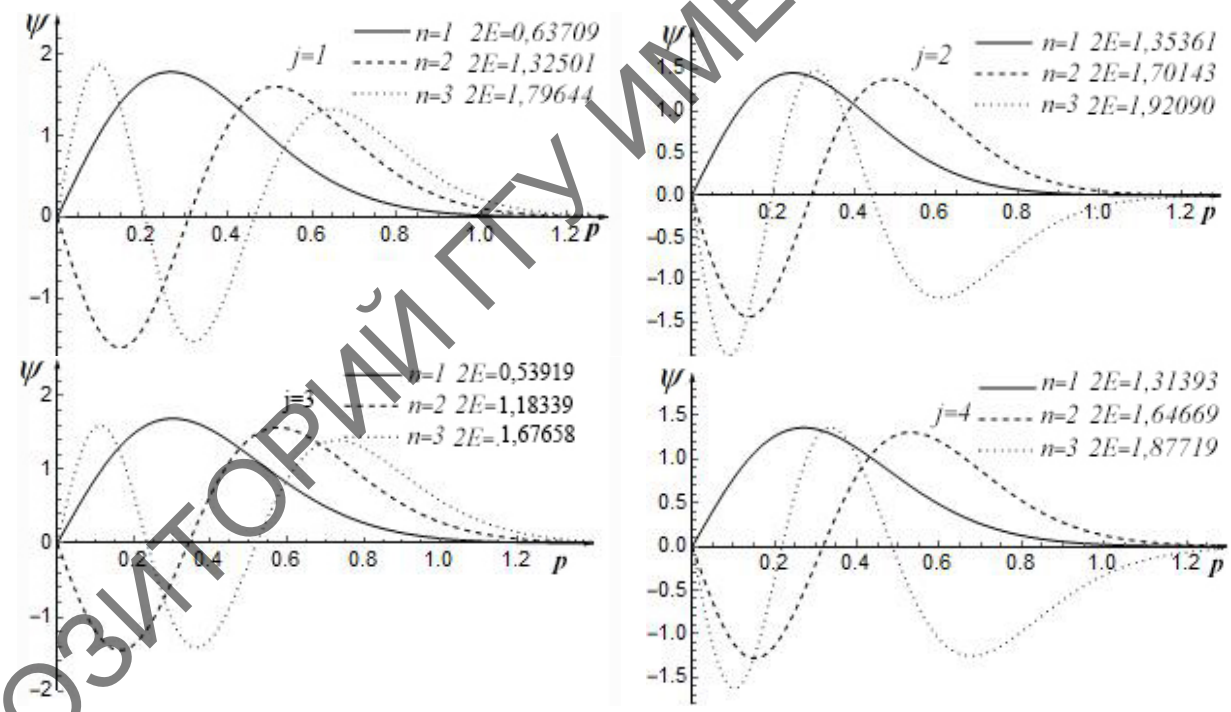


Рисунок 2 – Графики волновых функций

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Литература

1. Logunov, A. A. Quasi-Optical Approach in Quantum Field Theory / A. A. Logunov, A. N. Tavkhelidze // Nuovo Cimento. – 1963. – V. 29, № 2. P. 380–399.

2. Кадышевский, В. Г. Трёхмерная формулировка релятивистской проблемы двух тел / В. Г. Кадышевский, Р. М. Мир-Касимов, Н.Б. Скачков // ЭЧАЯ. – 1972. – Т. 2, № 3. – С. 635–690.

3. Гришечкин Ю.А. Об одном приближенном аналитическом методе решения уравнения Шредингера с Гауссовым потенциалом. / Ю.А. Гришечкин., А.В. Павленко., В.Н. Капшай. // Проблемы физики математикт и техники. – 2019. – № 4 .– С.7–10.

4. Калиткин, Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

А. С. Парахневич (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ ДАННЫХ О ДЕФОРМАЦИИ ЯДРА СВИНЦА $_{82}Pb^{206}$ С ПОМОЩЬЮ БД «КАРТА ПАРАМЕТРОВ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЯДЕР»

В последнее время, благодаря совершенствованию исследований по ядерной физике, было накоплено большое количество экспериментального материала, которое позволяет упростить расчеты, повысив при этом надежность и точность решений. С развитием новых представлений о взаимодействиях между нуклонами ядра, находящимися на оболочках с различными квантовыми характеристиками, возрос интерес к численным данным по квадрупольным моментам ядер и па-раметрам их деформации, описывающих форму ядра. Это касается и информации о том, как форма изменяется при переходе ядра из ос-новного состояния в различные возбужденные состояния.

При незначительных деформациях ядра параметр β, определяющий форму и размер атомных ядер или степень отклонения формы ядра от сферически симметричной, связан с величиной квадрупольного момента Q и зависит от распределения плотности ядерного вещества:

$$\beta = \sqrt{\frac{\pi}{5}}\frac{Q}{A\langle r^2\rangle},$$

где A – число нуклонов ядра, $\langle r^2\rangle$ – среднеквадратичный радиус ядра.

Наибольшие значения квадрупольных моментов имеют те ядра, у которых оболочки заполнены лишь частично. Все деформированные ядра имеют форму вытянутых или сплюснутых эллипсоидов вращения (рисунок 1).

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

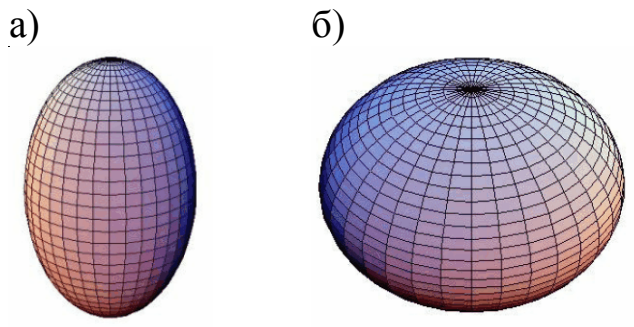


Рисунок 1 – Несферичная форма деформированных атомных ядер:
а) $Q > 0$, б) $Q < 0$

Большие величины квадрупольных моментов характерны для вытянутых ядер ($Q>0$ или $\beta > 0$), число которых больше, чем сплюснутых ($Q < 0$ или $\beta < 0$).

Рассмотрим использование баз данных (БД) Центра данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) НИИЯФ МГУ [1] по извлечению информации для исследования характеристик изотопов магического ядра свинца $_{82}Pb$ (Z=82). На сайте ЦДФЭ БД «Карта параметров формы и размеров ядер» представлена в ярком сине-зелено-коричневом цвете. На рисунке 2 оттенками коричневого цвета («горы») обозначены ядра с положительной деформацией, то есть вытянутые; синего («моря») – ядра с отрицательной деформацией, то есть сплюснутые; зеленого («равнины») – ядра с деформацией неизвестного знака или нулевой. Пять градаций каждого цвета помогают идентифицировать параметры деформации по абсолютной величине – наибольшему значению соответствует более интенсивный цвет.

Выбрав ядро свинца $_{82}Pb$ на самом крупном масштабе карты, после обработки запроса для пользователя доступны значения квадрупольных моментов Q и параметров квадрупольной деформации β или $\beta 2$ для БД «Карта параметров формы и размеров ядер», а также зарядовые радиусы r изотопов свинца. Параметр квадрупольной деформации $\beta 2$ оценивается двумя способами: по измеренным приведенным вероятностям $E2$-переходов (данные типа «B») и по измеренным статическим квадрупольным моментам ядер (данные типа «Q») [2, 3]. Численные значения позволяют оценить не только форму, но и размер исследуемого ядра.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

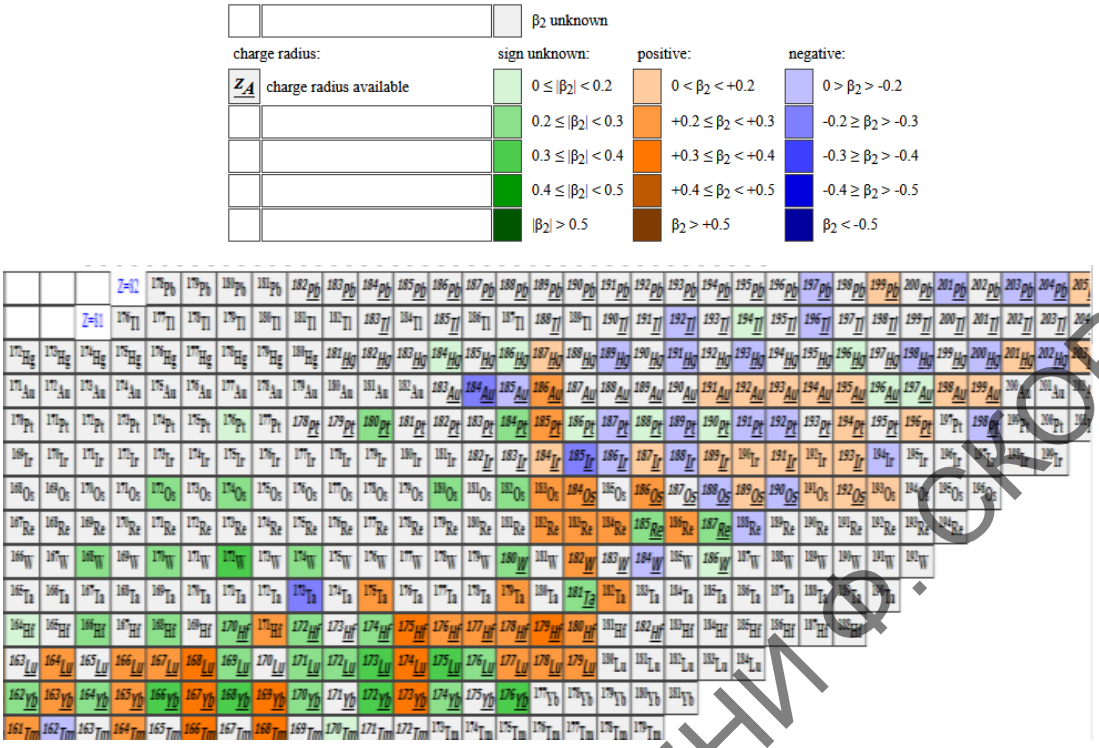


Рисунок 2 –БД «Карта параметров формы и размеров ядер»

На рисунке 3 представлены численные данные для изотопа $_{82}Pb^{206}$. Значение квадрупольного момента $Q>0$, следовательно, ядро свинца $_{82}Pb^{206}$ имеет форму вытянутого эллипсоида вращения. Из рисунка 3 видно, что квадрупольный момент четно-четного магического ядра свинца $_{82}Pb^{206}$ Q=+0,05±0,09 барн, а параметр его квадрупольной деформации $\beta2(B)$=0,03216±0,00032 и $\beta2(Q)$=-0,005±0,01. Параметр квадрупольной деформации $\beta2$ при превышении значений $\beta2(B)$ над $\beta2(Q)$ и значительной величине обеих оценок параметра деформации является признаком нестабильности равновесной формы изотопа свинца $_{82}Pb^{206}$.

Chart of nucleus shape and size parameters

β_2(B(E2)↑)

Parameter	*Data*
β_2(B(E2)↑):	**0.03216 ± 0.00032**

β_2(Q$_{mom}$)

Parameter	*Data*
Q-moment (barn) for 2^+ state at E = 0.803 MeV:	+0.05 ± 0.09
β_2(Q$_{mom}$):	**-0.005 ± 0.01**
NSR Reference:	1978Jo04
Journal Reference:	PL 72B 307 (78)

β_2-calc

Parameter	*Data*
β_2-calc:	**+0.006 ± 0**

Nucleus radii

Parameter	*r_1*	*r_2*	*r_3*
Radius (fm):	**5.4902 ± 0.001**	**5.4902 ± 0.0014**	**5.49 ± 0.002**
NSR Reference:	1986AN06		
Journal Reference:	M. Anselment et al., NP A451, 471 (1986)		

Рисунок 3 – Данные о квадрупольном моменте Q, параметре квадрупольной деформации $\beta2$ и зарядовом радиусе r ядра свинца $_{82}Pb^{206}$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Проявление динамической деформации ядра связанно с колебаниями его поверхности не только в возбужденных состояниях, но и в основном. Значит данные типа «*B*» отражают не только статическую деформацию, т.е. форму ядра, но и динамическую деформацию, возникающую вследствие колебаний его поверхности в основном состоянии. Это также подтверждается различием в знаке между параметром квадрупольной деформации *β2(Q)* и рассчитанным теоретически значением *β2*=+0,006±0, полученным в рамках модели, в которой равновесная форма ядра определяется из условий минимизации суммы одночастичных энергий [4]. Степень различия данных типа «*B*» и «*Q*» для параметра квадрупольной деформации ядер может быть использована при оценке степени стабильности его равновесной формы [5].

Знание квадрупольных моментов атомных ядер позволяет определить форму ядра, оценить степень ее отклонения от сферически симметричной, описать свойства и характеристики деформированных ядер, используя модельный подход. Отработанная методика извлечения ядерных данных через БД ЦДФЭ открывает огромные возможности работы с экспериментальной информацией для проверки известных теорий.

Литература

1. Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) [Электронный ресурс] / Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ). – Россия, 2003. – URL: http://cdfe.sinp.msu.ru/index.ru.html. – Дата доступа: 18.03.2020.

2. Raman, S. Transition probability from the ground to the first-excited 2+ state of even-even nuclides / S. Raman, C.W. Nestor, JR, P. Tikkanen // Atomic Data and Nuclear Data Tables. – 2001. – Vol. 78. – № 1. – P. 1-128.

3. Stone, N.J. Table of nuclear magnetic dipole and electric quadrupole moments / N.J. Stone // Atomic Data and Nuclear Data Tables. – 2005. – Vol. 90. – P. 75-176.

4. Ишханов, В.С. Использование сфероидального глобального потенциала для оценки квадрупольной деформации атомных ядер / В.С. Ишханов, В.Н. Орлин // ЯФ. – 2005. – Т. 68. – № 8. – С. 1407-1423.

5. Два типа данных о параметре квадрупольной деформации ядра и динамические колебания его поверхности / И.Н. Бобошин [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2007. – Вып. 1-2. – С. 33-44.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

М. А. Ревенок (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПАРАМЕТРЫ РАЗМЕРА И ФОРМЫ ИЗОТОПОВ МАГИЧЕСКОГО ЯДРА КАЛЬЦИЯ

Деформация атомных ядер представляет собой сложный механизм проявления микроскопической ядерной структуры, обусловленный связью одночастичных и коллективных степеней свободы. Для анализа размера и формы деформированных атомных ядер воспользуемся современным подходом в описании и систематизации свойств и характеристик ядер. Будем считать, что тип симметрии ядра (форма ядра) не является его неизменной характеристикой. Такая же мера условности отвечает и выбору ядерных моделей. Количественную оценку модели, описывающей структуру деформированного ядра, проведем с использованием параметра равновесной деформации β_2, извлекая и интерпретируя его с помощью банков ядерных данных Центра данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) НИИЯФ МГУ [1], и параметра деформации δ модели Нильссона, характеризующего отклонение формы ядра от аксиально-симметричной [2].

Продемонстрируем данный подход при исследовании характеристик размера и формы изотопов магического ядра кальция. В настоящее время известно 23 изотопа кальция с числами нуклонов A от 34 до 57 (число протонов Z=20, нейтронов N от 14 до 37), из них шесть изотопов ${}_{20}Ca^{40}$, ${}_{20}Ca^{42}$, ${}_{20}Ca^{43}$, ${}_{20}Ca^{44}$, ${}_{20}Ca^{46}$, ${}_{20}Ca^{48}$ стабильны, а два изотопа ${}_{20}Ca^{40}$ и Ca^{48} являются дважды магическими ядрами.

Размер и форма деформированного ядра связаны с его средним зарядовым радиусом и параметром квадрупольной деформации β_2 соотношением

$$\langle r^2 \rangle = r_0^2 \left(1 + \frac{5}{4\pi}\beta_2^2\right),$$

из которого следует, что среднеквадратичный радиус растет с увеличением параметра квадрупольной деформации независимо от его знака, $r_0 = 1$ Фм. На рисунке 1 представлена зависимость зарядовых радиусов изотопов кальция от числа нейтронов N на основе численных данных БД «Карта параметров формы и размеров ядер» [1]. Из анализа рисунка 1 следует, что значения среднеквадратичного радиуса для дважды магических ядер ${}_{20}Ca^{40}$ и ${}_{20}Ca^{48}$ примерно одинаковы, и равны соответственно $r = 3{,}4777 \pm 0{,}0012$ Фм и $r = 3{,}4772 \pm$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

0,0013 Фм. Такое поведение объясняется в модели ядерных оболочек тем, что наиболее устойчивые и полностью заполненные оболочки заканчиваются на магическом числе нуклонов. В данном случае $Z=N=20$, а также $N=28$.

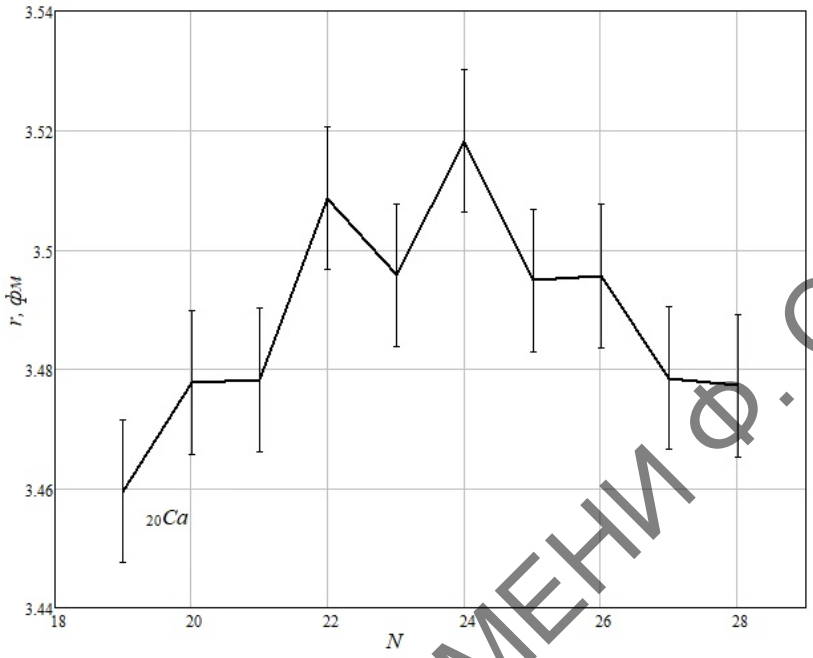


Рисунок 1 – Зависимость зарядового радиуса r ядра от числа нейтронов N для изотопов кальция $_{20}Ca$

С помощью численных данных БД «Карта параметров формы и размеров ядер» установим зависимость модуля квадрупольной деформации $|\beta_2|$ от числа нуклонов A для изотопов кальция $_{20}Ca$ [1]. На рисунке 2 продемонстрированы три графика, построенные на основе данных о параметрах квадрупольной деформации ядер, полученных тремя различными способами: из экспериментальных значений приведенной вероятности переходов из основного состояния ядра в первое возбужденное состояние со спином и четностью 2^+ ($|\beta_2(B(E2)\uparrow)|$); из значений квадрупольных моментов ядер Q ($|\beta_2(Q_{mom})|$) и рассчитанные теоретически в модельном подходе ($|\beta_2\text{-}calc|$). Из анализа графиков зависимости рисунка 2 следует существенное различие в оценке параметра квадрупольной деформации, полученной приведенными выше способами. Численные данные типа $|\beta_2(B(E2)\uparrow)|$ заметно превышают данные типа $|\beta_2(Q_{mom})|$. В первом случае минимальные значения параметра квадрупольной деформации наблюдаются вокруг магических чисел нейтронов N=20, 28. В остальной области значений A нуклоны, находящиеся сверх заполненных оболочек деформируют сферически симметричную форму ядра, и β_2 возрастает. Во втором случае численные данные для параметра деформации значительно

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

меньше и наблюдаются практически во всей области исследуемых значений A. Такое поведение параметра квадрупольной деформации β_2 служит свидетельством нестабильности равновесной формы изотопов кальция $_{20}Ca$.

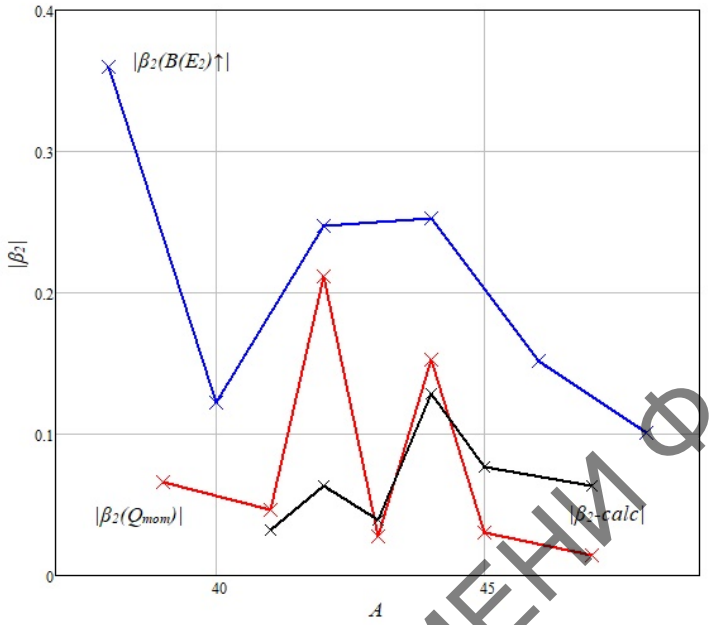


Рисунок 2 – Зависимость модуля квадрупольной деформации $|\beta_2|$ от числа нуклонов A для изотопов кальция $_{20}Ca$

Если ядро не обладает не только сферической, но и аксиальной симметрией (модель Нильссона), то его форма определяется тремя характеристиками: квадрупольным моментом Q, параметром квадрупольной деформации β_2 и параметром деформации δ. Параметр деформации δ, введенный Нильссоном, связан с обычным параметром равновесной деформации β_2 соотношением:

$$\delta(\beta_2) = \frac{2\left(\frac{8}{15}\pi\right)^{-\frac{1}{2}}\beta_2\left[\left(1+\left(\frac{4}{5}\pi\right)^{-\frac{1}{2}}\beta_2\right)^2\left(1-2\left(\frac{4}{5}\pi\right)^{-\frac{1}{2}}\beta_2\right)\right]^{-\frac{1}{3}}}{2\varkappa}, \quad (1)$$

где параметр $\varkappa$=0,08.

На рисунке 3 а), б) представлена зависимость параметра деформации δ модели Нильссона от параметра квадрупольной деформации β_2 для изотопов кальция $_{20}Ca$, полученная на основе формулы (1) и данных БД «Карта параметров формы и размеров ядер». Параметр деформации δ с учетом данных типа $|\beta_2(B(E2)\uparrow)|$ (рисунок 3, а)) принимает значения в пределах до 5, а в случае данных типа $|\beta_2(Q_{mom})|$ (рисунок 3, б)) – до 3. Это является признаком проявления динамической деформации изотопов кальция $_{20}Ca$, связанной с колебаниями ядерной поверхности не только в возбужденных состояниях, но и в основном.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

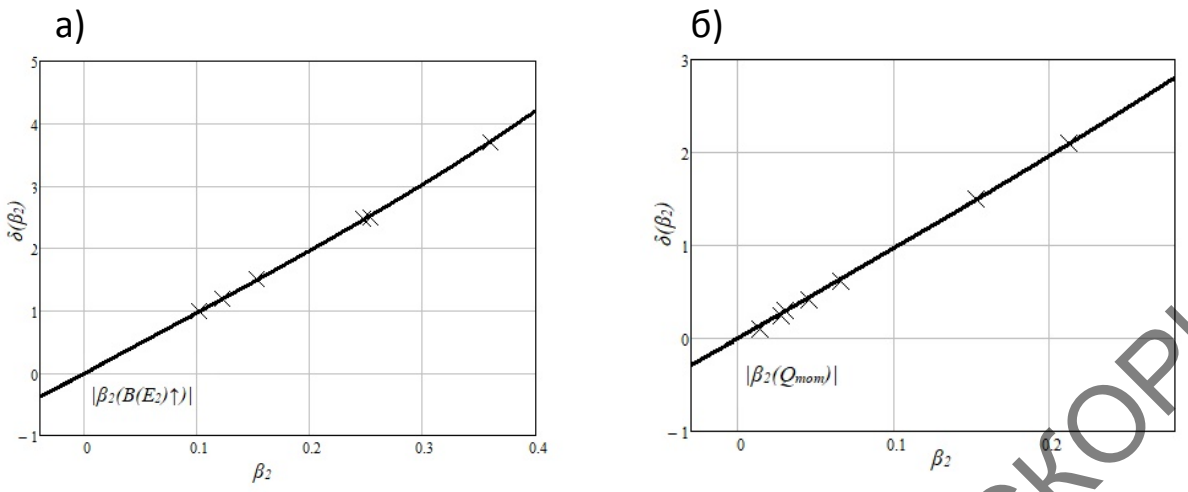


Рисунок 3 – Зависимость параметра деформации δ модели Нильссона от параметра квадрупольной деформации β_2 для изотопов кальция $_{20}Ca$ в случае данных типа: а) $|\beta_2(B(E2)\uparrow)|$, б) $|\beta_2(Q_{mom})|$

Анализ параметров формы и размера изотопов магического ядра кальция $_{20}Ca$ в модельном подходе, основанном на использовании потенциала Нильссона, а также численных данных БД «Карта параметров формы и размеров ядер» ЦДФЭ, позволяет получить информацию о статической и динамической деформации ядер. Колебательные степени свободы ядра играют существенную роль в области легких изотопах кальция. При возникновении статической деформации для тяжелых изотопов кальция на первый план выходят вращательные степени свободы. Динамическая деформация поверхности ядер наблюдается в возбужденных состояниях.

Литература

1. Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) [Электронный ресурс] / Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ). – Россия, 2003. – Режим доступа: http://cdfe.sinp.msu.ru/index.ru.html. – Дата доступа: 15.03.2020.

2. Нильсон, С. Связанные состояния индивидуальных нуклонов в сильно деформированных ядрах / С. Нильсон // Сборник «Деформация ядерных ядер». – Перев. с англ. М.: Иностр. лит., 1958. – С. 232-304.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

М. В. Ритарева (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р. физ.-мат. наук, доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ЧАСТИЦ

Введение

Одной из часто используемых моделей для моделирования процессов взаимодействия элементарных частиц с веществом является программный пакет Geant4 (введение в Geant4).

В этой статье мы опишем, как проектировать материалы, определять геометрию структуры и получать энергетический спектр излучения с определенной инструментальной формой линии (AFL) в Geant4.

Описание экспериментальной установки.

Порядок работы с Geant4 следующий: сначала разрабатывается экспериментальный план, а также изучаются основные свойства и характер взаимодействия экспериментальных частиц. Затем программа компилируется на объектно-ориентированном языке C ++ с использованием библиотек, включенных в Geant4. После этого исходные коды программы компилируются, программа исполняется и проводится анализ результатов.

Упрощенная модель для любого физико-ядерного эксперимента состоит из трех компонентов:

1. Источник излучения
2. Объект исследования (образец)
3. Детектор излучения.

В этой работе моделируется такая упрощенная система, и описывается каждый этап создания программы моделирования.

Программа симуляции состоит из следующих классов

• Физический список: содержит список используемых частиц (гамма-квантов, электронов, позитронов) и процессов, в которых они могут принимать участие (фотоэлектрический эффект, комптоновское рассеяние, образование электрон-позитронных пар для гамма-излучения; рассеяние, ионизация, тормозящее излучение , Аннигиляция электронов / позитронов).

• DetectorConstruction: содержит описание используемых материалов, геометрию системы, детектор, настройки визуализации.

• PrimaryGenerationAction: этот класс описывает источник частиц, в нашем случае точечный источник для гамма-лучей.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

• RunAction: методы этого класса вызываются в начале и в конце процесса моделирования. В нашей программе моделирования этот класс создает гистограммы для хранения энергетического спектра до начала моделирования, накапливает события в спектре во время моделирования и сохраняет гистограмму в файле в конце моделирования.

• DetectorSD: методы этого класса вызываются, когда частицы проходят через детектор, и в нашем случае этот класс используется для подсчета количества энергии, оставленной частицами в детекторе.

Geant4 - это бесплатный программный пакет, состоящий из инструментов, используемых для точного моделирования прохождения частиц через вещество.

Описание материалов и геометрии системы

Geant4 уже содержит базу данных большого количества материалов. Вы можете скачать материал из этой базы данных следующим образом:

G4NistManager* nistMan = G4NistManager::Instance(); G4Material* Water = nistMan->FindOrBuildMaterial("G4_WATER");

Мы получаем указатель на базу данных (* nistMan) и запрашиваем материал «G4_WATER» (в начале всех материалов из базы данных Geant4 он содержит префикс G4_).

Геометрия системы описывается в Geant4 как иерархия тел. Самое большое тело называется Мир (World) и содержит все остальные тела геометрии. Тело, содержащее другие тела, называется матерью. Описание тела состоит из задачи его типа (параллелепипед, цилиндр, сфера, ...) и размеров материала, из которого оно сделано, материнского тела и координат относительно материнского тела.

Пример описания параллелепипеда:

Параллелепипед с полу размерами сторон вдоль осей X, Y и Z в 1 м. G4Box* world_box = new G4Box("world", 1*m, 1*m, 1*m);

Заполняем его материалом “Air”. G4LogicalVolume* world_log = new G4LogicalVolume(world_box, Air, "world");

И помещаем в центр координат. G4VPhysicalVolume* world_phys = new G4PVPlacement(0, G4ThreeVector(), world_log, "world", 0, false, 0);

Источник частиц

Источник частиц создается в классе PrimaryGeneratorAction:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

particleGun = new G4ParticleGun(1); particleGun->SetParticleDefinition(G4Gamma::GammaDefinition()); particleGun->SetParticleEnergy(100*keV); particleGun->SetParticlePosition(G4ThreeVector(0, 0, 0)); particleGun->SetParticleMomentumDirection(G4ThreeVector(0, 0, 1));

Заключение

В процессе работы были написаны программы на языке C++, использующие функции Geant4. Проведено моделирование истинных спектров 137Cs, 40K. Проведенные эксперименты позволили сделать вывод, что пакет Geant4 обладает всеми необходимыми свойствами для моделирования электромагнитных взаимодействий и не только.

Литература

1. Широков Ю. М., Ядерная физика/ Ю. М. Широков, Н.П. Юдин– М.: Наука,1980. – 727 с.
2. Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий: Пер. с англ./ Д. Перкинс– М.: Энергоатомиздат, 1991. – 429 с.
3. Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц/ Л. Б. Окунь– М.: Наука, 1988. – 272 с.
4. Introduction to Geant4[Electronic resource] - Mode of access: http://geant4userdoc.web.cern.ch/geant4userdoc/UsersGuides/IntroductionToGeant4/html/index.html– Date of access: 04.04.2019
5. Корнеев А. Е. Практикум по компьютерному моделированию ядерных процессов с использованием библиотек Geant4/А.Е Корнеев, В.А. Мечинский; Минск-2017-URL: https://studylib.ru/doc/4050808/modelirovanie-e-nergeticheskih-spektrov-chastic. –Дата доступа: 03.03.2020.

С. В. Стельмашонок (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)

Научный руководитель **Д. Г. Кроль,** канд. физ.-мат. наук, доцент

НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ МЕЖДУ КОАКСИАЛЬНЫМИ ЦИЛИНДРАМИ

Классический вариант стационарного течения вязкой жидкости между двумя коаксиальными вращающимися цилиндрами изучен достаточно подробно и не представляет большого научного интереса. В данной работе исследуется один из неклассических вариантов задачи:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

учитывается сила сопротивления Релея $\boldsymbol{F} = -\zeta\boldsymbol{\upsilon}$, где $\zeta > 0$ – коэффициент «внешнего» трения, $\boldsymbol{\upsilon}$ – вектор скорости. Прикладной интерес в изучении данной задачи связан с гидродинамической теорией смазки, с формированием вихревых структур в природных и технических гидродинамических системах. Цель данной работы: проанализировать воздействие релеевской силы сопротивления $\boldsymbol{F} = -\zeta\boldsymbol{\upsilon}$ на завихренность течения жидкости между соосными вращающимися цилиндрами.

Рассмотрим класс стационарных цилиндрических течений вязкой несжимаемой жидкости в полярных координатах (r, φ):

$$\upsilon_r \equiv 0,\ \upsilon_\varphi = \upsilon(r),\ p = p(r),\ T = T(r), \tag{1}$$

$$F_r \equiv 0,\ F_\varphi = F_\varphi(\boldsymbol{\upsilon}^2, T, r), \tau_{rr} \equiv 0,\ \tau_{\varphi\varphi} \equiv 0,\ \tau_{r\varphi} = \mu\left(d\upsilon/dr - \upsilon/r\right).$$

Здесь основные обозначения общепринятые; $\boldsymbol{F}(F_r, F_\varphi)$ – вектор массовой силы; τ_{rr}, $\tau_{\varphi\varphi}$, $\tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi r}$ – компоненты девиатора тензора напряжений; μ – коэффициент динамической вязкости. Воздействие внутренних источников тепла и теплообмен жидкости с внешней средой моделируем объемным источником энергии $q_\upsilon(\boldsymbol{\upsilon}^2, T, r)$. В изучаемой работе рассматриваем процессы, для которых можно пренебречь выделением тепла за счет вязкой диссипации энергии, т.е. для диссипативной функции Φ выполняется условие $\Phi << |q_\upsilon|$.

Движение вязкой жидкости (1) определяется уравнениями Навье-Стокса и уравнением энергии:

$$\frac{d^2\upsilon}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d\upsilon}{dr} = \frac{\upsilon}{r^2} - \frac{F_\varphi}{\nu},\ \frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dT}{dr} = -\frac{q_\upsilon}{\lambda}, \tag{2}$$

Здесь приняты следующие обозначения: $F_\varphi = -\zeta\upsilon$, $\zeta = \zeta(\upsilon^2, T, r)$, $q_\upsilon = q_\upsilon(\upsilon^2, T, r)$, $\nu = \mu/\rho$. Давление $p(r)$ определяем независимо от уравнений (2) из уравнения неразрывности:

$$(dp/dr)/\rho = \upsilon^2/r.$$

Применяем безразмерные величины $\overline{\upsilon} = \upsilon/\upsilon_1$, $\overline{\tau} = \tau/\upsilon_1$, $\overline{r} = r/r_0$, где черта сверху обозначает безразмерную переменную; $T - T_0 = \upsilon_1\tau/c_1$; c_1, r_0, υ_1 – положительные постоянные, имеющие размерность удельной теплоемкости, длины и скорости соответственно; T_0 – отсчетное значение температуры. Если положить, что коэффициент сопротивления $\overline{\zeta}$ и источник энергии $\overline{q}_\upsilon$ имеют частные зависимости вида: $\overline{\zeta} \equiv r_0^2\zeta/\nu = \left[2(1 - 3\overline{\tau}^2 + \overline{\upsilon}^2) - 1\right]/\overline{r}^2$,

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$\overline{q}_\upsilon \equiv c_1 r_0^2 q_\upsilon / (\lambda \upsilon_1^2) = 2\overline{\tau}(\overline{\tau}^2 - 3\overline{\upsilon}^2 - 1)/\overline{r}^2$, то система уравнений (2) имеет точное решение [1, 2]:

$$\overline{\upsilon} = 2\varepsilon \cdot \sin(2\alpha)/\delta,\ \overline{\tau} = (1-\varepsilon^2)/\delta,\ \delta = 1 + \varepsilon^2 + 2\varepsilon \cdot \cos(2\alpha),\ \alpha = \ln(r/r_0) \quad (3).$$

Здесь ε – параметр решения. Для случая $\varepsilon^2 = 1$ получаем изотермическое течение, $T = T_0 \equiv \mathrm{const}$. Для коэффициента сопротивления $\overline{\zeta}$ и источник энергии $\overline{q}_\upsilon$ явная зависимость от радиальной координаты характеризует структурную неоднородность, присущую внешней силе сопротивления за счет образования кластеров. Неравенства $\partial\overline{\zeta}/\partial(\overline{\tau}^2) < 0$, $\partial\overline{\zeta}/\partial(\overline{\upsilon}^2) > 0$ характеризуют динамические и тепловые свойства коэффициента сопротивления. Для качественного и количественного описания свойств неклассического течения здесь применяются числа Тейлора [3]. Число Ta_1 строим на основе функции завихренности $\overline{\omega} = \overline{\omega}(\overline{r})$: $\mathrm{Ta}_1 = \dfrac{d}{d\overline{r}}\left[(\overline{\omega}\overline{r}^2)^2\right] \Big/ \left[\overline{r}^5\left(\dfrac{d\overline{\omega}}{d\overline{r}}\right)^2\right]$. Число Ta_2 строим на основе угловой скорости $\Omega = \overline{\upsilon}/\overline{r}$: $\mathrm{Ta}_2 = \dfrac{d}{d\overline{r}}\left[(\Omega\overline{r}^2)^2\right] \Big/ \left[\overline{r}^5\left(\dfrac{d\Omega}{d\overline{r}}\right)^2\right]$.

Важным источником информации о течении жидкости является зависимость момента $\overline{M}_1$ вязких сил и момента $\overline{M}_2$ сил сопротивления от радиальной координаты: $\overline{M}_1 = 2\pi\overline{\tau}_{r\varphi}\overline{r}^2$, $\overline{M}_2 = -\pi\overline{\nu}\overline{\zeta}\overline{\upsilon}\overline{r}^3$. Из (3) следует, что $\delta > 0$ при $\varepsilon^2 \neq 1$. Если $\varepsilon^2 < 1$, то $\tau > 0$, течение происходит в «горячей» области, $T > T_0$. Если $\varepsilon^2 > 1$, то $\tau < 0$, имеем «холодную» область, $0 < T < T_0$. На рисунке приведены некоторые результаты расчетов для «горячей» области для варианта, при котором неподвижен внутренний цилиндр, а внешний цилиндр вращается с постоянной угловой скоростью. Из этих расчетов видно, что число Тейлора $\mathrm{Ta}_1(q)$ уменьшается с увеличением модуля теплового потока, а число Тейлора $\mathrm{Ta}_2(q)$ наоборот увеличивается. Вязкое касательное напряжение и градиент давления оказывают конкурентное воздействие на угловую скорость течения: при росте $\tau_{r\varphi}$ угловая скорость Ω монотонно уменьшается, а при увеличении $d\overline{p}/d\overline{r}$ наблюдается рост Ω. Момент вязких сил $\overline{M}_1$ и модуль момента сил сопротивления $|\overline{M}_2|$ монотонно растут по мере удаления от неподвижного внутреннего цилиндра.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

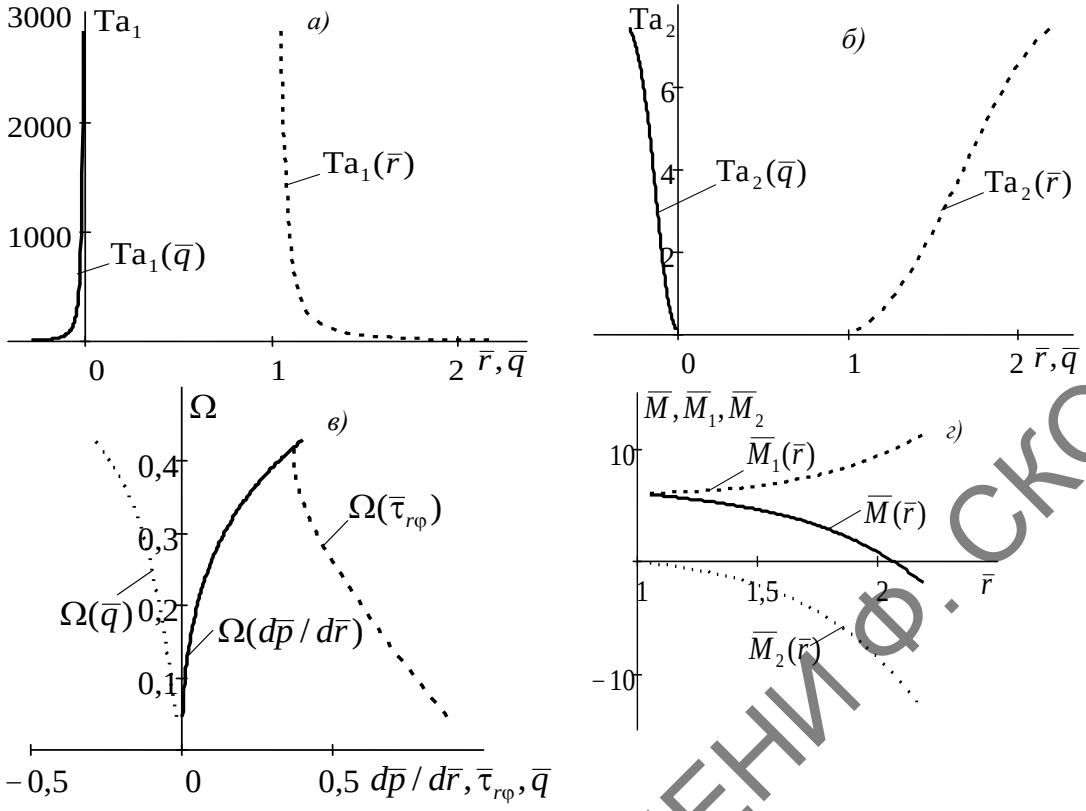


Рисунок1 – Неизотермические свойства вихревого поля

$\varepsilon = 0{,}7$, $r_1 = 2{,}19$, $r_0 = 1{,}05$.

Данная работа выполнена в рамках ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии 2.84». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.

Литература

1. Шабловский, О. Н. Нелинейное сопротивление и завихренность течения жидкости между коаксиальными вращающимися цилиндрами / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль, И. А. Концевой // Ученые записки Забайкальского гос. ун-та. Физика. Математика. Техника. Технология. – 2016. – Т.11, №4. – С. 59–68.

2. Шабловский, О. Н. Структура неоднородности вихревого поля при течении жидкости между коаксиальными вращающимися цилиндрами / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль, И. А. Концевой // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого: научно - практический журнал. – 2017. – № 1. – С. 11-18.

3. Белоцерковский, О. М. Турбулентность: новые подходы/ О. М. Белоцерковский, А. М. Опарин, В. М. Чечеткин. – М.: Наука, 2003. – 286 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. И. Толкачёв (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. Н. Капшай,** канд. физ.-мат. наук, доцент

МАТРИЧНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБ ОТРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ОТ ДВУХСЛОЙНОЙ БИИЗОТРОПНОЙ СТРУКТУРЫ НА ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОДЛОЖКЕ

Введение. В настоящее время отмечается повышенный интерес к композитным электромагнитным материалам. В частности, на практике наибольшее распространение получили многослойные структуры, которые могут обеспечивать возможность создания покрытий с требуемыми электромагнитными свойствами. Использование биизотропных материалов по сравнению с диэлектриками позволяет увеличить число варьируемых параметров в задаче создания новых покрытий. Поэтому разработка аналитических методов расчета взаимодействия электромагнитного излучения со слоистыми биизотропными структурами представляет собой важную и актуальную проблему.

Постановка задачи. Направим ось Oz вверх (рисунок 1). Пусть область $z \leq 0$ заполнена биизотропной средой 1 с параметрами ε_1, μ_1, χ_1, α_1; в области $0 < z \leq d_2$ находится биизотропный слой 2 с параметрами ε_2, μ_2, χ_2, α_2; область $d_2 < z \leq d_2 + d_3$ заполнена биизотропной средой 3 (ε_3, μ_3, χ_3, α_3); а выше ($z > d_2 + d_3$) находится подложка 4 с коэффициентом отражения R_ν^{34}.

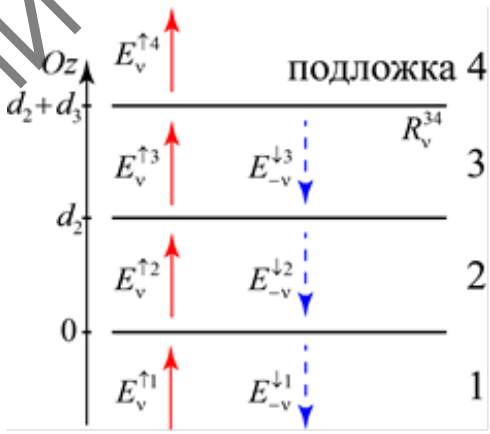


Рисунок 1 – Схема отражения волны от двухслойной биизотропной структуры 23 на отражающей подложке 4.

Рассмотрим нормальное падение плоской циркулярно поляризованной электромагнитной волны на структуру, изображенную на рисунке 1. Падающую и отраженную волны возьмем в виде

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$\vec{E}_{\nu}^{\uparrow 1} = \left(\vec{i} + i\nu\vec{j}\right) E_{\nu}^{\uparrow 1} \exp\left(ik_{\nu}^{1} z - i\omega t\right), \qquad \vec{H}_{\nu}^{\uparrow 1} = -b_{\nu}^{1} \vec{E}_{\nu}^{\uparrow 1},$$
$$\vec{E}_{-\nu}^{\downarrow 1} = \left(\vec{i} + i\nu\vec{j}\right) E_{-\nu}^{\downarrow 1} \exp\left(-ik_{-\nu}^{1} z - i\omega t\right), \qquad \vec{H}_{-\nu}^{\downarrow 1} = -b_{-\nu}^{1} \vec{E}_{-\nu}^{\downarrow 1}. \tag{1}$$

Уравнения для волн, распространяющихся в слое номер p (p = 1, 2, 3, 4; $E_{-\nu}^{\downarrow 4} = 0$), имеют вид

$$\vec{E}_{\nu}^{\uparrow p} = \left(\vec{i} + i\nu\vec{j}\right) E_{\nu}^{\uparrow p} \exp\left(ik_{\nu}^{p}\left(z - \sum_{s=2}^{p-1} d_s\right) - i\omega t\right), \qquad \vec{H}_{\nu}^{\uparrow p} = -b_{\nu}^{p} \vec{E}_{\nu}^{\uparrow p},$$
$$\vec{E}_{-\nu}^{\downarrow p} = \left(\vec{i} + i\nu\vec{j}\right) E_{-\nu}^{\downarrow p} \exp\left(-ik_{-\nu}^{p}\left(z - \sum_{s=2}^{p-1} d_s\right) - i\omega t\right), \qquad \vec{H}_{-\nu}^{\downarrow p} = -b_{-\nu}^{p} \vec{E}_{-\nu}^{\downarrow p}. \tag{2}$$

В выражениях (1), (2) индекс ν характеризует поляризацию исходной волны (+1 — правая циркулярная, –1 — левая циркулярная), волновые числа $k_{\sigma}^{p} = \frac{2\pi}{\lambda}\left(\sqrt{\varepsilon_p \mu_p - \chi_p^{\,2}} + \sigma\alpha_p\right)$, σ = ±ν, а коэффициенты пропорциональности между напряженностью электрического и магнитного полей $b_{\sigma}^{p} = \left(\chi_p + i\sigma\sqrt{\varepsilon_p \mu_p - \chi_p^{\,2}}\right) / \mu_p$. Отметим, что волны, распространяющиеся в положительном направлении оси Oz, имеют одинаковую поляризацию с падающей волной (ν), а распространяющиеся в отрицательном направлении – противоположную (–ν) [1].

Под коэффициентом отражения будем понимать отношение амплитуд напряженностей отраженной и падающей волн:

$$R_{\nu} = E_{-\nu}^{\downarrow 1} / E_{\nu}^{\uparrow 1}. \tag{3}$$

Далее рассмотрим различные способы нахождения коэффициента отражения (3) от слоистой структуры, изображенной на Рис. 1.

Матричный метод. Введем следующие матрицы [2]:

$$\mathbf{E}_4 = \begin{bmatrix} E_{\nu}^{\uparrow 4} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{E}_p = \begin{bmatrix} E_{\nu}^{\uparrow p} \\ E_{-\nu}^{\downarrow p} \end{bmatrix}, \qquad p = 1,\ 2,\ 3,$$
$$\mathbf{M}_p = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -b_{\nu}^{p} & -b_{-\nu}^{p} \end{bmatrix}, \qquad p = 1,\ 2,\ 3,\ 4, \tag{4}$$
$$\mathbf{\Phi}_p = \begin{bmatrix} \eta_{\nu}^{p} & 0 \\ 0 & \left(\eta_{-\nu}^{p}\right)^{*} \end{bmatrix}, \qquad p = 2,\ 3.$$

где $\eta_{\sigma}^{p} = \exp\left(ik_{\sigma}^{p} d_p\right)$. Матрицы $\mathbf{\Phi}_2$ и $\mathbf{\Phi}_3$ учитывают набег фаз при прохождении слоев 2 и 3 соответственно, их также называют фазовыми множителями. Граничные условия для векторов напряженности электрического и магнитного полей примут вид

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$
\begin{aligned}
&z=0: && \mathbf{M}_1\mathbf{E}_1=\mathbf{M}_2\mathbf{E}_2,\\
&z=d_2: && \mathbf{M}_2\mathbf{\Phi}_2\mathbf{E}_2=\mathbf{M}_3\mathbf{E}_3,\\
&z=d_2+d_3: && \mathbf{M}_3\mathbf{\Phi}_3\mathbf{E}_3=\mathbf{M}_4\mathbf{E}_4.
\end{aligned}
\tag{5}
$$

Но для последней границы ($z = d_2 + d_3$) также можно записать выражение для коэффициента отражения подложки:

$$
R_\nu^{34}=\left(E_{-\nu}^{\downarrow 3}\left(\eta_{-\nu}^{3}\right)^{*}\right)\Big/E_\nu^{\uparrow 3}\eta_\nu^{3}. \tag{6}
$$

Далее выразим амплитуды $\mathbf{E}_1$ через $\mathbf{E}_3$:

$$
\begin{aligned}
\mathbf{E}_1&=\left(\mathbf{M}_1^{-1}\mathbf{M}_2\right)\left(\mathbf{\Phi}_2^{-1}\mathbf{M}_2^{-1}\mathbf{M}_3\right)\mathbf{E}_3=\\
&=\left(\mathbf{M}_1^{-1}\mathbf{M}_2\right)\left(\mathbf{\Phi}_2^{-1}\mathbf{M}_2^{-1}\mathbf{M}_3\right)\begin{bmatrix}1\\ R_\nu^{34}\eta_{-\nu}^{3}\eta_\nu^{3}\end{bmatrix}E_\nu^{\uparrow 3}=\mathbf{\Lambda}E_\nu^{\uparrow 3},
\end{aligned}
\tag{7}
$$

где $\mathbf{\Lambda}$ — матрица-столбец с элементами Λ_1, Λ_2. Используя соотношение (7), получим окончательное выражение для коэффициента отражения от данной структуры (3):

$$
R_\nu=\frac{\Lambda_2}{\Lambda_1}=\frac{\begin{pmatrix}\left(b_\nu^2-b_\nu^1\right)\left(b_{-\nu}^2-b_\nu^3+R_\nu^{34}\eta_{-\nu}^{3}\eta_\nu^{3}\left(b_{-\nu}^2-b_{-\nu}^3\right)\right)+\\ +\eta_{-\nu}^{2}\eta_\nu^{2}\left(b_{-\nu}^2-b_\nu^1\right)\left(\left(b_\nu^3-b_\nu^2\right)+R_\nu^{34}\eta_{-\nu}^{3}\eta_\nu^{3}\left(b_{-\nu}^3-b_\nu^2\right)\right)\end{pmatrix}}{\begin{pmatrix}\left(b_{-\nu}^1-b_\nu^2\right)\left(b_{-\nu}^2-b_\nu^3+R_\nu^{34}\eta_{-\nu}^{3}\eta_\nu^{3}\left(b_{-\nu}^2-b_{-\nu}^3\right)\right)+\\ +\eta_{-\nu}^{2}\eta_\nu^{2}\left(b_{-\nu}^1-b_{-\nu}^2\right)\left(\left(b_\nu^3-b_\nu^2\right)+R_\nu^{34}\eta_{-\nu}^{3}\eta_\nu^{3}\left(b_{-\nu}^3-b_\nu^2\right)\right)\end{pmatrix}}. \tag{8}
$$

Заключение. В данной работе матричным методом получен коэффициент отражения нормально падающей электромагнитной волны от двухслойной биизотропной структуры на отражающей подложке (Рис. 1), это формула (8). Выражение (8) в общем случае является комплексным, это свидетельствует о том, что при отражении от такой структуры будет происходить изменение фазы отраженной волны по отношению к фазе падающей волны.

Литература

1. Капшай, В.Н. Отражение и преломление плоской электромагнитной волны на границе раздела биизотропных сред / В.Н. Капшай, В.В. Кондратюк // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – 2009. – № 5 (56). – С. 129–133.

2. Капшай, В.Н. Прохождение плоских электромагнитных волн через многослойную биизотропную структуру / В.Н. Капшай, А.А. Шамына // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – №4 (13). – С. 10–14.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. И. Толкачёв (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. Н. Капшай,** канд. физ.-мат. наук, доцент

ДВА МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБ ОТРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ОТ ДВУХСЛОЙНОЙ БИИЗОТРОПНОЙ СТРУКТУРЫ НА ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОДЛОЖКЕ

Введение. Использование биизотропных материалов по сравнению с диэлектриками позволяет существенно увеличить число варьируемых параметров в задаче создания новых многослойных покрытий, поскольку материальные уравнения в биизотропной среде принимают вид

$$\vec{D} = \varepsilon\vec{E} + (\chi + i\alpha)\vec{H}, \qquad \vec{B} = (\chi - i\alpha)\vec{E} + \mu\vec{H}. \tag{9}$$

Рассмотрим нормальное падение плоской циркулярно поляризованной электромагнитной волны на структуру, изображенную на Рис. 1, а, состоящую из биизотропных материалов. Ранее нами был найден коэффициент отражения от этой структуры матричным методом. Рассмотрим еще два способа его нахождения.

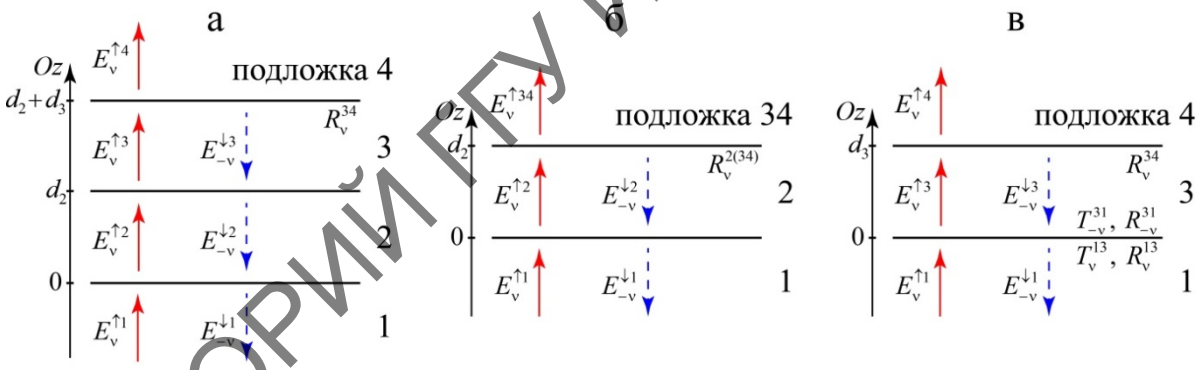


Рисунок 1 – а) Схема отражения волны от двухслойной биизотропной структуры 23 на отражающей подложке 4; б) Схема отражения волны от биизотропного слоя 2 на эквивалентной отражающей подложке 34; в) Схема отражения волны от биизотропного слоя 3 на отражающей подложке 4 с эквивалентными коэффициентами прохождения и отражения на границе 13.

Рекуррентный метод. Ранее нами был рассмотрен случай падения плоской электромагнитной волны из полубесконечной биизотропной среды 2 на биизотропный слой 3, находящийся на отражающей подложке 4 и найдено выражение для коэффициента отражения от такой структуры:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$R_{\nu}^{2(34)} = \frac{\left(b_{\nu}^{3} - b_{\nu}^{2}\right) + \left(b_{-\nu}^{3} - b_{\nu}^{2}\right) R_{\nu}^{34} \eta_{\nu}^{3} \eta_{-\nu}^{3}}{\left(b_{-\nu}^{2} - b_{\nu}^{3}\right) + \left(b_{-\nu}^{2} - b_{-\nu}^{3}\right) R_{\nu}^{34} \eta_{\nu}^{3} \eta_{-\nu}^{3}}. \qquad (10)$$

Рассматриваемая структура (Рисунок 1, а) содержит слой 2 конечной толщины d_2 и дополнительно полубесконечную среду 1. Используя выражение (2), можно заменить слой 3 на подложке 4 на эквивалентную подложку 34 с коэффициентом отражения на границе со слоем 2 равным $R_{\nu}^{2(34)}$. Такая структура представлена на рисунке. 1, б. Таким образом, снова получается структура, состоящая из трех частей: полубесконечная среда 1, биизотропный слой 2 и эквивалентная подложка 34. Коэффициент отражения для нее может быть рассчитан путем применения формулы (2) еще один раз:

$$R_{\nu} = \frac{\left(b_{\nu}^{2} - b_{\nu}^{1}\right) + \left(b_{-\nu}^{2} - b_{\nu}^{1}\right) R_{\nu}^{2(34)} \eta_{\nu}^{2} \eta_{-\nu}^{2}}{\left(b_{-\nu}^{1} - b_{\nu}^{2}\right) + \left(b_{-\nu}^{1} - b_{-\nu}^{2}\right) R_{\nu}^{2(34)} \eta_{\nu}^{2} \eta_{-\nu}^{2}}. \qquad (11)$$

С учетом подстановки (2) в (3), получается выражение, совпадающее с коэффициентом отражения, рассчитанным матричным методом.

Метод эквивалентных коэффициентов. При нормальном падении электромагнитной волны поляризации σ из биизотропной среды q на границу раздела с биизотропной средой s можно ввести коэффициенты прохождения и отражения:

$$\tau_{\sigma}^{qs} = \frac{b_{\sigma}^{q} - b_{-\sigma}^{q}}{b_{\sigma}^{s} - b_{-\sigma}^{q}}, \qquad \rho_{\sigma}^{qs} = \frac{b_{\sigma}^{q} - b_{\sigma}^{s}}{b_{\sigma}^{s} - b_{-\sigma}^{q}}. \qquad (12)$$

В работе [1] было показано, что аналогичные (4) коэффициенты прохождения и отражения можно ввести для случая распространения электромагнитной волны из биизотропной среды 1 в биизотропную среду 3 через биизотропный слой 2 толщины d_2:

$$T_{\sigma}^{13} = \tau_{\sigma}^{12} \frac{\eta_{\sigma}^{2} \tau_{\sigma}^{23}}{1 - \eta_{-\sigma}^{2} \eta_{\sigma}^{2} \rho_{\sigma}^{23} \rho_{-\sigma}^{21}}, \qquad R_{\sigma}^{13} = \rho_{\sigma}^{12} \frac{1 - \eta_{-\sigma}^{2} \eta_{\sigma}^{2} \rho_{\sigma}^{23} / \rho_{\sigma}^{21}}{1 - \eta_{-\sigma}^{2} \eta_{\sigma}^{2} \rho_{\sigma}^{23} \rho_{-\sigma}^{21}}. \qquad (13)$$

Аналогичным образом определяются коэффициенты прохождения и отражения для обратного падения (из среды 3 в среду 1):

$$T_{\sigma}^{31} = \tau_{\sigma}^{32} \frac{\eta_{\sigma}^{2} \tau_{\sigma}^{21}}{1 - \eta_{-\sigma}^{2} \eta_{\sigma}^{2} \rho_{\sigma}^{21} \rho_{-\sigma}^{23}}, \qquad R_{\sigma}^{31} = \rho_{\sigma}^{32} \frac{1 - \eta_{-\sigma}^{2} \eta_{\sigma}^{2} \rho_{\sigma}^{21} / \rho_{\sigma}^{23}}{1 - \eta_{-\sigma}^{2} \eta_{\sigma}^{2} \rho_{\sigma}^{21} \rho_{-\sigma}^{23}}. \qquad (14)$$

Теперь, используя выражения (5) и (6), мы эквивалентно «избавились» от слоя 2 и структура принимает вид, изображенный на рисунке 1, в. Получается структура их трех частей, коэффициент отражения для которой представим в виде

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$R_\nu = \rho_\nu^{12}\frac{1-R_\nu^{34}\eta_{-\nu}^3\eta_\nu^3\rho_{-\nu}^{32}-\left(1-\eta_{-\nu}^3\eta_\nu^3 R_\nu^{34}/\rho_\nu^{32}\right)\eta_{-\nu}^2\eta_\nu^2\rho_\nu^{23}/\rho_\nu^{21}}{1-R_\nu^{34}\eta_{-\nu}^3\eta_\nu^3\rho_{-\nu}^{32}-\left(1-\eta_{-\nu}^3\eta_\nu^3 R_\nu^{34}/\rho_\nu^{32}\right)\eta_{-\nu}^2\eta_\nu^2\rho_\nu^{23}\rho_{-\nu}^{21}}. \quad (15)$$

Данное выражение полностью совпадает с выражением, полученным матричным методом, но имеет более компактный вид благодаря введению коэффициентов τ_σ^{qs} и ρ_σ^{qs}, определяемых формулами (4).

Численный анализ. Проведем численный расчет коэффициентов отражения (3) и (7) для частного случая металлической подложки 4 ($R_\nu^{34}=-1$). Для произвольных параметров задачи энергетический коэффициент отражения $\mathrm{R}=\left|R_\nu\right|^2$ равен единице, что подтверждает правильность полученных аналитических формул. Но коэффициент отражения R_ν, как комплексное число, также характеризуется аргументом, это является изменением фазы волны при отражении от многослойной структуры. Построим графики зависимости аргумента R_ν от толщины слоя 3 для трех различных толщин слоя 2 (Рисунок 2).

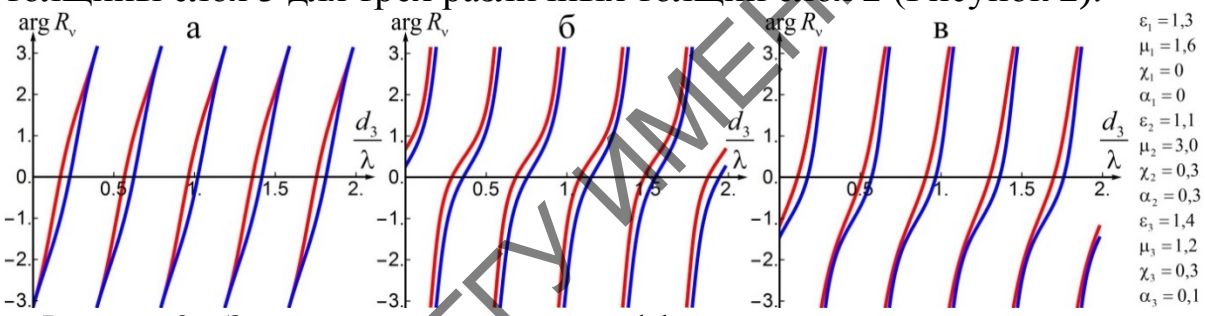


Рисунок 2 – Зависимость аргумента коэффициента отражения от отношения d_3/λ при а) $d_2/\lambda = 0$; б) $d_2/\lambda = 0{,}45$; в) $d_2/\lambda = 0{,}9$. Красному цвету соответствует $\nu = +1$, синему — $\nu = -1$.

Заключение. В данной работе двумя методами получен коэффициент отражения нормально падающей электромагнитной волны от двухслойной биизотропной структуры на отражающей подложке (Рисунок 1, а), это формулы (3) и (7).

В частном случае полностью отражающей металлической подложки 4 энергетический коэффициент отражения оказался равен единице. Графики на рисунке 2 свидетельствуют о том, что изменение фазы при отражении от такой структуры сложным образом зависит от толщин слоев 2 и 3, а также о различии фаз для правой и левой поляризаций падающих волн.

Литература

1. Капшай, В.Н. Прохождение плоских электромагнитных волн через многослойную биизотропную структуру / В.Н. Капшай, А.А.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Шамына // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – №4 (13). – С. 10–14.

А. С. Чугунов (БрГТУ, Брест)
Науч. рук. **С. В. Чугунов,** ст. преподаватель

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ P-I-N ФОТОДИОДОВ

III-нитридное соединение материалов, состоящее из InN, GaN, AlN, и их сплавы, являются полупроводниками, обладающими такими физическими свойствами как: высокая подвижность электронов; высокое значение скорости насыщения носителей; хорошая термостойкость и проводимость; прямая и перестраиваемая по ширине запрещенная зона с высоким коэффициентом оптического поглощения.

Коэффициент поглощения III-нитридных материалов составляет более 10^4 см$^{-1}$ [1]. Значительная доля падающего света проникает в глубину на несколько сотен нанометров поглощающей области. Ширина запрещенной зоны материала $Al_xGa_{1-x}N$ (AlGaN) варьируется в диапазоне от 3,4 эВ до 6,2 эВ, в зависимости от пропорции *x* алюминия в составе соединения $Al_xGa_{1-x}N$ [2, 3]. Благодаря этим физическим свойствам, III-нитридные полупроводники являются перспективными материалами для многочисленных оптоэлектронных устройств, таких как светодиоды, лазерные диоды, солнечные элементы и фотодиоды.

В данной работе представлено моделирование p-i-n-фотодиодов на основе тройного соединения AlGaN с помощью программного средства Comsol-Multiphysics.

Исследуемая структура является типичной для нитридных фотодиодов и показана на рисунке 1. Между слоями “n” и “p”, с умеренной электронной и дырочной проводимостью, помещается i-слой с собственной проводимостью, в котором происходит основное поглощение принимаемого света и преобразование его в свободные носители заряда. Данная трехслойная структура дополняется сверху и снизу слоями с высокой степенью легирования “n+”и“p+”, которые позволяют получить омические контакты с металлическими выводами, изображенными на рисунке 1, утолщенными черными линиями.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

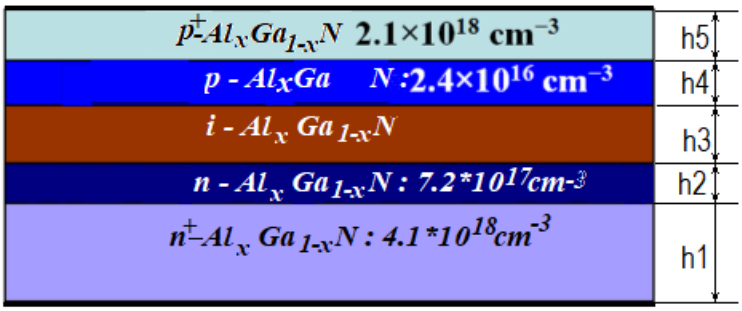


Рисунок 1 – Структура исследуемого p-i-n фотодиода

Толщины слоев, обозначенные как h1 – h5, являются параметрами, которые могут оперативно изменяться перед запуском модели на расчет. На практике контактная n+ область делается шире остальной структуры и омический контакт реализуется сверху выступающей части. Однако, такая геометрия, будучи заложенной в расчет, неоправданно усложняет его, без заметного изменения результатов.

Модуль «оптоэлектроника» программного продукта Comsol-Multiphysics решает ряд основных полупроводниковых уравнений, состоящих из уравнения Пуассона, уравнения неразрывности и уравнений переноса для электронов и дырок. Кроме того, он предлагает несколько современных физических моделей взаимодействия полупроводника с электромагнитным излучением.

Численное моделирование проводилось для AlGaN p-i-n фотодиода при температуре 293 К. Ширина диода полагалась равной 20 мкм, толщина – размер в глубину -1 м. Выбор толщины обусловлен особенностью задания абсолютной величины электромагнитной мощности, которая в двумерной задаче считается распределенной в глубину на единицу длины, т.е. на 1 м.

В виду большой ширины запрещенной зоны AlGaN основным механизмом потери носителей в AlGaN является рекомбинация, обусловленная дефектами. В расчетах учитываются две модели рекомбинации. Упрощенная модель рекомбинации на дефектах (ловушках) Шокли-Рида-Холла (SRH), в которой ловушкам приписывается один энергетический уровень, а другие характеристики, включая концентрацию дефектов, выражаются временами жизни электронов и дырок. Данное время взято равным 1 нс, а энергетический уровень дефектов взят вблизи середины запрещенной зоны. Второй учитываемый тип - прямая рекомбинация с параметром $C=10^{-8}cm^{-3}s^{-1}$.

Comsol-Multiphysics предлагает несколько моделей оптической генерации и рекомбинации носителей. Была использована модель, основанная на расчете элемента переходной матрицы через время жизни

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

носителя при спонтанной рекомбинации, которое взято равным τ_{spon}=1 нс. Элемент переходной матрицы, также очень сильно зависит от показателя преломления материала – n. Величина последнего, в свою очередь, является функцией длины волны λ.

На основе построенной модели получены зависимости основных характеристик диодов от таких параметров, как мольная доля алюминия (*x*) и толщина слоя с собственной проводимостью (i-слоя). Так, на рисунке 2 представлен график зависимости величины фототока от длины световой волны и мольной доли алюминия в составе i-слоя (*x*) при падающей световой мощности 1 Вт.

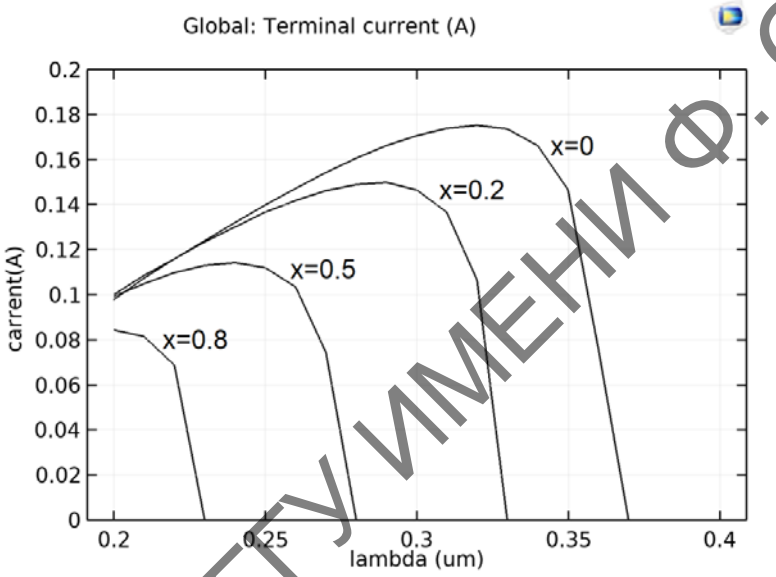


Рисунок 2 – Графики зависимости величины фототока (carrent) от длины световой волны (lambda) и мольной доли алюминия в составе i-слоя (*x*) при падающей световой мощности 1 Вт

Также, диод был изучен в отношении вольт-амперных характеристик, спектральной чувствительности, темнового тока с помощью симулятора Comsol-Multiphysics.

Результаты моделирования, представленные в этой работе, могут быть использованы для оптимизации фотоприемников AlGaN/GaN и разработки оптоэлектронных устройств нового поколения.

Литература

1. Заяц, Н.С. Оптические свойства пленок GaN/Al2O3, легированных кремнием / Н.С. Заяц, П.А. Генцарь, В.Г. Бойко, О .С. Литвин // Физика и техника полупроводников. – 2009.– Том 43, вып. 5. – С. 617-620.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. Mohammad, S.N. Progress and prospects of group-III nitride semiconductors / S.N. Mohammad, Y.H. Morkos // Prog. Quant. Electr. – 1996. – Vol. 20. – P. 361-525.

3. Ambacher, O. Growth and applications of Group III-nitrides / O. Ambacher // J. Phys. D: Appl. Phys. – 1998. – Vol. 31. – P. 2653.

В. С. Шарай (МГПУ имени И.П. Шамякина, Мозырь)
Науч. рук. **В. В. Давыдовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА РАСШИРЕНИЯ SIMULINK СРЕДЫ MATLAB

В настоящее время во всех современных системах автоматизации и управления широко используются средства обработки данных, в основе таких средств находятся цифровые элементы и устройства.

К современным цифровым устройствам можно отнести персональные компьютеры, ноутбуки, мобильные телефоны, видеопроекторы, устройства беспроводной передачи данных и др.

Каждое из таких цифровых устройств выполнено на основе функционально и конструктивно законченных элементов и устройств, выпускаемых промышленностью в виде цифровых интегральных схем, которые выполняют определённые сложные функции. Однако для выполнения одной сложной функции необходимо выполнить несколько простейших функций. Например, сложение двух двоичных чисел, поэтому исследование базовых логических элементов, таких как сумматор, регистр сдвига и т.д. [1].

Студенты ВУЗов физических специальностей при изучении ряда учебных дисциплин должны овладеть знаниями о принципах функционирования и методах создания различного рода электронных приборов, интегральных схем, устройств и систем для всех направлений современной электроники.

Изучение цифровой техники необходимо начинать с исследования принципов работы базовых элементов, на основе которых строятся цифровые схемы, а уже затем реализовывать на основе этих простейших элементов цифровые устройства любой сложности.

В настоящее время пользователям предложено огромное разнообразие средств анализа и моделирования цифровых логических

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

устройств, одним из самых популярных является MATLAB System Identification Toolbox и его пакет Simulink [2].

Это в первую очередь обусловлено разнообразием задач, решаемых в данном пакете, возможностью интеграции в схемы программируемых блоков, а также визуальным представлением, которое дает возможность значительно упростить процесс создания модели, что в целом позволяет добиваться результатов гораздо быстрее, чем при использовании языка MATLAB в чистом виде.

В рамках данного исследования были разработаны модели в пакете Simulink для изучения принципов работы комбинационных и последовательностных цифровых устройств. Данные модели могут быть использованы при изучении учебных дисциплин «Физическая электроника», «Архитектура ЭВМ» и др. направленных на приобретение навыков синтеза цифровых устройств и освоение приемов их моделирования в системе MATLAB+ Simulink [1, 2].

Основной элементарной операцией, выполняемой над кодами чисел в цифровых устройствах, является арифметическое сложение.

Один из простейших логических устройств, выполняющих сложение одноразрядных чисел без переноса результата сложения в старший разряд, называется сумматором по модулю 2 или логическим элементом «Исключающее ИЛИ». Этот узел лежит в основе арифметико-логического устройства ЭВМ (рисунок 1).

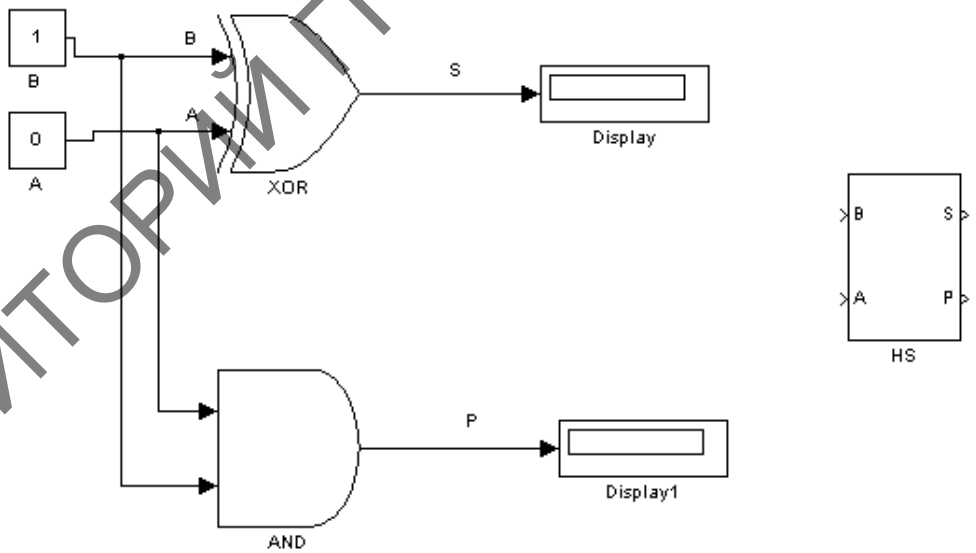


Рисунок 1 – Схема полусумматора на логических элементах «Исключающее ИЛИ» и «И»

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Пакет Simulink позволяет на базе схемы представленной на рисунке 1 создать модуль сумматора, который может быть использован при построении схемы одноразрядного сумматора (рисунок 2).

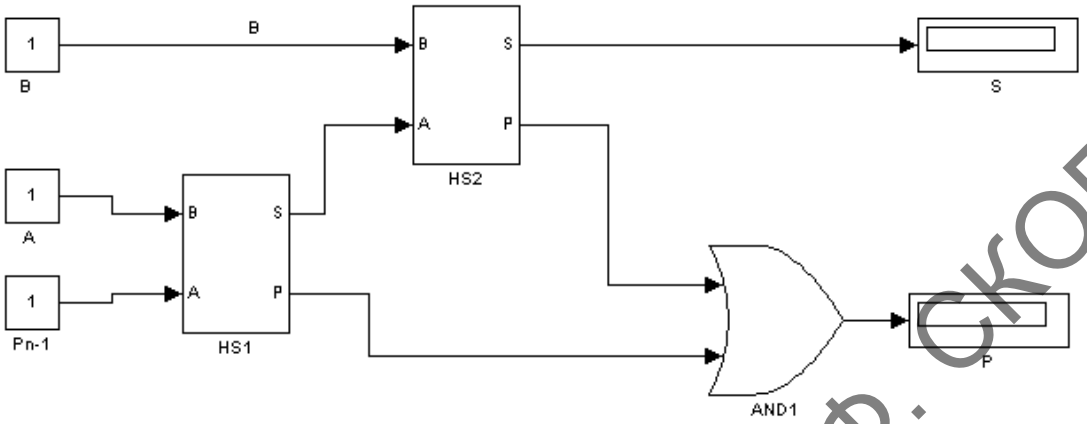


Рисунок 2– Схема одноразрядного сумматора

Таким образом, Simulink является достаточно удобным инструментом для проектирования систем управления и коммуникации, цифровой обработки и других приложений моделирования, обеспечивая удобный и наглядный визуальный контроль за поведением моделируемого объекта.

Литература

1. Дьяконов, В.П. Simulink. Самоучитель. / В.П. Дьяконов. – М. : ДМК Пресс, 2013. – 784 с.

2. Черных, И. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. / И. Черных. – М. : ИД Питер, 2007. – 288 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Секция 3 «Автоматизация исследований»

Председатели:
Левчук Виктор Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент.
Воруев Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент.

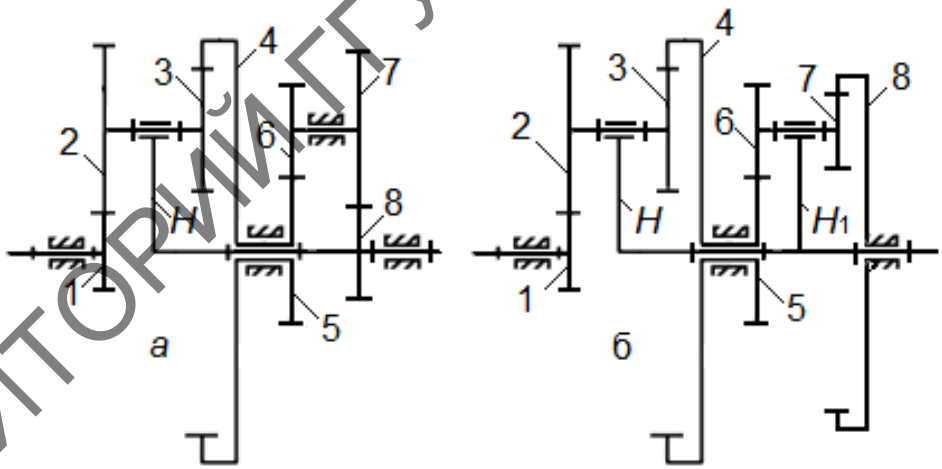
В. С. Акулич (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **А. Т. Бельский**, канд. техн. наук, доцент

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМКНУТЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

В технике широко применяют зубчатые механизмы, состоящие из дифференциального механизма с двумя степенями подвижности, между звеньями которого установлена промежуточная зубчатая передача, играющая роль замыкающего механизма.

Эта передача накладывает дополнительное условие связи, и дифференциальный механизм превращается в сложный планетарный механизм с одной степенью подвижности. Такой механизм получили название замкнутый дифференциальный механизм.

В качестве примера на рисунке 1 показаны два таких механизма.



Рисунке 1 – Замкнутые дифференциальные механизмы

На рисунке 1а ведущим звеном является звено 1, ведомым – колесо 8. Механизм состоит из дифференциала с колесами 1, 2, 3, 4 и водила *H* и замыкающего ступенчатого зубчатого механизма (ЗМ) с колесами 5, 6, 7 и 8.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

На рисунке 2б замыкание дифференциального механизма осуществляется с помощью планетарного механизма (ПМ), состоящего из колес 5, 6, 7, 8 и водила H_1.

Для определения угловых скоростей звеньев замкнутого дифференциального механизма сначала необходимо определить общее передаточное отношения механизма путем совместного решения уравнения, связывающего угловые скорости дифференциального механизма, и уравнения передаточного отношения замыкающего механизма

Для механизмов, изображенных на рисунке 1, уравнение, связывающее угловые скорости звеньев дифференциального механизма, имеет одинаковый вид:

$$\omega_1 = i_{14}^{H}\omega_4 + i_{1H}^{4}\omega_H .$$

Уравнения передаточных отношений для замыкающей части этих механизмов различны. Для механизма, изображенного на рисунке 1а

$$i_{58} = \frac{\omega_5}{\omega_8},$$

а для механизма, изображенного на рисунке 1б

$$i_{5H_1}^{8} = 1 - i_{58}^{H_1} .$$

Решая совместно эти уравнения, получаем соответственно зависимости для расчета общего передаточного отношения

$$i_{18} = i_{14}^{H} i_{58} + i_{1H}^{4}; \qquad i_{1H_1} = i_{14}^{H}(1 - i_{58}^{H_1}) + i_{1H}^{4} .$$

Из анализа этих зависимостей следует, что значение общего передаточного отношения замкнутого зубчатого механизма зависит от знака передаточных отношений, входящих в данные формулы.

Знак передаточного отношения в свою очередь зависит от вида зацепления зубчатых колес. При внешнем зацеплении передаточное отношение отрицательно, а при внутреннем – положительно.

Передаточные отношения, входящие в выше приведенные формулы, выраженные через числа зубьев, имеют вид

$$i_{14}^{H} = \left(-\frac{z_2}{z_1}\right)\left(\frac{z_4}{z_3}\right); \quad i_{58} = \left(-\frac{z_6}{z_5}\right)\left(-\frac{z_8}{z_7}\right); \quad i_{1H}^{4} = 1 - i_{14}^{H}; \quad i_{58}^{H_1} = \left(-\frac{z_6}{z_5}\right)\left(\frac{z_8}{z_7}\right).$$

Автоматизировать расчет угловых скоростей при таком подходе не представляется возможным, так как для каждого случая должна быть написана своя программа расчета.

Для устранения этого недостатка было предложено считать передаточное отношение между двумя зубчатыми колесами независимо от

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

вида зацепления всегда отрицательным. Для получения требуемого результата в зависимость для расчета передаточного отношения числа зубьев колес с внешними зубьями необходимо подставлять со знаком минус, а с внутренними – со знаком плюс.

В этом случае будем иметь

$$i_{14}^{H} = \left(-\frac{-z_2}{-z_1}\right)\left(-\frac{z_4}{-z_3}\right) = \left(-\frac{z_2}{z_1}\right)\left(\frac{z_4}{z_3}\right),$$

что соответствует ранее приведенной формуле.

Такой подход позволил все многообразие замкнутых механизмов свести к двум структурным схемам, которые отличаются только видом замыкающего механизма.

Учитывая вышесказанные допущения, была разработана система автоматизированного расчета. Загружая автоматизированную систему расчета угловых скоростей замкнутого дифференциального механизма, на экране монитора высвечивается картинка (рисунок 2).

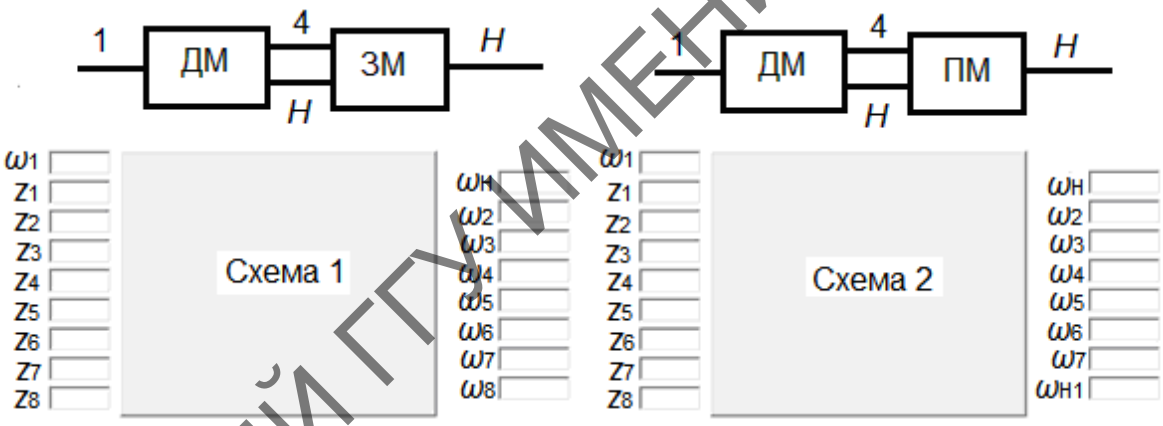


Рисунок 2 – Картинка на экране монитора

Для расчета угловых скоростей звеньев замкнутого дифференциального механизма необходимо выбрать схему механизма в зависимости от вида замыкающего механизма и ввести в окнах числа зубьев колес с соответствующими знаками. Справа в окнах автоматически появятся значения угловых скоростей звеньев исследуемого зубчатого механизма.

Литература

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. М.: Наука, 1988. – 638 с.

2. Фролов, К.В. Теория механизмов и механика машин: учебник для втузов / под ред. Фролова К.В. – 4-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2003. – 496 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Н. В. Алексеенкова (ГГТУ имени П.О.Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Е. В. Комракова**, ст. преподаватель

СОЗДАНИЕ ИГРЫ «MAZE» ПОСРЕДСТВОМ ЯЗЫКА C# И БИБЛИОТЕКИ OPENGL

История компьютерных игр довольно обширна и разнообразна. Свое начало, компьютерные игры берут в конце 1970-х годах. Одной из первых коммерчески доступных игр, в истории развития индустрии компьютерных игр, стала игра под названием «*Pong*». Она была очень простая: две палки и шар. Однако, в скором времени, она заполучила огромную популярность [1].

На начальном этапе развития игровой индустрии каждая игра была уникальна, но с течением времени их становилось всё больше. Для того, чтобы ориентироваться во всём многообразии игр, было принято разделять игры, в зависимости от различных факторов на отдельные категории.

Критерий разделения на категории существует множество и все они разные: количество игроков, вид игровой камеры, сюжет и так далее. Однако самой удобной системой разделения компьютерных игр стало разделение их на жанры.

Игровые жанры принято было определять и разграничивать по игровым действиям, которые наиболее часто совершал игрок. Игра сама по себе может представлять собой как отдельный жанр, так и смешение нескольких существующих жанров непохожих друг на друга.

Суть жанра «Лабиринт» – заключается в том, чтобы пройти из одной точки лабиринта в другую, собирая при этом различные предметы, сражаясь с врагами или избегая столкновения с ними. Данный жанр стал популярен благодаря тому, что данные игры проверят скорость вашей реакции и прочность ваших нервов, ведь игровой процесс лучших лабиринтов на *PC* отличается высокой сложностью и вместе с тем – увлекательностью.

Востребованность игровых приложений среди пользователей и стала основной причиной создания игры. Данная игра разработана на языке программирования *C# WPF* с использованием графики *OpenGl*, так как это хорошее средство для разработки стандартного 2*D* приложения. Игра реализуется для осуществления игрового процесса двух

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

игроков одновременно. Управление с клавиатуры для обоих пользователей. Основные задачи, которые решаются в ходе проекта:

- Изучение средства реализации игры;
- Разработка классов и методов;
- Разработка кода программы;
- Тестирование разработанного приложения.

В ходе создания игры проанализирована литература в области разработки игровых приложений, использования *OpenGl* в приложениях *WPF*. В ходе анализа подобранной литературы, выявлено, что создание успешной игры требует сочетания хорошего геймплея, красиво отрисованных объектов, декораций. Также необходим продуманный сюжет игры, который будет притягивать пользователей. Очень важно создание удобства в управлении для обоих пользователей.

Разработано 2*D*-приложение «Лабиринты» под операционную систему *Windows*.

При реализации игрового приложения использовался язык программирования *C# WPF* и графика *OpenGl*. В ходе работы разработан макет поведения каждого из игроков на игровом поле, чтобы понять с кем и как он будет взаимодействовать. Также разработаны основные классы, отвечающие за создание игроков, зловещих существ, локаций и призов, созданы методы, отвечающие за передвижение героев по игровому полю, стрельбу каждого из игроков в определенном направлении, столкновение игроков между собой, с зловещими существами и стенами. Реализован паттерн «фабричный метод», который отвечает за создание бонусов на игровом поле в случайном месте. Для использования данных бонусов, применялся паттерн «декоратор», который накладывает определенные свойства на игрока, подобравшего бонус. Это может быть увеличение или уменьшение пунктов здоровья и количества боеприпасов. Отрисовка происходила с помощью использования графики *OpenGl*, различные объекты на карте имели различный цвет, размер, а также функционал. Стены и зловещие существа статичны, персонажи подвижны.

Каждый игрок появляется в определённом месте карты и обладает следующими параметрами, такими как: запас здоровья, количество пуль, количество жизней, очки. В начале игры, игрок имеет 100% здоровье, которое в последующем отображается в процентном виде, количество жизней равное пяти, десять пуль и ноль очков.

При попадании вражеской пули в игрока, игрок теряет 1/5 своего здоровья, так же попадание отражается в виде заполнения игрока другим цветов. На каждого игрока накладывается сверху другой цвет, ко-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

торый показывает, сколько у игрока осталось жизней. Данный метод реализован с помощь паттерна «декоратор». При количестве здоровья равном нулю, игрок теряет одну жизнь и возвращается в начало лабиринта.

В ходе разработки данного проекта проведена проверка правильности взаимодействия объектов в проекте.

Для начала идёт проверка срабатывание коллизий между объектами. В данный тест входит проверка пересечения первого игрока со вторым, игроков с самим лабиринтом, игроков с врагами, пули игроков с врагами, пули врагов с игроками, пули игроков с лабиринтом, пули врагов с лабиринтом, пуля одного игрока со вторым игроком, пуля второго игрока с первым игроком.

Для того, чтобы проект был правильно реализован и соответствовал поставленным задачам, в ходе разработки приложения применялся принцип декомпозиции. Это универсальный научный метод решения сложных задач, основанный на использовании структуры задачи и ее разбиении на более простые подзадачи. Эти подзадачи проектируются и разрабатываются, а после объединяются и становятся решением изначальной проблемы. Если полученные подзадачи все еще являются сложными, то их продолжают разбивать на более простые и мелкие.

Данное игровое приложение позволяет осуществить игровой процесс двух пользователей. Оно отличается от множества игр, наличием бонусов, которые случайно генерируются и появляются на карте, а также графикой, созданной в кубическом стиле.

Разработанная игра предназначена для отвлечения от насущных проблем или для развлечения. Игра заставляет игроков продумывать свои действия, для достижения победы. Необходимо продумывать свои действия наперед, чтобы набрать как можно больше очков.

Литература

1 Shreiner, D. OpenGL Programming Guide. 8th ed.: The Official Guide to Learning OpenGL, Version 4.3 / D. Shreiner Sellers G., Kessenich J., Licca-Kane B.– NJ: Addison-Wesley, 2013. – 986 p.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Д. Амралиев
(КГУТИ имени Ш. Есенова, Актау, Республика Казахстан)
Науч. рук. **Д. Д. Абдешов**, ст. преподаватель

НЕОБХОДИМОСТЬ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННОЙ ЖИЗНИ

Мы живем в эпоху высоких технологий благодаря новейшим изобретениям физиков и математиков в повседневной жизни, и они приносят много удобство и комфорта.

Новые технологии распространились в каждом области за последнее 25 лет.

Более того, они с каждым днём меняется, и становится более удобнее и комфортнее.

Например, DVD-плееры, Видеомагнитофоны, Компакт-диски стали уже устаревшими, и им на смену пришли новые технологии. Сегодня мы не можем представлять свои жизни без них, таких как мобильных приборов, как сотовые телефоны или же ноутбуки. Наши офисы и дома полностью оборудованы всеми современными технологиями, таких как ноутбуки, компьютеры, интерактивными досками, Wi-Fi модемами, принтеры, сканерами, кондицанерами, из бытовых приборов (кофе машины, пылесосы, стиральные машины, посудомоечные машины, микроволновые печи и другие) они помогают нам экономить много времени и энергию .

Например, мобильные устройства, смартфоны считаются самыми востребованным изобретением последних 2-х десятилетия. Они заменили сразу несколько девайсов: блокнот, диктофон, фотоаппаратов, радио, видеокамеру и даже компьютеров. Темпы развития мобильных устройств бьют все рекорды, с каждым днем выходят все новые телефоны, обходя даже самих себя. Новые мобильные технологии в нашей жизни внедряются с такой скоростью, что по истечении всего одного года со дня выпуска модели она считается безнадежно устаревшими. Смартфоны со встроенными проекторами, селфи-камерами, водонепроницаемой клавиатурой и сенсорными экранами, оснащенным «S пэн» ручками, при работе с которым получаешь ощущение, сопоставимое с тем, что делаешь записи с ручкой на листе блокнота .

Список уникальных возможностей, который предоставляют новые мобильные устройство можно перечислять долго. В скором будущем они расшириться модели с гибкими экранами, который можно сворачивать или складывать в трубочку, а также 3D принтеры смогли смо-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

делировать и распечатать титановый имплантаты для вживления их в череп пострадавшего в аварии Стивена Пауэра. Благодаря этому молодой человек смог вернуться к нормальной жизни. К 3D печати прибег антрополог Кристоф Соликофэр. В подтверждении своей теории относительно различии в протекании процесса родовой деятельности неандертальцев и современных женщин он распечатал череп новорожденного палеоантропа. [1]

Однако, нам следует понимать, что цифровые и электронные изобретение имеют как отрицательный, так и положительные влияние на нашу повседневную жизнь

Новые технологии или гаджеты делает многие вещи быстрее и легче . К примеру, если вы устанавливаете в своем автомобиле GPS вы больше не заблудитесь. Могли бы мы представить всего лишь 20 лет назад все то, что можем делать сегодня по беспроводному интернету: связи с друзьями, коллегами, по всему миру онлайн покупки и банковские операции дистанционное онлайн обучение, поиск виртуальных знакомств и даже работу из дома. Наши родители раньше отправлялись в почтовое отделение для того, чтобы отсылать письмо или оплачивать счета, они ходили в библиотеку для того чтобы найти хорошую книгу и пользовались телефонами будками для того что бы позвонить.

С другой стророны нет людей, которые категорически против некоторых современных изобретений, так как им очень не хватает тех дней, когда они общались друг с другом, лицом к лицу в реальности, а не виртуальной. Частично мы соглашаемся с этим потому что, люди становятся зависимыми от своих мобильных устройств.

Подводя итог, можно сказать, что существует суждение за и против использование новых технологии, но в любом случае, в нашей дни будет очень нелегко представить жизнь без этого.

Литература

1. Чаплыгин, Ю.А. Нанотехнологии в электронике / Ю.А. Чаплыгин. - М.: Техносфера, 2016, - 480 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В. А. Андреев (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

МОДУЛЬ ПОДОЗРИТЕЛЬНЫХ СОБЫТИЙ В ERP-СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОЙКАМИ

При разработке программных систем следует учитывать изменения состояний объектов, которые могут вносить нарушения в работу предприятия, использующего программный продукт.

Для решения такой задачи в рамках разрабатываемой ERP-системы по управлению автомойками был создан модуль «Подозрительные события», который отслеживает все данные в системе на предмет их серьёзного отклонения от ожидаемой нормы.

Данный модуль представляет собой серверную модель на базе фреймворка Ruby on Rails в связке с SPA-приложением на базе фреймворка AngularJS.

При разработке серверной части был использован подход полиморфных связей. С полиморфными связями модель может принадлежать более чем одной модели, на одиночной связи. Например, имеется модель изображения, которая принадлежит или модели работника, или модели продукта. Данное свойство модели достигается с помощью указания параметра *polymorphic: true* при описании модели. Таким образом, в базе будет создана колонка *target_type* и *target_id*, которые будут связывать модель подозрительного события с моделью, которая имеет сомнительные изменения. Например, заказ занял слишком много времени на своё выполнение, чем система ожидает.

Для быстрого поиска данных в системе используется поисковой движок ElasticSearch, поэтому так же необходимо описать отображение данных модели из Ruby on Rails на типа данных, поддерживаемых ElasticSearch.

Так же в модели подозрительного события предусмотрено поле *data*, хранящее информацию об описании состояния, вызвавшего подозрения.

На стороне клиента каждое событие имеет свой персональный шаблон (*template*). На основе приходящего ответа с сервера, определяется тип подозрительного события с помощью специального метода-помощника. Далее в основном шаблоне страницы с перечислением всех подозрительных событий с помощью директивы *ng-include* встраивается содержимое с описанием соответствующего подозрительного события.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Н. С. Андриенко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ iOS НА ЯЗЫКЕ SWIFT

В Республике Беларусь насчитывается огромное количество высших учебных заведений, и перед поступающими всегда стоит задача выбора, которая иногда усложняется из-за недостатка информации. Всегда важно знать актуальную информацию о проходных баллах и специальностях, на которые происходит обучение в высших учебных заведениях. Вся эта информация может быть бытро и в удобной форме получена благодаря разработанному приложению.

При первом открытии приложения пользователю предлагается завести аккаунт в системе, которая позволит ему:

– оставлять отзывы о высших учебных заведениях, в которых он уже учился,

– получать новости вузов, на которые он подписался.

После успешной авторизации пользователь увидит список вузов, с указанием города, специализации и фотографиями. Список отсортирован в алфавитном порядке. Пользователь также может самостоятельно выбрать способ сортировки и фильтрации списка, а также осуществить поиск на основе выбранных предпочтений.

Данные о вузах хранятся в базе данных, которая скачивается и обновляется при запуске приложения. Серверная часть приложения развёрнута на локальном сервере. Информация из базы данных передаётся посредством REST-сервиса. Взаимодействие с интерфейсами мобильного устройства происходит с помощью использования API, предоставляемого Apple. Мобильное приложение приложения реализовано на языке Swift [1]. Интерфейс приложения разработан и адаптирован для работы на мобильных устройствах под управлением iOS [2]. В ходе выполнения задания, с целью выявления ошибок и графических неточностей, приложение запускалось не только на эмуляторах, но и на физических девайсах.

Литература

1. Усов, В. Swift. Основы разработки IOS приложений / В. Усов. – Библиотека программиста: Питер, 2018. – 464.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. Ньюберг, М. Разработка IOS приложений / М. Ньюберг. – СПб.: Питер, 2017. – 564 с.

Д. В. Антоненко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд.техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЦИФР

Искусственные нейронные сети в настоящее время широко используются при решении самых разных задач и активно применяются там, где обычные алгоритмические решения оказываются неэффективными или вовсе невозможными. В числе задач, решение которых доверяют искусственным нейронным сетям, можно назвать следующие: распознавание текстов, игра на бирже, контекстная реклама в Интернете, фильтрация спама, проверка проведения подозрительных Операций по банковским картам, системы видеонаблюдения. И это далеко не все [1].

Нейронные сети – одно из направлений в разработке систем искусственного интеллекта. Идея заключается в том, чтобы максимально близко смоделировать работу человеческой нервной системы, а именно, её способности к обучению и исправлению ошибок. В этом состоит главная особенность любой нейронной сети: она способна самостоятельно обучаться и действовать на основании предыдущего опыта, с каждым разом делая всё меньше ошибок.

Нейронная сеть имитирует не только деятельность, но и структуру нервной системы человека. Такая сеть состоит из большого числа отдельных вычислительных элементов («нейронов»). В большинстве случаев каждый «нейрон» относится к определённому слою сети. Входные данные последовательно проходят обработку на всех слоях сети. Параметры каждого «нейрона» могут изменяться в зависимости от результатов, полученных на предыдущих наборах входных данных, изменяя, таким образом, и порядок работы всей системы. Все задачи, которые могут решать нейронные сети, так или иначе связаны с обучением. Среди основных областей применения нейронных сетей – прогнозирование, принятие решений, распознавание образов, оптимизация, анализ данных [2].

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Рассмотрим нейронную сеть на простейшем примере. В качестве модели нейронной сети возьмем однослойный персептрон и применим его для распознавания цифры. В связи с тем, что для распознавания была использована база данных из случайно подобранных 500 картинок рукописных цифр надо привести полученное изображение к виду, в котором находятся изображения в данной базе данных.

Тренировочные изображения являются черно-белыми и размером 28x28. Так как в HTML цвета определяются цветовой моделью RGBA (Red, Green, Blue, Alpha), будем конвертировать в черно-белое изображение, манипулируя свойствами RGBA. Зная что для каждой составляющей нужно указывать долю в пикселях (0-255), создаём функцию imageDataToGrayscale(), которая проверяет, если параметр A равен нулю (т.е. фон в данном месте прозрачный), для остальных параметров устанавливается значение 255, т. е. белый цвет, иначе всем параметрам присваивается 0, т. е. черный цвет. Дальше изображение центрируется, поскольку в базе данных все изображения центрированы. С этой целью используется метод centerImage(), который получает изображение (массив 0 и 1), где 0 означает что точка не закрашена, а 1 – наоборот. Имеющиеся значения конвертируются через пиксели, а затем полученные значения по Y и X делятся на общее количество пикселей, после чего изображение центрируется формулой: длина/2-значение по X/Y.

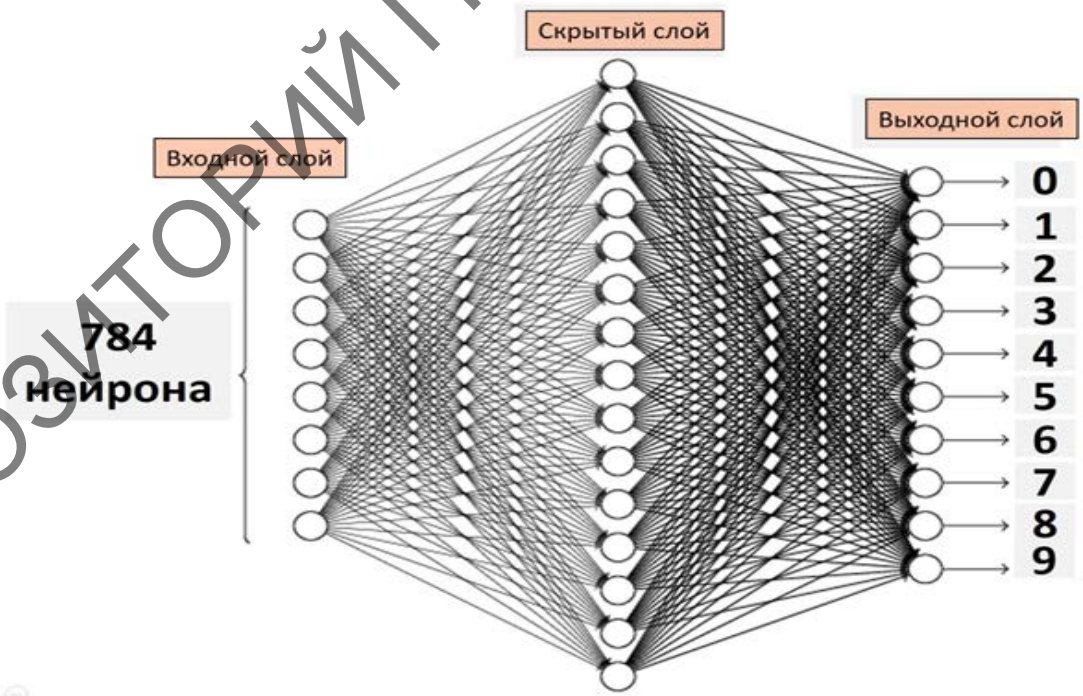


Рисунок 1 – Схема работы нейронной сети для распознавания цифр

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

После центрирования и преобразования к черно-белому изображению изображение передаётся для распознавания.

На входе в нейронную сеть имеется количество нейронов равное количеству пикселей распознаваемого изображения. Нейронная сеть создает свой скрытый слой для обработки нейронов и на выходе имеем 10 нейронов со значениями от 0 до 1 (рисунок 1). Нейронная сеть выбирает наибольшее и выдаёт ответ.

Аналогичным образом можно использовать нейронную сеть для распознавания символов, что позволит переводить текст из рукописного варианта в электронный и решать задачи перевода текста с одного языка на другой.

Литература

1 Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. М. : Финансы и статистика, 2002. – 344с.:ил.

Суровцев, И.С. Нейронные сети : учебное пособие / Суровцев И.С., Клюкин В.И. и др. – Воронеж: ВГУ, 1994. – 224 с.

А. В. Бартновская (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Е. В. Комракова**, ст. преподаватель

ПРИЛОЖЕНИЕ, РЕАЛИЗУЮЩЕЕ ИГРУ «ЛИНЕЙНЫЕ ГОНКИ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WPF И ГРАФИКИ DIRECTX

Линейные гонки – это один из самых первых и древних жанров среди всех существующих компьютерных игр. Данный жанр игр появился не так давно: в начале 1970-х. Игры данного жанра стали довольно популярными, так как имеют богатую историю и самую разнообразный функционал.

Технология *WPF* представляет собой подсистему для построения графических интерфейсов. *WPF* выбран, так как он предоставляет широкий спектр возможностей по созданию интерактивных настольных приложений: рисования примитивов, возможность реализации анимации, расширенная работа с мультимедиа и т.д. [1].

DirectX подходит для профессиональной разработки игр и мультимедийных приложений на платформе *Windows*. Данная технология более эффективна, поскольку оперирует высокоуровневыми кон-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

струкциями вроде текстур и градиентов, которые могут отображаться непосредственно видеокартой. В ходе подбора литературных источников и изучения технологии использования *DirectX* в приложениях *WPF* использована управляемая *.NET*-оболочка с открытым исходным кодом *SharpDX*. *SharpDX* служит удобным и доступным проектом с исходным кодом, так как он предоставляет все необходимые для реализации игрового приложения функции.

Далее следует описание списка функций, которые планируются при реализации игры:

– меню игры, в котором пользователи смогут выбрать марку транспортного средства, основываясь на различных характеристиках управляемого устройства;

– интуитивный и удобный в эксплуатации интерфейс пользователя, который будет включать в себя дорогу, границы дороги для каждого пользователя, видимость противников, наличие информации о существовании топлива, а также «призы»;

– возможность получения призов, за счет столкновения с ними;

– возможность передвижения главных игроков, по средствам нажатия определенных клавиш;

– уведомление об окончании игры при столкновении, окончании топлива, либо прохождении игроком всей трассы.

Для того, чтобы проект грамотно выполнял все свои функции правильно, в ходе разработки приложения применен принцип разделения крупных элементов проекта на более мелкие и легко управляемые задачи – принцип декомпозиции. С использованием методов декомпозиции определяется так называемая иерархическая структура работ. Данная структура разделяет проект на иерархически связанные, управляемые и контролируемые подзадачи.

В ходе применения принципа декомпозиции приложение разделилось на следующие блоки (рисунок 1).

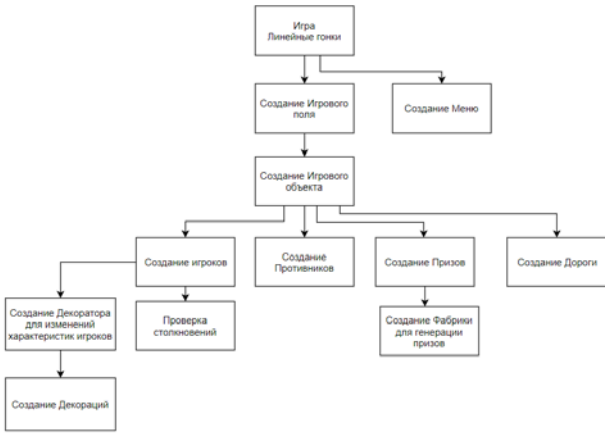


Рисунок 1 – Принцип декомпозиции для игрового приложения

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Таким образом, в ходе применения принципа декомпозиции разработана следующая система взаимодействия для классов проекта (рисунок 2).

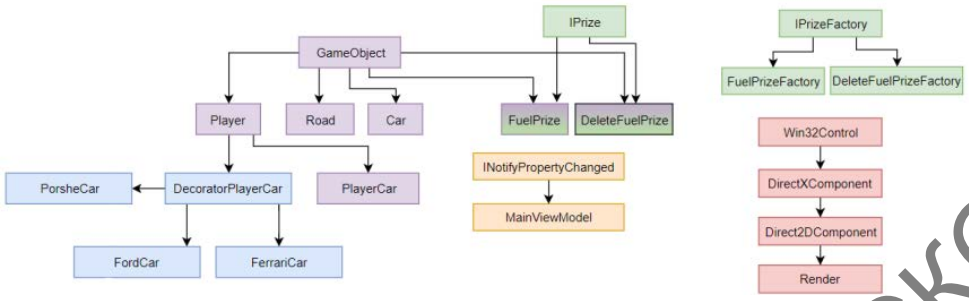


Рисунок 2 – Схема взаимодействия классов в программе

Из рисунка видно, что для расширения функционала приложения необходимо применить паттерны проектирования «фабричный метод» для удобного создания призов на игровом поле и «декоратор», для изменений характеристик игроков. Паттерн «фабричный метод» разработан следующим образом (рисунок 3).

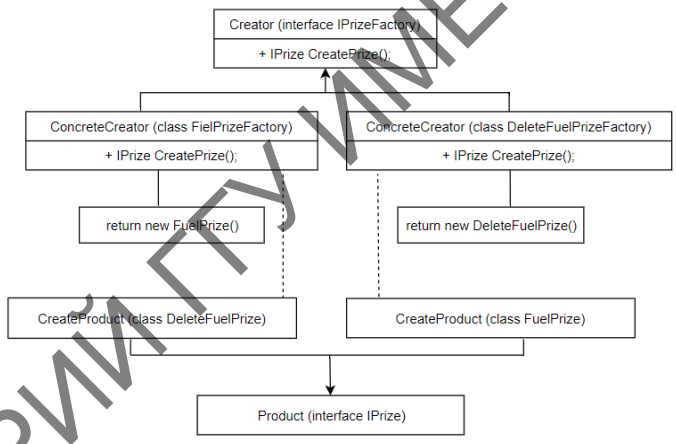


Рисунок 3 – Схема паттерна «фабричный метод»

Схема паттерна «декоратор» представлена на рисунке 4.

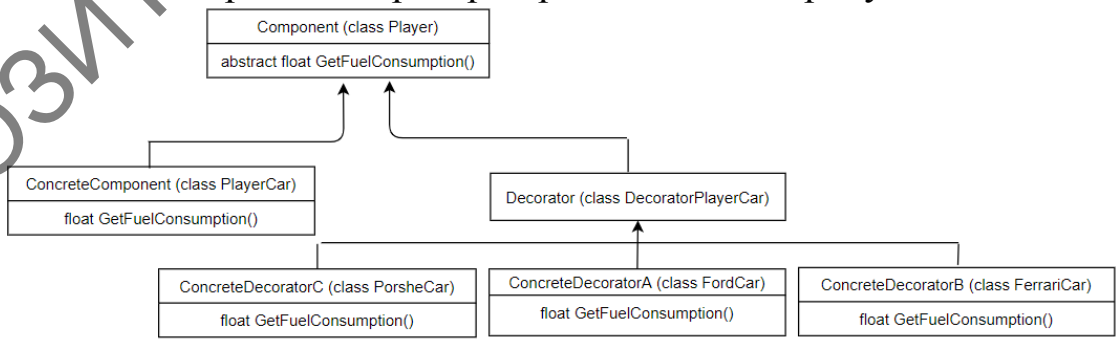


Рисунок 4 – Схема паттерна «декоратор»

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Создание программы осуществляется при помощи среды разработки *Visual Studio* 2019. Для реализации данного игрового приложения используются графические библиотеки для работы с *DirectX* в *WPF*. Библиотеки загружены при помощи установки и загрузки менеджера пакетов *.Net* – пакетов *NuGet*. Пакеты устанавливаются в проект *Visual Studio* с помощью диспетчера пакетов *NuGet* или консоли диспетчера пакетов: *ShatpDx.Direct2D1*, *SharpDx.DirectWrite*, *SharpDx.DXGI*, *SharpDx.Direct3D11*, *SharpDx.Direct3D.*

Литература

1 М. Мак-Дональд, WPF: Windows Presentation Foundation в .NET 4.5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов, 4-е изд. / М. Мак-Дональд: Изд. дом "Вильямс", 2013. – 1024 с.

М. С. Березовский (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук., доцент

РАЗРАБОТКА ИГРОВОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «SPACESHIP» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ UNITY

В настоящее время при разработке новых технологий, программных продуктов особо ценится качество его разработки. В предлагаемой заметке реализована игровое приложение «Spaceship» с использованием игрового движка и среды разработки Unity и объектно-ориентированного языка C#, позволяющее игроку поучаствовать в космической баталии, в качестве пилота космического корабля. Оно состоит из клиентской и серверной частей. Предлагаемое web-приложение имеет максимально простой и интуитивно понятный интерфейс. При его разработке делался упор на архитектуру, что обеспечивает возможность расширения системы без особых трудозатрат.

Игровое приложение имеет все необходимое для генерирования противников для игрока и подсчета очков при их уничтожении. Реализована возможность генерирования усилений для игрока, которые могут быть собраны последним. Любые события в игровом приложении (сбор усилений, уничтожения противника, открытие огня по противнику и т.д.) сопровождаются звуковыми эффектами. Также для игрока, кораблей противника и усилений, а также взаимодействия между ними были созданы анимации. Таким образом, увеличивается погружения игрока в происходящее в игровом приложении. Все необхо-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

димые настройки можно провести из редактора, не осуществляя никаких изменений в исходном коде игрового приложения.

Для тестирования и проверки логики приложения были написаны интеграционные тесты, которые позволяют тестировать модули вместе, а также взаимодействия между ними.

Предпринятые 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. А именно, были созданы различные ситуации, которые могут возникнуть в процессе использования. После чего, на рабочем экземпляре приложения, они были проверены.

Н. С. Буйновец (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЧАМИ ПРОЕКТА

Управление задачами – это процесс отслеживания указанных задач от назначения до завершения и включает в себя сортировку, делегирование, установление приоритетов, организацию, планирование, отслеживание и отчетность по задачам.

Методология Scrum основана на поэтапной подготовке и сдаче работы, помогает эффективнее работать вместе и управлять сложными проектами. Scrum-доска отлично подходит для отслеживания статуса каждого этапа проекта. Каждый участник может в любое время получить доступ к Scrum-доске, где становится понятно, что требуется сделать. Эта методология позволяет команде разбить проект на части и выполнять его постепенно, позволяя вносить усовершенствования, и сам продукт постепенно усложняется. В основе Scrum лежит спринт – период времени, за который команды должны создать версию продукта, потенциально готовую к выпуску. Scrum-доска позволяет команде использовать спринты при организации работы.

Основной целью приложения является предоставление программного средства для управления задачами посредством Scrum-доски. В

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

бэклоге находится список задач, из которого при планировании спринта будут переноситься задачи. На доске располагаются задачи, распределённые по статусам. 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.

В качестве среды разработки приложения использовался Visual Studio Code. В качестве СУБД используется MySQL. Информация из базы данных передаётся посредством REST-сервиса. Для написания интерфейса пользователя использовался фреймворк Angular. Применение фреймоворка Angular дает возможность реализовать SPA-приложение, использующее единственный HTML-документ как оболочку для всех веб-страниц и организующее взаимодействие с пользователем через динамически подгружаемые данные посредством технологии AJAX.

А. В. Вакулина (ГГТУ имени П.О.Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Е. В. Комракова**, ст. преподаватель

ИГРОВОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ «КЛАД» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИКИ OPENGL

Игровая индустрия набрала очень высокую популярность и стала одной из самых больших сфер развлечений. Сейчас она является отдельным сегментом на рынке технологий. Существует большое количество крупных компаний, занимающихся профессиональной разработкой игр, рассчитанных на разные аудитории, которые выделяют огромные бюджеты на создание своих продуктов.

С развитием компьютерных возможностей визуальная и механическая стороны игр улучшались, появилось множество игровых жанров, среди которых: платформеры, приключения, гонки, головоломки, шутеры, стратегии.

Игровой жанр Аркада получил широкое распространение по всему миру и сумел сохранить свои позиции даже после исчезновения игровых автоматов. Классическим примером этого жанра является игра «Клад», которая включает в себя такие особенности, как:

– игра на одном экране;

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

– участие двух игроков;
– наличие игрового счёта;
– простой игровой процесс;
– отсутствие сюжета.

Игра «Клад» предназначена для двух пользователей, каждый из которых управляет своим персонажем посредством клавиатуры и собирает сокровища в лабиринте. Первый игрок представлен большим квадратом фиолетового цвета, а второй розового. Главной задачей является как можно быстрее собрать все призы, находящиеся в лабиринте. В игре имеется три типа призов: желтые, серые и синие. Все они отображаются в виде маленьких квадратов и исчезают после столкновения с игроками, начисляя им один балл, который отображается в счетчике очков. Помимо этого, при столкновении с серым призом, игрок получает возможность в течении некоторого времени проходить сквозь стены лабиринта. В течении этого времени цвет стен лабиринта меняется с черного на красный. По истечению времени стены лабиринта возвращают свой цвет и становятся непроходимыми. При столкновении с синим призом скорость передвижения игрока увеличивается. Игра завершается после того, как будут собраны все призы в лабиринте, а победителем считается тот, у кого счетчик показывает большее количество очков.

Перед началом разработки игрового приложения необходимо провести обзор существующих технологиями для работы с графикой и определиться, какую именно использовать в данном проекте. В сравнении использовались два ведущих графических средства разработки: *OpenGl* и *DirectX*.

За исключением нескольких незначительных функциональных различий, эти две технологии обеспечивают практически одинаковый уровень функциональности. На практике, главными отличиями *OpenGl* и *DirectX* являются кроссплатформенность у *OpenGl* и библиотеки для звука и видео у *DirectX*.

Одним из основных критериев игры является использование двумерных объектов. Для корректной работы интерфейса технология *DirectX* требует большего количества подключенных библиотек, чем *OpenGL*, что сказывается на скорости работы программы и отображении графических объектов.

Так как управление звуковыми и видео эффектами в данном приложении не предусмотрено, «плавность» работы игры является важным показателем, а кроссплатформенность позволяет охватить большую аудиторию пользователей, после изучения возможностей двух

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

технологий и их сравнения, в качестве графического средства разработки был выбран интерфейс *OpenGL*.

Для создания игрового приложения используются средства языка программирования *C# WPF* и шаблоны проектирования «фабричный метод» – для генерации различных видов призов в лабиринте и «декоратор» – для изменения характеристик лабиринта. Объекты на игровом поле отображаются спрайтовой графикой и средствами *OpenGL*. Структуры лабиринта хранятся в бинарных *bmp*-файлах и выбираются случайным образом.

Игровое приложение «Клад» имеет три вида лабиринтов, имеющих разное строение. Изображения лабиринтов в формате *bmp* созданы в программе *Adobe Photoshop CC 2018*. Для реализации паттерна проектирования «декоратор», позволяющего менять цвет лабиринта, помимо основных черно-белых структур применяются красно-белые.

При запуске приложения загружается начальный экран, на котором отображено окно *WPF* с кнопками *Exit* и *Reset* и счетчиками очков игроков, и окно *OpenGL*, в котором отображается лабиринт, два игрока и сгенерированные призы. После этого пользователи могут приступить к игре. Управление каждым игроком происходит посредством клавиш клавиатуры *W, A, S, D*, и клавишами-стрелками. Когда один из игроков собирает приз серого цвета, цвет стен лабиринта меняется на красный. В этот момент игрок может в течении трех секунд проходить сквозь стены. По истечении времени цвет лабиринта снова становится черным. Нажатием кнопки *Reset* можно загрузить новый вид лабиринта и сгенерировать призы на новых местах. При столкновении игрока с синим призом его скорость увеличивается на одну единицу и в счетчик также прибавляется один балл. Чем больше синих призов игрок соберет, тем быстрее он сможет перемещаться. Как только один из игроков сталкивается с последним призом, проверяются счетчики очков и появляется *WPF*-окно с сообщением об окончании игры и именем игрока-победителя. При нажатии на кнопку «ОК» *WPF* окно закрывается, и пользователь может либо возобновить игру, нажав кнопку *Reset*, либо выйти из нее, нажав кнопку *Exit*.

Данное игровое приложение является средством развлечения и рассчитано на широкую аудиторию пользователей. Оно способствует развитию реакции, логики, повышению внимания и концентрации.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В. В. Василевский (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

ПОЛУЧЕНИЕ АКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ О БЕЛОРУССКОЙ ФУТБОЛЬНОЙ ЛИГЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЯ

Большая часть мобильной аудитории сосредоточена в онлайн-сервисах производителей операционных систем для смартфонов, таких как Apple App Store, Google Play и Windows Marketplace от Microsoft, позволяющих скачивать и покупать различные приложения. Поэтому услуги разработки приложений для iPhone, iPad, Android оказываются очень важными и востребованными. Еще одним важным фактором пользу разработке мобильных приложений является то, что мобильные приложения предоставляют более быстрый и удобный доступ к информации, нежели сайты. В ходе разработки приложения для получения актуальной информации о белорусской футбольной лиге был произведен анализ методов программирования и создания приложений под Android. В качестве среды разработки была выбрана среда Android Studio [1].

Android Studio – это интегрированная среда разработки (IDE) для работы с платформой Android, анонсированная 16 мая 2013 года на конференции Google I/O. [1].

Android Studio, основанная на программном обеспечении IntelliJ IDEA от компании JetBrains, – официальное средство разработки Android приложений. Доступна для Windows, OS X и Linux. 17 мая 2017, на ежегодной конференции Google I/O, Google анонсировал поддержку языка Kotlin, используемого в Android Studio, как официального языка программирования для платформы Android в добавление к Java и C++ [2].

Для реализации приложения был выбран язык Java. В качестве среды Android Studio. С целью заполнения приложения информацией был произведен сбор информации о белорусской футбольной лиге сезона 2018/2019.

Сам интерфейс приложения выглядит примерно так: на начальном экране будет список команд с количеством игр, побед, поражений, очков и разницей забитых/пропущенных голов. По клику на названии команды открывается окно с результатами матчей, а по клику на матче выдается статистика по этому матчу.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

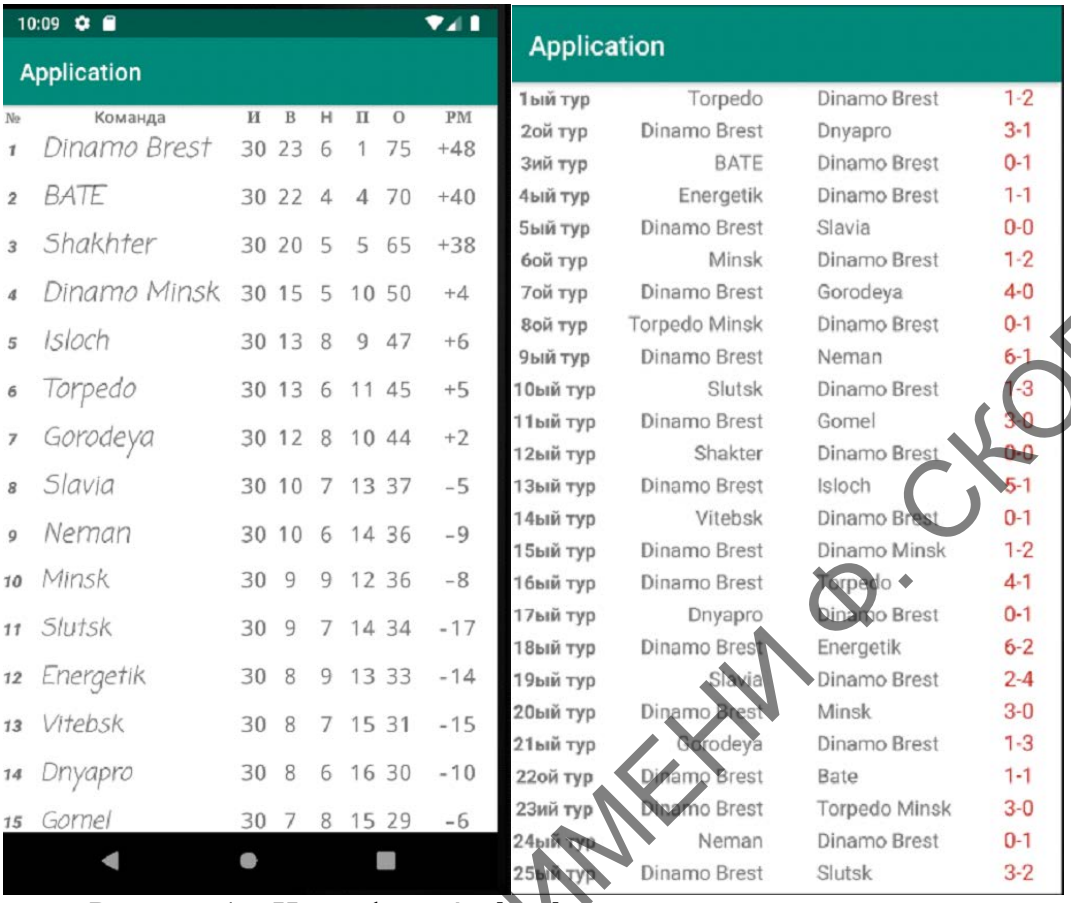


Рисунок 1 – Интерфейс Android-приложения для получения информации о белорусской футбольной лиге

Приложение может быть полезно для любителей белорусского футбола и помощи болельщикам для более удобного и быстрого доступа к результатам отдельного матча и просмотра турнирной таблицы. Возможность отслеживания матчей в реальном времени позволит получать отчет о матче с обновлением один раз в минуту.

Литература

1. Жвалевский, А. Смартфоны Android без напряга. Руководство пользователя/А. Жвалевский. – СПб.: Санкт-Петербург, 2012. – 224 с.

2. Сайт Хабр [Электронный ресурс] – URL: https://habr.com/ru/post/433604/ – Дата доступа: 18.03.2020.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. П. Вергейчик (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **К. С. Курочка**, канд. техн. наук, доцент

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ РАСТЕНИЙ БЕЛАРУСИ

В научных исследования нередко возникают задачи для которых нужно исследовать большой объем исходного материала, например, для определения влияния радиоактивного загрязнения на сельскохозяйственные культуры. В связи с этим возникает потребность в распознавания и классификации растений на определенной территории. этот процесс включает в себя нахождение и выделения на изображении растения и присвоение ему класса к которому данное растение наиболее подходит.

Для таких целей наиболее идеально подходит самообучающийся алгоритм, который будет учитывать все известные данные и принимать во внимание новые, до этого не известные. К такому алгоритму можно отнести нейронную сеть. Своеобразным стандартом для распознавания образов служат сверточные нейронные сети. Такой тип сети учитывает определенную специфику зрительной коры, содержащую так называемые простые клетки, которые способны реагировать на прямые линии под разными углами, и сложные клетки, реакция которых связана с активацией определённого набора простых клеток [1].

Сети данного вида имеют ряд преимуществ. Например, в сравнении с полносвязной сетью, сверточной нужно меньше необходимых для обучения параметров, что дает ускорение при обучении. Обучение такой сети можно ускорить распараллелив алгоритм на графических процессорах. А устойчивость к сдвигу позиции объекта во входных данных позволяет добиться наименьшего процента ошибки. Поэтому обучаемые признаки не зависят от позиции важных частей.

В ходе изучения предметной области было решено разделить приложение на две составляющие: клиентскую и серверную. Серверная часть отвечает за распознавание и классификацию изображений. Клиентская часть выступает в качестве пользовательского интерфейса и служит для визуализации результатов работы нейронной сети. На рисунке 1 представлена *idef*0 диаграмма приложения.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

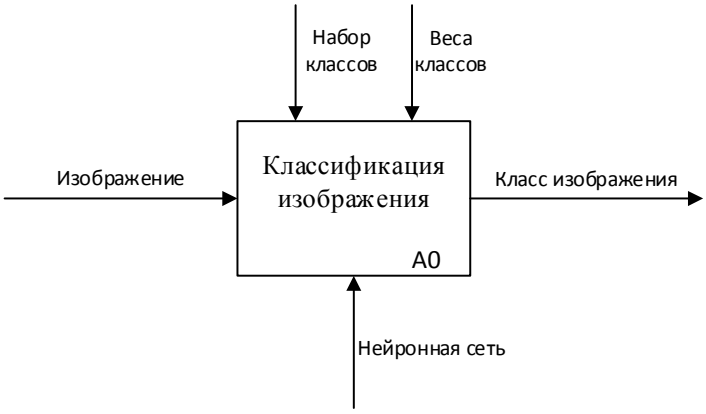


Рисунок 1 – *Idef*0 диаграмма приложения

Сверточная нейронная сеть включает в себя сверточные, подвыборочные слои и в конце многослойный ерсептрона [2]. На вход подаются нормализованные цветные изображения, нормализация происходит по формуле:

$$f(p, \min, \max) = \frac{p - \min}{\max - \min}, \quad (1)$$

где f – функция нормализации; p – значение цвета пикселя; *min* – минимальное значение цвета; *max* – максимальное значение цвета;

Изображение делится на несколько одинаковых по размеру карт признаков, исходя из количества цветовых каналов. Затем формируется определенного размера основание, которое проходится по карте признаков и находит зависимости. Такое основание называется ядром свертки. с помощью него производится операцию свертки по формуле:

$$(d \cdot p)[m, n] = \sum_{k,l} f[m-k, n-l] \cdot p[k, l] \quad (2)$$

где d – исходная матрица; p – ядро свертки; k, l, m, n – индексы.

Далее идет подвыборочный слой, который уменьшает размерности карт сверточного слоя.

Завершает многослойный персептрон, который производит оптимизацию, улучшение распознавания и классификацию объекта.

С помощью достаточного обучения данной нейронной сети модно добиться очень высокого процента распознавания, что позволит удешевить, ускорить и увеличить точность проведения научных исследований.

Литература

1. Хайкин, С. Нейронные сети полный курс / С. Хайкин, – Москва: Вильямс, 2018. – 1101 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2 Тарик, Р. Создаем нейронную сеть / Р Тарик – Москва: Вильямс, 2018. – 270 с.

П. Д. Виноградов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А. С. Побияха**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА ПЕРСОНАЛЬНОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ

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.

Целью данного проекта является разработка персональной метеостанции на базе ESP32 - системы на кристалле с интегрированным Wi-Fi.

Проект является дополнением системы «Умный дом» и предлагает возможности контроля погодных условий. 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.

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), подключенных непосредственно к нему. На базовом модуле развернут WEB-сервер, что позволяет интегрировать устройство в существующую ЛВС.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

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 погодных 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 web-приложения использовался следующий стек технологий: язык разметки HTML, язык программирования JavaScript, формальный язык описания внешнего вида документа CSS.

Корпуса базового и выносного устройств были спроектированы с помощью программного обеспечения Autodesk Fusion 360. Данная САПР позволила быстро и просто создать 3D-модель корпуса с посадочными местами для комплектующих элементов устройства, после чего модели были напечатаны на 3D-принтере.

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 программная 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 [Электронный ресурс] // Espressif Systems (Shanghai) CO. LTD, – 2020. – URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf – Дата доступа: 15.03.2020.

2. Non-volatile storage library[Электронный ресурс] // Espressif Systems (Shanghai) CO. LTD, – 2020. – URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/api-reference/storage/nvs_flash.html – Дата доступа: 15.03.2020.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

3. Arduino core for the ESP32 [Электронный ресурс] // Espressif Systems (Shanghai) CO. LTD, – 2020. – URL: https://github.com/espressif/arduino-esp32 – Дата доступа: 15.03.2020.

М. Н. Гавриленко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ JAVA И APACHE KAFKA

Актуальность разработки проектов и приложений в настоящее время трудно переоценить. Любая сфера деятельности человека сводится к тому, что необходимо хранить какую-либо информацию на жестких дисках, облачных хранилищах или на персональных компьютерах. Увеличение информации в больших объемах, быстрый рост и появление новых информационных технологий требуют использования новых современных инструментов и методов, отвечающих современному уровню технических средств обработки большого количества данных. Огромные корпорации нуждаются в качественной обработке и анализе своих данных и отображении их в своих отчетах. В связи с этим началась разработка и использование новых технологий, которые удовлетворяли бы основным функциям: быстроте обработки данных, качеству и простоте использования.

На сегодняшний день становится популярным изучение и применение технологий Big Data для анализа и обработки большого количества информации, которая, может быть, как структурируемой (данные JSON формата, CSV, и др.) так и не структурируемой (файлы логирования). Big Data – это не просто большой объем информации, но также инструменты и методы обработки и анализа этих данных.

Основными задачами Big Data являются:

– Достижение быстроты и качества анализа и обработки огромного количества информации;

– Автоматизация обработки большого количества данных (применение технологий, позволяющих уменьшить причастность человека к процессу);

Apache Kafka – распределённый программный брокер сообщений, проект с открытым исходным кодом, разрабатываемый в рамках фонда Apache. Написан на языках программирования Scala и Java [2].

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Распределённая, горизонтально масштабируемая система, обеспечивающая наращивание пропускной способности. Поддерживается возможность временного хранения данных для последующей пакетной обработки. Apache Kafka стал неотъемлемой частью работы с большими данными так как полностью может выполнять все поставленные задачи Big Data.

На рисунке 1 изображена схема работы инструмента Apache Kafka, который состоит из поставщика сообщений или информации, которые записываются в определенный пакет, и потребителя, который читает или получает данную информацию из определенного пакета. Основным плюсом данного инструмента является то, что получатель может подписаться на определенный топик, и при изменении его информации, получает их тут же в режиме реального времени [2], что позволяет автоматизировать работу приложения обработки и анализа данных.

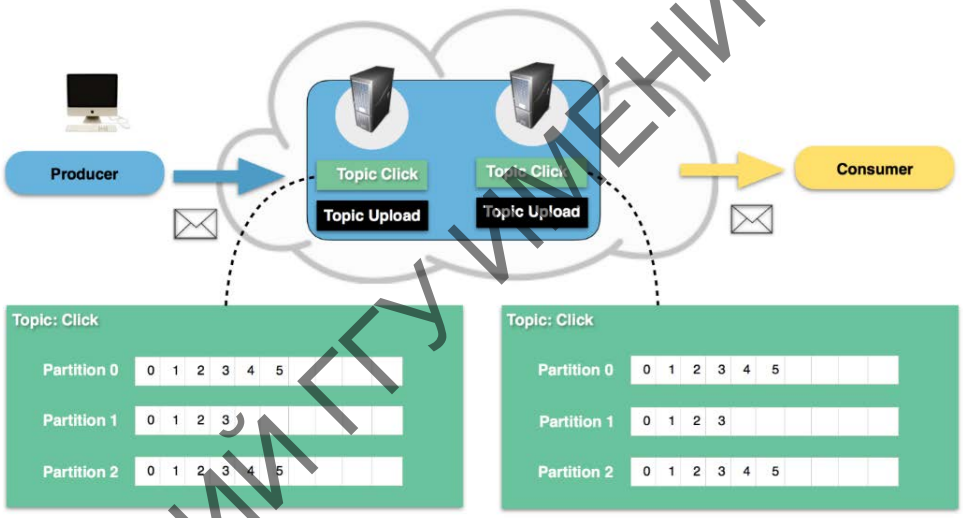


Рисунок 1 – Схема работы Apache Kafka

Основным языком программирования для работы с Apache Kafka является JAVA – строго типизированный объектно-ориентированный язык программирования. Его простота и интегрированность с Apache Kafka позволяет создавать consumer-producer приложения, с использованием встроенных классов и интерфейсов Kafka [1].

Примером использования Apache Kafka и Java является разработанная система обработки и хранения данных (рисунок 2).

Данные записываются в Apache Kafka в определенный топик, с помощью Java приложения поставщика Producer’а с использованием определенных настроек параметров, определяющих количество сообщений, которые будут записываться за определенное время, настроек сервера Apache Kafka и др. В свою очередь Apache Kafka

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

выступает и как хранилище, и как отправитель сообщений и информации. При этом доставка данных подписчикам осуществляется моментально. Данная технологии является оптимальным решением для автоматизации процесса хранения данных и перемещения их определенным пользователям. Это достигается путём сочетания современных подходов в обработке данных, таких как горизонтальное масштабирование и наращивание пропускной способности каналов доставки данных.

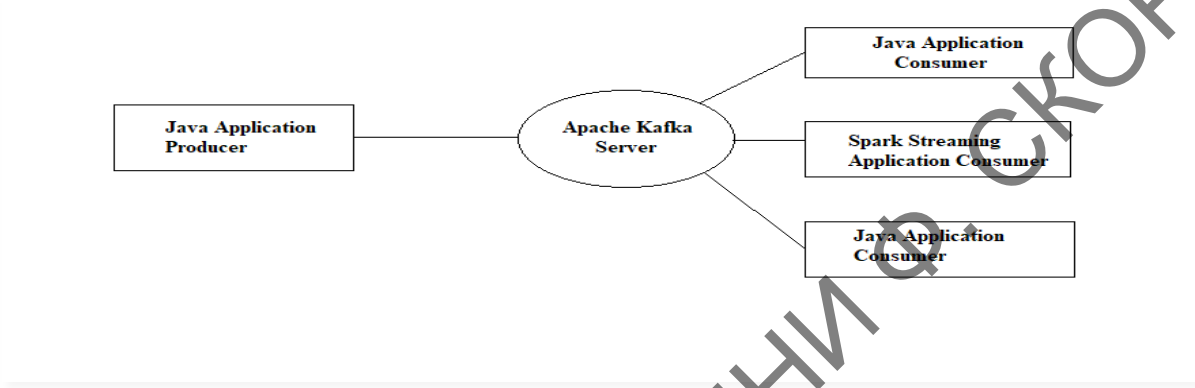


Рисунок 2 – Схема работы Java приложения и Apache Kafka

Разработка системы с использованием языка Java, который превратился из просто универсального языка в целую платформу и экосистему, объединяющую различные технологии, используемые в ряде задач: от создания десктопных приложений до написания крупных веб-порталов и сервисов, обеспечит доступность системы на обычных ПК, планшетах, смартфонах и гарантирует его популярность и востребованность как в среде новичков, так и программистов, изучающих новый вид программного обеспечения.

Представленное приложение отвечает всем современным требованиям разработки программного обеспечения. Данные инструменты используются во многих крупных IT компаниях и позволяют решить поставленные задачи.

Литература

1. Блох, Д. Java. Эффективное программирование: справочное пособие / Д. Блох. – М: Лори, 2014. – 440с.

2. Сайт брокера сообщений Kafka [Электронный ресурс] / Сайт брокера сообщений Kafka / URL: https://kafka.apache.org/documentation/ – Дата доступа: 22.01.2020

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. С. Городков (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА «АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БАНКОМ ПО РАБОТЕ С КЛИЕНТАМИ»

Клиентская часть приложения разработана с использованием технологии WPF, которая является частью платформы .NET Framework. Весь программный код написан на языке C#. При разработке приложения был применен архитектурный шаблон MVVM (Model – View – ViewModel). Он был представлен Джоном Госсманом в 2005 году как шаблон для построения WPF-приложений. Для работы с базой данных была использована технология ADO .NET, которая является частью платформы .NET Framework.

В процессе проектирования приложения применены различные объектно-ориентированные шаблоны, что позволило существенно упростить процесс разработки приложения и сделать его структуру более понятной.

При разработке клиентской части приложения использованы программные пакеты DevExpress Controls, DevExpress MVVM и DevExpress Reporting. Элементы управления из пакета DevExpress Controls удобны в применении и предоставляют современный пользовательский интерфейс, что делает их хорошей альтернативой стандартным компонентам. Пакет DevExpress MVVM позволяет упростить использование шаблона проектирования Model – View – ViewModel в приложениях WPF. Пакет DevExpress Reporting использован для реализации возможности формирования параметризованных отчетов.

В приложении реализованы функции открытия расчетных счетов, заключения договоров по вкладам и кредитам, проведения приходных и расходных операций по счетам, а также осуществления переводов с одного счета на другой. Также в приложении разработана возможность корректировки таблиц справочников с информацией о видах вкладов, видах кредитов и др. Для получения различной информации о работе банка в структурированном виде реализована возможность создавать параметризованные отчеты.

Также реализованы механизм авторизации и аутентификации пользователей, ведение лога операций по счету с возможностью отката их состояния на определенный момент времени.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Е. Д. Гуменников (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **И. А. Мурашко,** д-р техн. наук, доцент

МЕТОДИКА ГЕНЕРАЦИИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ТЕКСТОВ

Задача автоматической генерации эквивалентных текстов состоит в автоматизированном построении текста, обладающего аналогичным тексту-оригиналу семантическим наполнением.

Автоматизированная система, способная решать такую задачу может найти свое применение во множестве отраслей, таких, например, как разработка чат-ботов, обучающих лингвистических программ, программ антиплагиата.

Входные данные для такой системы это исходный текст, эквивалент которого пользователь желает получить. Выходные данные это текст, семантически идентичный тому, что предоставил пользователь на вход.

Реализовать подобную программу возможно на основе нейронных сетей. Так как входные данные это связанная последовательность нефиксированной длины, то разумнее всего в основу архитектуры нейронной сети положить рекуррентную модель. Обучение сети предполагается путем применения метода обратного распространения ошибки.

Программа-генератор включает в себя не одну, а несколько рекуррентных нейронных сетей. Система начинает свою работу с того, что исходный текст, по слову, подается на вход первой нейронной сети, также на ее входы подаются выходы предыдущих результатов работы сети, они нужны для того, чтобы сохранить семантическое наполнение, вычлененное из уже обработанного текста. Таким образом каждое последующее слово как бы присоединяется к текущему контексту. Цель этой части программы состоит в получении вектора, характеризующего семантическое наполнение сети. Полученный вектор подается в качестве входных данных на простой персептрон, чтобы получить первое слово генерируемого эквивалента. Далее вектор-характеристика исходного текста вместе с первым словом подаются на вход следующей рекуррентной сети. Эта сеть в результате каждой итерации генерирует очередное слово текста-эквивалента и вектор-характеристику генерируемого текста. Для сохранения семантического наполнения текста на каждой итерации сеть постобучаяется. Здесь

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ошибкой будет считаться отклонение текущего вектора, характеризующего семантическое наполнение генерируемого текста от исходного вектора-характеристик текста, если же ошибка велика запускается процесс обучения, далее итерация повторяется. Веса затронутых постобучением нейронов, не сохраняются в модель пред обученной сети, они применяются исключительно в рамках текущей генерации.

На рисунке 1 приведена схема описанной системы.

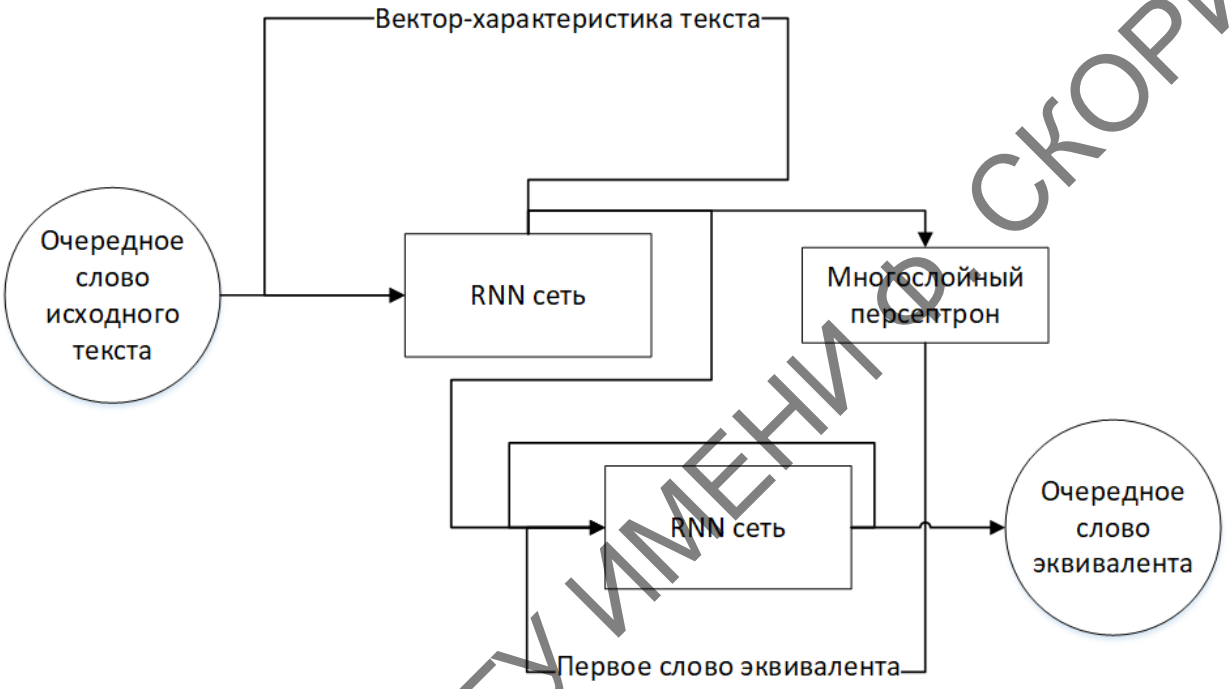


Рисунок 1 – Схема генератора-эквивалентов

Сети, применяемые для решения данной задачи можно описать математически по формулам 1 и 2:

$$h(t)=f(V\cdot x(t)+U\cdot h(t-1)+bh) \quad (1)$$

где: x(t) – входной вектор номер t, h(t) – состояние скрытого слоя для входа x(t) (h(0)=0), U - весовая матрица распределительного слоя, bh – вектор сдвигов скрытого слоя, V – весовая матрица выходного слоя, f – функция активации скрытого слоя, g – функция активации выходного слоя.

$$y(t)=g(W\cdot h(t)+by) \quad (2)$$

где: W – весовая (квадратная) матрица обратных связей скрытого слоя, by – вектор сдвигов выходного слоя, y(t) - выход сети для входа x(t).

Таким образом, предложенная архитектура превосходит стандартную *RNN* сеть, сохраняя при этом простату архитектуры. В свою очередь, за счет уменьшения общего количества нейронов и упрощения

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

архитектуры достигается улучшение производительности относительно *LSTM* сетей.

Литература

1. Мурашко, И.А. Курс лекций дисциплины «Оптимизация проектных решений» для студентов специальностей 1-40 01 02 / И.А. Мурашко, Д.Е. Храбров. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2014. – 94 с.
2. Тарик, Р. Создаем нейронную сеть / Р. Тарик. – СПб: Вильямс, 2018. – 272 с.
3. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс / С. Хайкин. – СПб: Вильямс, 2006. – 1104 с.
4. Розанов А. К. Быстрый алгоритм анализа словоформ естественного языка с трехуровневой моделью словаря начальных форм / А.К. Розанов – Cloud of science. 2016. – 231 с.

Д. В. Домасканов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. Н. Кулинченко,** ст. преподаватель

РАДИООБСЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ ПОКРЫТИЯ WI-FI ТОЧКИ ДОСТУПА В ЖИЛОМ ЗДАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА

Для сбора статистических данных о зоне покрытия Wi-Fi сети воспользуемся программой Acrylic WiFi Heatmaps. Маршрут, по которому будет выполняться сканирование зоны покрытия Wi-Fi сети, построим таким образом, чтобы постараться охватить как можно большую площадь. Выполним сканирование Wi-Fi сетей в трехкомнатной квартире №199 десятого этажа жилого здания.

Рассмотрим следующие характеристики сети: уровень сигнала (RSSI) (рисунок 1) и соотношение сигнал/шум(signal-to-noise ratio)(рисунок 3) Wi-Fi точки доступа Tp-Link_FE10. Уровень сигнала (RSSI) показывает насколько эффективно сеть достигает исследуемой области. Значения мощности сигнала находятся в диапазоне от 0 дБ до -100 дБ(-100 дБ - худшая производительность). Цветовая схема показана на рисунке 2.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Рисунок 1 – Уровень сигнала (RSSI) Wi-Fi точки доступа Tp-Link_FE10 на десятом этаже

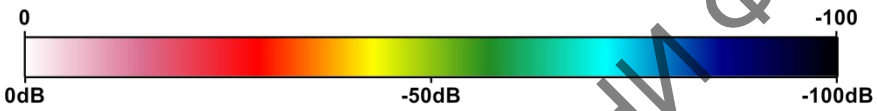


Рисунок 2 –Шкала уровня сигнала (RSSI)

На следующем изображении показано отношение сигнал / шум сети TP-LINK_FE10 во всей исследуемой области. Отношение сигнал / шум измеряет соотношение между уровнем сигнала сети Wi-Fi и фоновым шумом. Более высокие уровни шума приведут к большему негативному влиянию на связь. Этот параметр предоставляет ценную информацию об эффективности коммуникаций. Эти значения находятся в диапазоне от 0 до 100.

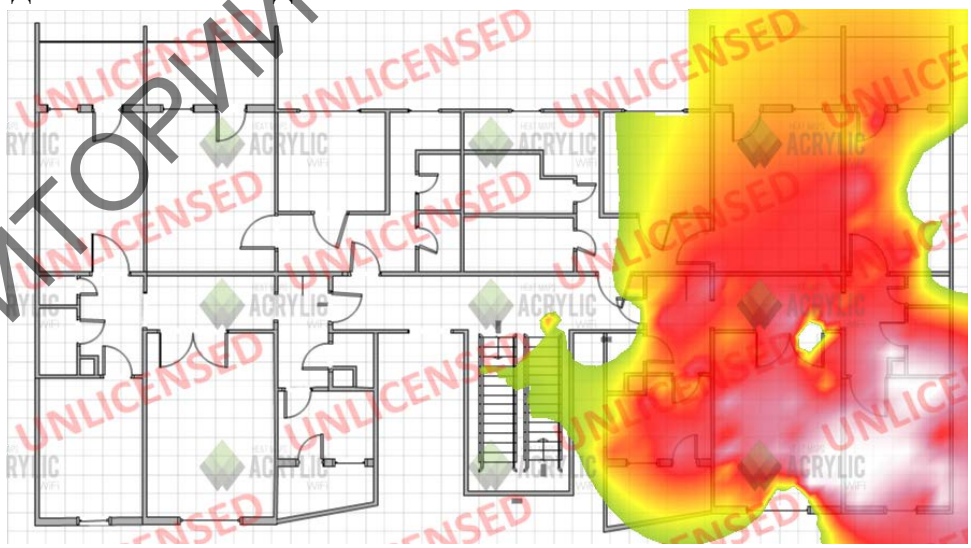


Рисунок 3 – Отношения сигнал/шум (signal-to-noise ratio) Wi-Fi точки доступа Tp-Link_FE10 на десятом этаже

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

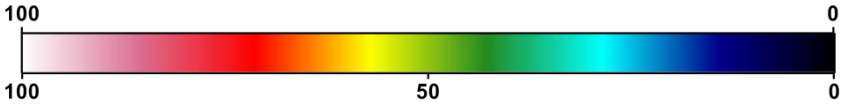


Рисунок 4 – Шкала отношения сигнал/шум (signal-to-noise ratio)

В результате проведенного радиообследования для точки доступа Tp-Link_FE10 можно сделать вывод о том, что мощность сигнала и расположение точки доступа позволяет получить беспрепятственный доступ из любой точки квартиры №199, находящейся на 10 этаже (Рисунок 3). Исходя из отношения сигнал/шум (signal-to-noise ratio) Wi-Fi точки на 10 этаже (Рисунок 4) можно сделать вывод о том, что точка доступа Wi-Fi сети находится в области сильных радиопомех. Это явление может привести к нестабильной работе Wi-Fi точки доступа.

П. Ю. Дроздов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ПРОДАЖИ БИЛЕТОВ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Web-приложение представляет из себя набор сервисов, которые которые предоставляют пользователю графический интерфейс и серверную часть и отвечают за различные функции приложения. Каждый сервис работает по принципу единой ответственности (Single Responsibility Principle).

Графический интерфейс – это та часть приложения, с которой пользователь взаимодействует непосредственно. Для людей с ограниченными возможностями при разработке приложений необходимо учитывать особенности человека.

Ограничения по слуху. Пользователи, которые имеют проблемы со слухом не смогут услышать все звуковые сигналы, которые вы используете в своих интерфейсах, поэтому все звуковые сигналы необходимо дублировать визуально.

Ограничения связанные с умственным способностями. Рекомендации по разработке интерфейсов для такой группы людей фокусируются в основном на работе с описанием интерфейса и подсказками. В приложениях лучше не использовать сложные

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

формулировки и узкоспециализированные термины. Также стоит избегать сложных форм и непонятных контроллеров.

Ограничения моторики. Пользователи из этой группы чаще всего используют клавиатуру с использованием ограниченного набора клавиш: Tab (переход на шаг вперед), Tab+shift (переход на шаг назад), стрелочная клавиатура (навигация по таблицам или разные элементы форм), некоторые комбинации горячих клавиш.

Ограничения по зрению. Интерфейсы необходимо тестировать в условиях увеличения размера страницы. Экранный диктор может распознать только стандартные элементы из HTML спецификации, но в сложных web-приложениях. Для корректной работы электронного диктора нам необходимо использовать дополнительную спецификацию ARIA. Эта спецификация содержит набор атрибутов, для описания работы интерфейсов. С помощью данных конструкций экранный диктор будет давать правильные подсказки для пользователей.

В. В. Еременко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА TOKEN АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЯ «СОЦИАЛЬНАЯ СЕТЬ»

Для разработки Token аутентификации используются две модели. Это модель Token и модель User. Каждая модель несет свою смысловую нагрузку и содержит в себе уникальный идентификатор, который будет определятся автоматически при записи объекта модели в базу данных.

Модель User содержит следующие поля: id – уникальный идентификатор; username – имя пользователя; password – пароль к учетной записи пользователя, authorities – список ролей пользователя (USER, ADMIN).

Для аутентификации используется Spring Security. Для того чтобы аутентификация работала необходимо для класса User имплементировать интерфейс UserDetails. UserDetails можно представить, как адаптер между БД пользователей и тем, что требуется Spring Security внутри SecurityContextHolder.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Модель Token содержит следующие поля: id – уникальный идентификатор; key – уникальный ключ; creationTime – время создания Token; extendedInformation – расширеная информация.

Оба класса помечены аннотациями @Entity, которая обозначает, что эти классы являются сущностями базы данных которые можно использовать с помощью JPA.

Созданы два репозитория для пользователя и для Tokena. Каж-дый наследует (extends) CrudRepository<Object,Long> где указывают-ся тип возвращаемых объектов и тип идентификатора (id).

CRUD репозиторий содержит в себе набор методов по умолчанию, которые позволяют осуществлять почти все стандартные операции. При создании своих репозиториев необходимо добавить только кастомные методы: User getUserByUsername (String username) – получение пользователя по имени, Token getTokenByKey (String key) – получение токена по ключу, Token getTokenById (int id) – получение токена по идентификатору.

Сервисы представляют собой слой приложения, который отвечает за работу с бизнес логикой, за транзакционность операций. Для Token аутентификации написаны два класса UserService и TokenServise. Классы сервисного слоя помечаются аннотацией @Service.

В. С. Закревская (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СКРУТЕНЁРСКОЙ РАБОТЫ СУДЕЙСКОЙ КОЛЛЕГИИ

С момента признания чирлидинга как вида спорта усилился контроль за результатами каждых соревнований от вышестоящих организаций, так как победителей каждой дисциплины регистрируют в международной базе данных МСЧ (ICU), где им присуждаются рейтинговые очки, влияющие на их рейтинг на международной спортивной арене. Также победа на республиканских этапах соревнований даёт возможность выезда на международные соревнования для представления своей страны. А, значит, результаты соревнований каждого этапа должны быть максимально точными.

С целью выявления особенностей и характера взаимного влияния судейства соревнований и мастерства спортсменов в чирлидинге, а также востребованности внедрения информационных технологий в

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

процесс судейства был проведен экспертный опрос и анкетирование, в котором приняли участие тренеры, судьи и сами спортсмены.

Сегодня проблема заключается в том, что нередко организаторы соревнований недостаточно хорошо осведомлены о возможностях компьютерных программ для обработки статистической информации, у них не хватает знаний, чтобы сформулировать задачи обработки полученных данных, ввести их в компьютер в соответствующем виде, пользуясь интерфейсом программы провести вычисления и интерпретировать полученные результаты.

Предлагаемая работа посвящена разработке с помощью языков C# и SQL программных средств для автоматизации работы с базой данных о спортсменах, судьях и соревнованиях, для подсчёта очков, ранжирования мест, подведения итогов и печати спортивных сертификатов и дипломов, иначе говоря – для облегчения скрутенёрской работы судейской коллегии на соревнованиях по чирлидингу.

Серверная часть приложения разработана в среде Microsoft SQL Server 2012. Для создания клиентской части приложения использовался язык C# в среде Microsoft Visual Studio 2015.

Тестирование и работа с приложением проводились на различных устройствах с ОС Windows 10. Приложение показало работоспособность, целостность и структурированность.

В. М. Зезюлин (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А. А. Зайцев**, ассистент

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА С ПОМОЩЬЮ «ИНТЕРЕНТ ВЕЩЕЙ»

Проблематика. На сегодняшний остро стоит вопрос рационализаторства и новаторства в различных отраслях промышленности. Так, например сектор агропромышленного комплекса остается без достаточного внимания, и большая часть новаторства приходит на использование новых видов удобрения и технологии машиностроения. Вопрос процесса контроля и ухода за выращиваемыми культурами, а также аналитика и логистика сектора их выращивания остается открытым и зачастую на решение данного вопроса приходит человеческий ресурс и дорогостоящее оборудование. Поэтому процесс автоматизации и оптимизации агропромышленного комплекса является ак-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

туальной задачей для специалистов, как агропромышленного сектора, так и сферы IT.

Цель работы. Изучить проблемы автоматизации и оптимизации агропромышленного комплекса. Разработать алгоритмы и задачи логистики выращиваемых культур. Создание аналитической базы для изучения зависимостей для выращивания различных растительных культур. Разработать и создать устройства для сбора и обработки данных. Использование современных технологий передачи и обработки данных.

Полученные результаты: Был разработан комплекс систем и алгоритмов, направленных на автоматизацию и оптимизацию работы агропромышленного комплекса. Разработан комплекс датчиков и устройств, которые анализируют состояние почвы, исследуют показания окружающей среды и передают данные на сервер. Благодаря используемой технологии «Интернет вещей» была произведена связь считывающих и исполняющих устройств. В работе, связь устройств, преимущественно осуществляется беспроводным путем, посредством Wi-Fi и NB-IoT. Для обработки и хранения данных используется сервер. Также система в режиме реального времени выводит параметры окружающей среды и состояние почвы, сигнализирует о возможных критических состояниях. По итогам работы был получен анализ местности, относительно исследуемых параметров. Была составлена программа рекомендаций по выращиванию более адаптивных культур для исследуемой почвы. Также стоит заметить, что использование беспроводной связи в телеметрии для сельского хозяйства имеет большое преимущество, в отличие от проводной передачи данных. Таким образом, беспроводная связь, дает возможность отказаться от сложной и дорогой, в местах невозможной установки кабеля.

Ю. А. Иванова (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «КНИГИ» НА ПЛАТФОРМЕ ASP.NET CORE

Разработано адаптивное web-приложение «Книги» на платформе ASP.Net Core. Все страницы сайта обладают единым дизайном и логикой размещения элементов. Сверху располагается панель навигации и поиска, слева выделено место под блок фильтрации,

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

снизу можно найти контактную информацию, ссылки на социальные сети и форму обратной связи.

Главная страница представляет собой набор важных данных: описание категорий, условия покупки и доставки, объявления акций. На карте подсвечиваются возможные варианты курьерских служб и расценок, проверить точный адрес можно в соответствующей форме. Справа можно развернуть диалоговое окно для общения с консультантом или же опробовать интерактивный текстовый квест, помогающий выбрать книгу по нескольким критериям.

На страницах каталога товары могут отображаться в виде списка или таблицы. Фильтры позволяют максимально сузить круг поиска. При нажатии на товар появляется детальная информация. Рейтинг составляется пользователями, рецензии сортируются по популярности. Читателям предоставляется возможность загрузить ознакомительный фрагмент в нескольких электронных форматах. Кнопка покупки помещает книгу в корзину и предлагает перейти к оформлению, также можно добавить товар в избранные, чтобы вернуться к нему позже.

Функционал сайта предусматривает взаимодействие пользователей друг с другом. На специальном форуме оставляются отзывы без сюжетных подробностей, а в отдельных темах читатели обсуждают литературные произведения без ограничений. Форум подвергается ежедневной модерации. Самые активные пользователи получают одноразовые промокоды или же скидки на длительный период.

Основой для разработки web-приложения послужил язык программирования C# и фреймворк ASP.NET Core. Сайт адаптирован не только под разные браузеры, но и под несколько платформ (компьютерная и мобильная версия). Приложение разработано в среде Visual Studio 2019. В качестве системы управления данными выбран Microsoft SQL Server 2017.

М. Ильджанова
(КГУТИ имени. Ш. Есенова, Актау, Республика Казахстан)
Науч. рук. **Д. Д. Абдешов**, ст. преподаватель

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Автоматизация эксперимента – это новый комплекс средств и методов для ускорения сбора и обработки экспериментальных дан-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ных. Необходимость изучения свойств автоматизации является необходимым аспектом в рамках исследования. К примеру, если исследовать свойства приемников.[1]

Основными электрическими свойствами радиоприемников являются:

1) Чувствительность. Чувствительность относится к способности приемника принимать слабые сигналы. Чувствительность определяется требуемой минимальной мощностью или ЭДС сигнала на антенне (или эквивалентной), которая обеспечивает нормальную работу исполнительного (готового) устройства для данного уровня сигнала с силой шума на выходе конкретного уровень сигнала приемника. Однако в реальных условиях эксплуатации, особенно для частных радиоприемников, пренебрежение внешними помехами радиоприему, как правило, недопустимо. Поэтому понятие эффективной чувствительности вводится в зависимости как от уровня внутренних, так и от внешних помех.

Эффективная чувствительность – это способность радиоприемника принимать слабые сигналы определенного качества (отношение сигнал / шум) и вероятность (ущерб) получать под воздействием всей группы помех.

2) Селективность. Селективность – это способность радиоприемника изолировать полезный сигнал и уменьшить влияние мешающих сигналов (помех), используя различные методы селективности: частоту, время, пространственную поляризацию и т. Д.

Частотная избирательность, применяемая с использованием резонансных схем и фильтров, характеризуется нормированной амплитудно-частотной характеристикой γ (f) радиолучей приемника γ (fc) и промежуточных γ (fп) частот:

K (f) = K (f) / Ko = γ (fc) γ (fп); где K (f) - модуль f коэффициента передачи этих трактов на случайной частоте; Ко - то же самое, но на частотах fc или fп.

Количественно селективность реципиента оценивается по взаимности γ (f):

Sl = Ko / K (f) называется селективностью приемника.

Рассматривая K (f) в качестве коэффициентов передачи для любого побочного канала приема, избирательность приемника может быть определена в соответствии с соответствующими каналами помех.

Приведенные характеристики селективности определяются только частотной фильтрацией полезного сигнала от мешающих сигналов в высокочастотном канале. Однако истинная селективность приемника

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

в целом также зависит от нелинейных явлений в их каскадах. Поэтому вводится понятие эффективной частотной избирательности, что означает, что приемник может различать полезный сигнал (частоты, на которые настроен приемник) и помехи (с частотами вне полосы перехода), чтобы создавать нелинейные эффекты, когда уровни полезны и взаимодействующие сигналы движутся одновременно. доход. На каскадах усилителя и преобразователя приемника нелинейные эффекты, вызванные нелинейной вольт-амперной характеристикой активных устройств, главным образом при высоких уровнях сигнала или шума, вызывают следующие явления:сжатие амплитуды радиосигнала, то есть нарушение линейной зависимости между амплитудами сигнала на выходе и входе каскада; блокирование полезного сигнала, выраженного изменением коэффициента передачи тракта приема, под воздействием мешающих сигналов, частоты которых отличаются от частот основного и вторичного каналов приема;помехи радиосигналов, которые возникают в результате передачи модуляции из мешающего внеполосного сигнала в полезный сигнал;взаимная модуляция (интермодуляция) между внеполосными сигналами и шумом;

Временная избирательность в основном используется при приеме импульсных сигналов, когда момент появления достаточно точно известен. В этом случае метод стробирования используется только тогда, когда приемник включен на ожидаемое время прибытия импульсного сигнала. Время, в течение которого приемник выключен, уменьшает влияние помех.

Пространственная селективность достигается с помощью универсальных приемных антенн, а в настоящее время - путем управления фазированными антенными решетками. Если источники сигнала и помехи отделены друг от друга в угловых направлениях, уровень внешних помех на входе приемника может быть значительно уменьшен путем создания нулей (падений) в диаграмме направленности в направлении источника сигнала приемной антенны. в направлении максимального излучения.

Если существуют различия в поляризации электромагнитных волн желаемого сигнала и шума, можно получить селективность поляризации. Сигнал генерируется приемной антенной, настроенной на тип поляризации.

3) Иммунитет. Иммунитет называется способностью приемника принимать информацию, которая передается или извлекается с определенной надежностью для данного (или выбранного) типа сигналов (включая типы модуляции или кодирования) и наличие помех в ра-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

диоканале. Повышенная помехоустойчивость обеспечивается специальными методами для создания оптимальных (полуоптимальных) структур приемника со всеми видами селективности и для устранения помех при обработке принятых сигналов.

4) Допустимое искажение воспроизводимого сигнала при отсутствии помех. Искажения могут быть линейными (амплитудно-частотные и фазово-частотные) и нелинейными. Амплитуда - частотные искажения изменяют соотношение между амплитудами компонентов сообщения на выходе приемника (включая оконечное устройство) в зависимости от его входа. Фазочастотные искажения представляют собой тот факт, что различные компоненты спектра сообщения не сдвигаются в одинаковом количестве во времени, когда они проходят через приемник, и фазово-частотная характеристика тракта приема оценивается по приемлемой линейности. Нелинейные искажения появляются на выходе приемника ввиду дополнительных частот (гармонических и комбинационных), которые отсутствуют в передаваемом сообщении, и оцениваются по коэффициенту нелинейных искажений, разрешенному в данном коэффициенте модуляции. Искажения импульсных сигналов оцениваются по допустимым временам фронта и среза, неравенству вершины и выбросам сверху и на паузе.

5) Электромагнитная совместимость. Понятно, что при электромагнитной совместимости это электронное оборудование взаимодействует с другим оборудованием, создающим мешающие радиоизлучения.[2]

При создании нового параметра свойств следует учитывать, что наиболее эффективным является такое распределение труда. Специальные программы должны разрабатывать исследователи, ибо они лучше всего знают особенности исследования, которые к тому же заранее обычно нельзя строго формализовать.[3]

Литература

1. Соколов, М.П. Автоматические измерительные устройства в экспериментальной физике / М.П. Соколов. – М.: Автоматика, 1978. – 237 с.

2. Виноградов,В.И. Дискретные информационные системы в научных исследованиях / В.И. Виноградов. – М.: Автоматика, 1976. – 283 с.

3. Курочкин, С.С. Системы КАМАК - ВЕКТОР / С.С. Курочкин. – М.: Феникс, 1981. – 349 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

М. А. Караваева (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА ПАРФЮМЕРИИ

Важным в создании интернет-магазина является удобство его использования для клиента, поэтому он должен совмещать в себе такие характеристики, как привлекательная визуальная часть, простота в использовании и наличие большого ряда функциональных возможностей. Дизайн интернет-магазина играет большую роль для его посещаемости, однако, при недостаточно разработанной функциональной части, он не будет иметь эффективности. Поэтому акцентируем внимание на двух оставшихся элементах.

В шапке сайта находится логотип интернет-магазина, навигационная панель, поисковая строка, кнопки «Вход» и «Регистрация», а также корзина товаров. Справа расположены инструменты, позволяющие выбрать определенную продукцию. В центральной части отображены предлагаемые товары и их характеристики.

Функциональные возможности разработанного приложения:

1. Регистрация. Если пользователь уже существует, выведется сообщение об ошибке регистрации.

2. Авторизация (при необходимости восстановления пароля предусмотрена кнопка «Забыли пароль?»). После это на главной странице появляется иконка с указанием имени, введенного во время регистрации, которая позволяет пользователю либо выйти из своего аккаунта, либо изменить свои личные данные.

3. Выбор отображения товаров, который осуществляется нажатием на кнопку «Сортировать» и указанием нужного варианта.

4. Поиск товаров, обеспечивающийся вводом необходимой продукции в поисковую строку.

5. Фильтрация товаров, позволяющая отобрать продукцию определенной категории.

6. Добавление товаров в корзину. Также предусмотрена возможность просмотра выбранной продукции, увеличение ее количества, удаление товара и очистка корзины.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

7. Заказ товаров, предусматривающий заполнение формы с указанием личных данных, способа оплаты и доставки, что и является завершающим этапом.

А. С. Католикова (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕРВИСЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ

В век информационных технологий необходимость наличия приложения для магазина или сервиса по предоставлению услуг становится все более необходимым. При этом должна быть предоставлена возможность оперативно изменить имеющийся контент, добавляя новую функциональность. Для этого было разработано приложение, позволяющее удовлетворить потребность в быстром создании приложения. Данный сервис состоит из двух основных частей – часть администрирования для настройки будущего приложения, а также самого приложения, которое, получая информацию из соответствующего файла настроек, отображает необходимый дизайн, контент и структуру.

Серверная часть приложения была реализована с использование .NET платформы с использованием Amazon Web Services (AWS). В качестве БД была выбрана MySQL в Amazon RDS. Для разработки мобильного приложения был использован Angular 8.

Amazon Web Services (AWS) – распространенный облачный сервис, предоставляющих большое количество возможностей в виде полнофункциональных сервисов для обработки и хранения данных.

Для размещения серверной части выбрано использование EC2 инстанса. EC2 (Amazon Elastic Compute Cloud) является сервисом, который позволяет предоставить вычислительные мощности в нужном объеме. Для уведомления о каких-либо действиях, акциях, обновлениях используется AWS SES сервис, позволяющий отправить email одному или группе подписавшихся пользователей. Для размещения самих созданных приложений используется S3, который является сервисом для хранения объектов с хорошей производитель-ностью, доступностью и предоставляющий безопасность для данных. Amazon Relational Database Service (Amazon RDS) позволяет настроить и использовать реляционные базы данных в облаке. В отдельных случаях

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

нет необходимости в создании сервера, если необходимо выполнить определенное единичное действие, к примеру, на создание нового приложения в S3. Для этого можно воспользо-ваться возможностями serverless технологии, которую предоставляет AWS – AWS Lambda.

А. Д. Ковальчук (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА НАВИГАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОГО МОДУЛЯ НА ANDROID

Для координации действий космических летательных аппаратов нужна надёжная коммуникационная сеть, обеспечивающая удобную связь и информирующая о качестве сигнала. Также развитие технических мощностей способствует увеличению расстояний, преодолеваемых спутниками. В этих условиях возникает необходимость в навигации, что требует создания интерактивных карт и определения положения небесных тел в открытом космосе. Разработанное приложение позволяет быстро и удобно решить вышеуказанные проблемы.

При запуске программы пользователь должен авторизоваться. После успешной авторизации открывается стартовая страница с описанием основных функций приложения. В верхней панели располагается кнопка меню, из которого доступны остальные функции.

Среди функционала доступна интерактивная карта системы с указанием текущего местоположения космического аппарата. Кроме того, доступна карта галактики с указанием даты последнего обновления. Каждая из карт масштабируема. Приложение производит расчёт качества сигнала на основе данных, запрашиваемых с удалённых серверов. Карта галактики обновляется только по запросу, а карта системы – в автоматическом режиме.

Также функционал включает получение информации о небесных телах. Данные содержат название тела, его изображение (при наличии), описание и удалённость от аппарата. Подобная информация хранится и в списке ближайших станций.

Под каждой станцией в списке находится кнопка отправки сообщений. Отправка первого сообщения создаёт объект чата. Открытые чаты можно использовать в текущей сессии для связи с другими летательными аппаратами. При завершении сессии чаты помечаются как закрытые и записываются в локальное хранилище приложения как

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

история сообщений, которую можно просматривать при следующих сеансах работы в системе.

Локальное хранилище реализовано в виде легковесной БД SQLite, что идеально подходит для мобильных операционных систем, ограниченных в ресурсах. Эмуляция удалённых серверов для получения данных реализована с помощью Node.js приложения.

А. В. Козлов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОПИСАНИЕ КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАКАЗА БИЛЕТОВ НА ФУТБОЛЬНЫЕ МАТЧИ

В шапке сайта находится навигация по странице – главное меню. После выбора пункта меню «Матч» он изменит свой цвет, страница прокрутится до соответствующего пункта «Ближайшие матчи». Здесь посетителю предлагается выбрать любой из трех ближайших матчей на стадионе «ФК Спутник». По умолчанию стоит ближайший матч. После выбора матча посетителю сайта необходимо нажать кнопку «Сохранить», после чего его перенаправит далее на раздел «Стадион».

При наведении на любой сектор, он будет немного увеличиваться, и появится подсказка о стоимости одного билета. После нажатия на выбранный сектор система покажет количество доступных мест и всего в этом секторе. Здесь же показаны три вида состояния мест на стадионе. Зеленые ячейки означают, что место на стадионе свободно. Желтые – место забронировано, но если человек, который его бронировал не смог его выкупить, то оно автоматически будет освобождаться за два часа до начала матча. Темные ячейки означают, что место уже выкуплено. Так же предусмотрен случай, когда пользователь хочет выбрать более пяти мест на стадионе или не выбрал ни одного места и все равно хочет произвести действия с ним. При наведении на кнопку появляется соответствующее предупреждение, а сама она блокируется.

После выбора мест на стадионе пользователь может выбрать «Способ приобретения билета» (купить, забронировать). Если покупатель выбрал «Купить» билет, то система направит пользователя на следующий раздел, для заполнения необходимых данных. После заполнения всех полей формы нажмем кнопку «Отправить», после чего

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

система направит пользователя на последний раздел «Билет», который был не доступен все это время. Пользователю будет показан билет для печати, содержащий ФИО покупателя, название трибуна, номер сектора, количество мест, стоимость одного места, итоговая сумма, номера мест, QR-код, который он может распечатать.

Для бронирования места на стадионе, пользователю необходимо выбрать соответствующий пункт в разделе «Способ приобретения билета». Далее после заполнения всех полей формы система направит пользователя на раздел «Бронь», где отобразит уникальный пароль. Здесь показан уникальный пароль для снятия брони места. Пользователь может как выкупить это место сразу, так и позже, запомнив этот пароль.

Г. В. Козлов, Т. А. Заяц (БТЭУ ПК, Гомель)
Науч. рук.**Т. А. Заяц**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-ВИТРИНЫ

Интернет является эффективным средством рекламы и продвижения продуктов и услуг. По результатам исследований, большинство ресурсов сети Интернет так или иначе связаны с коммерческой деятельностью. Интернет используется для рекламы или непосредственной продажи товаров и услуг, для маркетинговых исследований, электронных платежей и управления банковскими счетами.

Интернет-витрина – это сайт в сети Интернет, содержащий описание товаров (внешний вид, цена, наличие и указание мест, где их можно приобрести) и контактные данные для организации обратной связи с посетителем витрины.

Создание интернет-витрины, как и любого веб-сайта, состоит из ряда этапов таких как проектирование, создание макета шаблона страниц, наполнение контентом, публикация в сети Интернет, обслуживание (обновление контента), SEO-оптимизация [1].

В качестве инструментария для разработки интернет-витрины были использованы следующие программные и языковые средства:

– Sublime Text 3.0 – текстовый редактор для набора и отладки программного кода;

– язык HTML 5.0 и CSS 3.0 – стандартные языки разметки веб-документов и их стилевого оформления;

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

– Adobe Photoshop CS6 – многофункциональный графический редактор;

– JavaScript и библиотека Jquery – скриптовый язык программирования для придания интерактивности web-страницам и библиотека Jquery с готовыми решениями на языке JavaScript.

Макет страницы интернет-витрины представлен на рисунке 1.

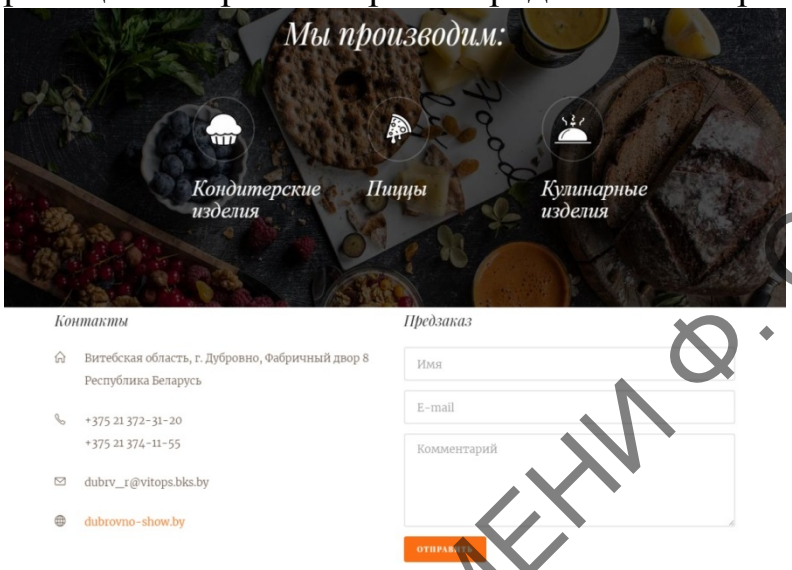


Рисунок 1 – Стартовая страница интернет-витрины

Очень весомы и значимы в настоящее время мероприятия по SEO-оптимизации – продвижению веб-ресурса на верхние позиции в поисковых выдачах [2].

Развитие алгоритмов поиска и формирования поисковых выдач от ведущих поисковых систем Интернета привело к разработке целого ряда инструментов, функция которых состоит в выводе создаваемых сайтов в верхние позиции поисковых выдач и соответственно в продвижении товаров, услуг и информации, размещаемой на страницах сайта, повышении узнаваемости и формировании имиджа компании (бренда). Чем выше позиция сайта в результатах поиска, тем больше пользователей переходит на него.

Важное значение для результатов продвижения имеют мероприятия по:

- повышению соответствия страниц поисковым запросам (релевантности);
- оптимизации структуры и контента;
- улучшению коммерческих факторов;
- оптимизации кода страниц;
- наращиванию ссылочной массы, т.е. получению ссылок на свой сайт с других ресурсов.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Продвигать сайты в интернете с целью увеличения посещаемости ресурса можно разными способами, например, при помощи контекстно-медийной рекламы, либо социальных сетей, PR-деятельности, крауд-маркетинга. Выбор метода продвижения зависит от типа проекта, целей и имеющихся финансовых средств. Но основой продвижения по праву считается SEO.

Для продвижения интренет-витрины можно предложить три наиболее эффективных варианта:

1. Поисковая оптимизация (собрать семантическое ядро (наиболее популярные запросы), которое будет использовано для составления грамотного текста заголовков и ключевых слов сайта).
2. Использование контекстной рекламы (гибкая настройка под регионы).
3. Продвижение в социальных сетях.

Практическая значимость проекта заключается в том, что с помощью данного веб-ресурса можно увеличить объемы сбыта производимой продукции, тем самым увеличить получаемую прибыль. Также иметь возможность оперативного взаимодействия с представителями по вопросам заказа.

Литература

1. Заяц, Т.А. Использование современных информационных технологий в создании интернет-ресурсов /Т.А. Заяц// Инновационные технологии в экономическом и бизнес-образовании: сборник научных статей Международного весеннего форума, Гомель, 21-24 мая 2013 г.– Гомель, БТЭУ, 2013. – Ч.2. – С. 30-35.

2. SEO-оптимизация // http://seokleo.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://seokleo.ru/prodvijenie-saita. – Дата доступа: 17.11.2019.

А. А. Кончиц (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ OBD-II СКАНЕРА

Компьютерная диагностика автомобиля (OBD) – это диагностика различных систем автомобиля, производящаяся блоком управления

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

автомобиля [1]. Результаты диагностики отображаются в виде сигнала о неисправности на приборной панели, а также используются автомеханиками и диагностами. Системы OBD внедряются с 1980-х годов, OBD-2 – с 1996 года. Современные варианты используют стандартизованные цифровые порты для предоставления текущих данных и выдачи ряда стандартных кодов проблем DTC (diagnostic trouble code) [2, 3]. Это диагностика различных систем автомобиля, производящаяся блоком управления автомобиля.

Для передачи информации с бортового компьютера автомобиля на смартфон используются специальные адаптеры, которые поддерживают OBD-II протокол. Они имеют различный тип подключения (Bluetooth,USB,Wi-fi).

Основными параметрами автомобиля, получаемые при помощи OBD-II сканера являются:

– скорость движения автомобиля;
– обороты двигателя;
– температура охлаждающей жидкости;
– расход топлива;
– положение дроссельной заслонки;
– температура топливной смеси;
– нагрузка двигателя;
– давление топлива;
– опережение зажигания.

Так как автомобиль представляет собой технически сложный объект, то все его технические характеристики тесно связаны и оказывают непосредственное влияние друг на друга. Вследствие чего представляют большой интерес для изучения исправности и эффективности работы автомобиля, как в целом, так и отдельных его систем.

С этой целью была проведена разработка мобильного приложения функциональной диагностики автомобиля на основе использования OBD-II сканера. Работа приложения включает два основных этапа. На первом этапе при помощи технологии Bluetooth производится считывание основных технических характеристик автомобиля на смартфон. Далее производится запись полученной информации в файл.

На втором этапе производится считывание файла и запись в базу данных параметров поездки автомобиля:

– дата поездки;
– время поездки;

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

– время измерения (секунды);
– координаты автомобиля (долгота и широта);
– скорость автомобиля(m/s);
– компоненты ускорения автомобиля(m/s^2);
– обороты двигателя;
– положение дроссельной заслонки;
– расход топлива (km/l);
– нагрузка двигателя.

В ходе опытной эксплуатации разработанного приложения была проведена функциональной диагностики автомобиля на основе использования OBD-II сканера. На рисунке 1 приведен график зависимости оборотов двигателя от скорости автомобиля(m/s).

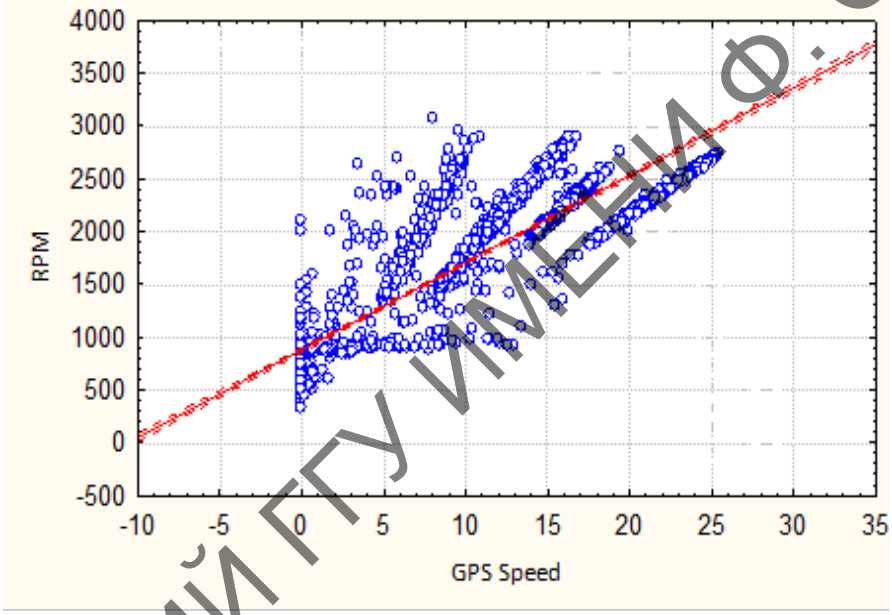


Рисунок 1 – Зависимость скорости от оборотов двигателя

На рисунке 2 приведен график зависимости расхода топлива от скорости автомобиля.

На данном графике видно, что при низкой скорости, которая характерна для городской езды, расход топлива достигает своего максимума. Оптимальный расход топлива достигается при 83,2 км/ч, затем расход топлива вновь начинает расти.

Приложения функциональной диагностики автомобиля на основе использования OBD-II сканера позволяет получать, хранить и анализировать основные характеристики автомобиля для оценки эффективности его работы, определения необходимости технического обслуживания и ремонта, снизить эксплуатационные расходы на эксплуатации автомобиля.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

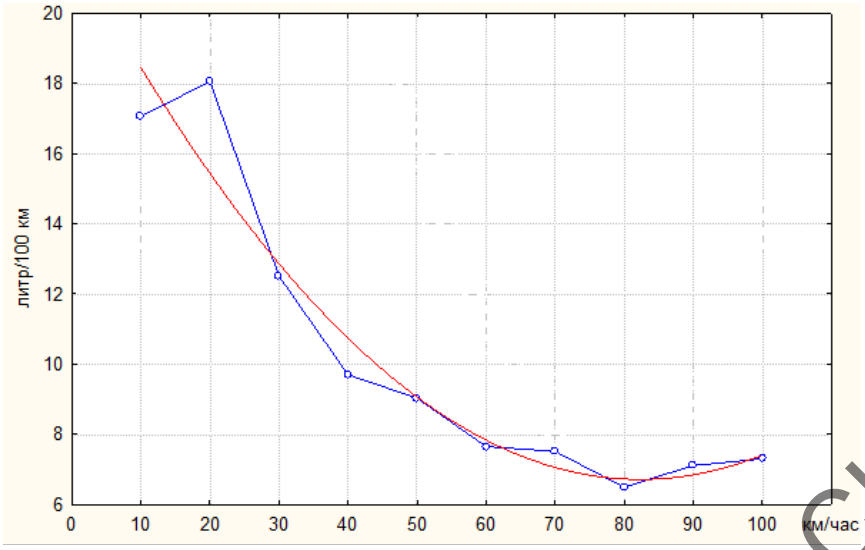


Рисунок 2 – Зависимость расхода топлива от скорости автомобиля

Литература

1. Электрическое и электронное оборудование автомобилей. - М.: Рэн-дал; СПб.: Алфамер Паблишинг, 2008. - 284 с.

2. Электронные системы автомобиля: сайт. - URL: http://awtoel.narod.ru/index.html.

3. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: учеб. для студентов вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 2005. - 304 с.

А. Е. Костерев (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

В рамках работы было разработано мобильное игровое приложение для системы Android с API на базе микросервисной архитектуры.

Актуальность работы – подавляющее большинство мобильных приложений до сих пор использует монолитные архитектуры своих API, в данной статье представлено аргументированное альтернативное мнение по этому вопросу и доводы в пользу перехода на микросервисную архитектуру.

Для создания прототипа мобильного игрового приложения была выбрана платформа Unity так как она является лучшим инструментом для разработки игровых мобильных решений на 2020 год. Для разработки сервисов были использованы: Node JS, mongodb, graphql и php.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Каждое современное мобильное приложение использует какой-либо сервис или API для типовых задач, таких как сохранение и обработка данных пользователя и другие.

Чаще всего данные сервисы представляют собой большую монолитную систему в виду простоты разработки на начальном этапе.

Серьёзным недостатком таких систем является их незащищённость по отношению ко многим вопросам, например, в случае возникновения исключительной ситуации в сервисе который использует монолитную архитектуру, сервис теряет доступность и свою работоспособность, как следствие приложение которое использует этот сервис тоже выходит из строя, а отладка сервиса и выявление проблемы займёт больше средств и времени так как он представляет собой одну большую монолитную систему что затруднит его диагностику.

Для повышения надёжности API разработанного мобильного игрового приложения была использована микросервисная архитектура. Данная микросервисная система представляет собой набор сайтов, которые предоставляют интерфейс для обработки бизнес логики приложения. Микросервисы являются слабосвязными системами и их работоспособность не завязана друг от друга, как следствие если произойдёт авария на одном микросервисе приложение всё равно продолжит свою работу. Разбивка монолитного решения на микросервисы позволяет создавать системы которые быстро изменяются и диагностируются в случае проблем, а также легко модифицируются в случае необходимости. В разработанной системе компоненты или же микросервисы выполняют относительно простые функции и взаимодействуют с использованием экономичных сетевых коммуникационных протоколов в стиле REST с использованием JSON.

За счёт повышения гранулярности модулей архитектура нацелена на уменьшение степени зацепления и увеличение связности, что позволяет проще добавлять и изменять функции в системе в любое время. В разработанной системе модули можно легко заменить в любое время: акцент сделан на простоту, независимость развёртывания и обновления каждого из микросервисов, модули организованы вокруг функций: микросервис по возможности выполняет только одну достаточно элементарную функцию.

Разработанное приложение представляет собой игру раскраску по цифрам в стиле pixel-art. Скриншоты приложения представлены на рисунке 1.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

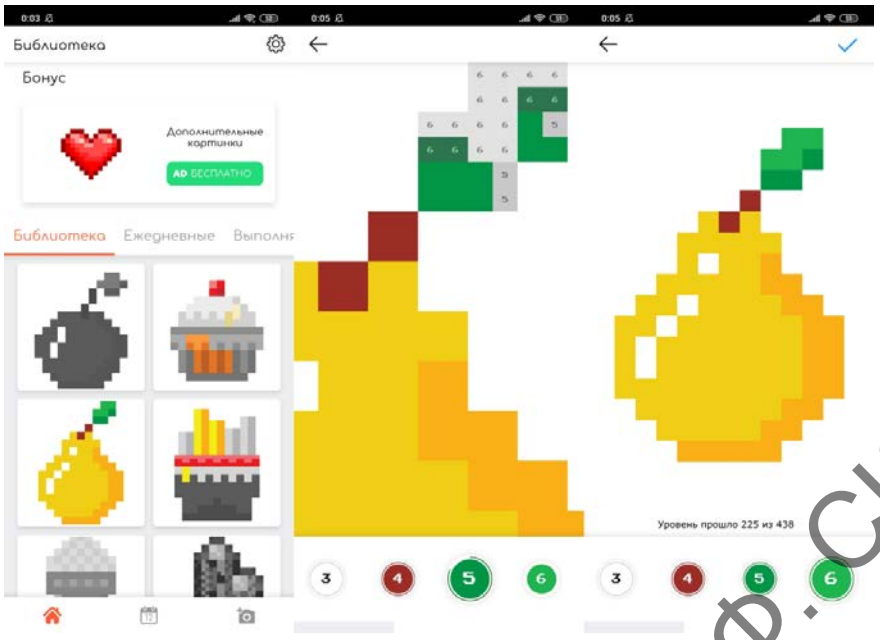


Рисунок 1 – Скриншоты приложения

Для работы приложения были подняты следующие микросервисы, микросервис для сохранения и раздачи статических файлов написан на php и размещён на хостинге 000webhost. Кластер с базой данных на mongodb, размещен на Amazon. Промежуточный сервис для сохранения файлов по определённым правилам безопасности разработан на NodeJS, размещён на heroku. Сервис с бизнес логикой разработан на NodeJS и GraphQL, размещён на heroku и выполняет роль gateway. Сервисы на рисунке 2.

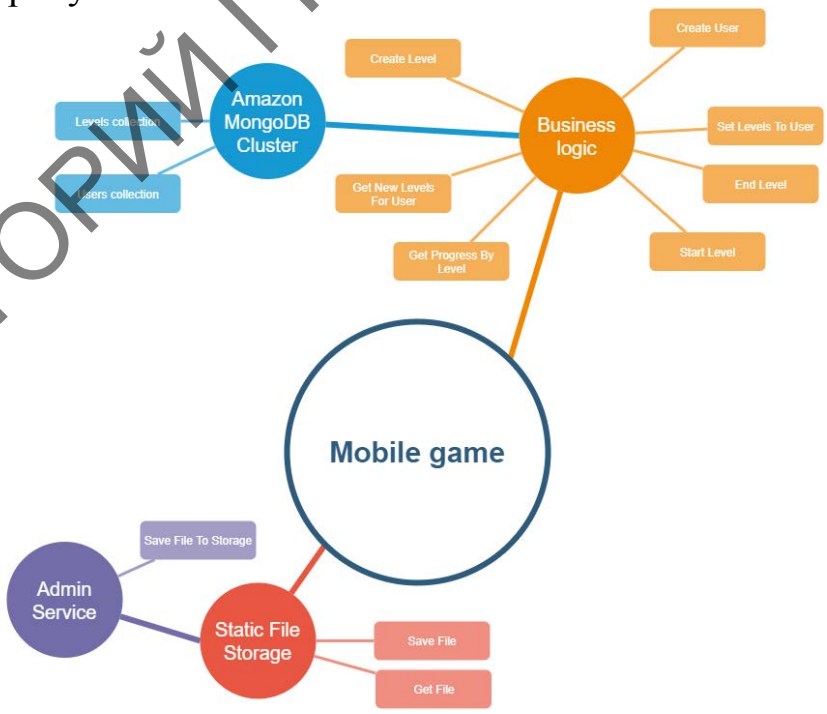


Рисунок 2 – Сервисы

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Как вывод данная система является лучшим решением в сравнение с монолитной, имеет ряд преимуществ, пользователи приложения всегда смогут получить положительный опыт использования что является серьёзным аргументом в пользу микросервисов.

Литература

1. Микросервисная архитектура / Wikipedia // [Электронный ресурс]. – 2010. – URL: https:// ru.wikipedia.org/wiki/Микросервисная_архитектура – Дата доступа: 09.03.2020.

2. MongoDB / Wikipedia // [Электронный ресурс]. – 2018. – URL: en.wikipedia.org/wiki/MongoDB – Дата доступа: 8.03.2020.

3. Кластер / Wikipedia // [Электронный ресурс]. – 2011. – URL: https:// ru.wikipedia.org/wiki/Кластер – Дата доступа: 10.03.2020.

4. API / Wikipedia // [Электронный ресурс]. – 2014. – URL: https:// en.wikipedia.org/wiki/api –Дата доступа: 10.03.2020.

А. С. Крылов (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **В. И. Токочаков**, канд. техн. наук, доцент

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В МНОГОАБОНЕНТСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ

Потери электроэнергии в электрических сетях − является важным показателем экономичности их работы, также является очевидным указателем состояния системы учета электричества, производительности взаимодействия работы различных учреждений. Данный указатель все отчетливей говорит о накапливающихся проблемах, которые требуют оперативных решений в формировании, реконструкции и техническом переоснащении электрических сетей, кроме того в модернизации средств и способов их применения и управления, в увеличении точности учета электричества, улучшении эффективности сбора валютных средств за поставленную потребителям электроэнергию и т.п.

Из упомянутого выше следует, собственно, что проблема снижения утрат электричества в электрических сетях не утратила собственной актуальности, а стала одной из ключевых задач обеспечения экономической прочности энергоснабжающих учреждений.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Цель разработки программного обеспечения − это адекватно разделить потери электроэнергии между абонентами, питающихся от одной линии электропередач.

Точное установление потерь за промежуток времени T допустимо при наличии известных параметрах R и ΔP_x а также функций времени $I(t)$ и $U(t)$ на всем промежутке. Параметры R и ΔP_x как правило известны, и в расчетах их считают постоянными [2]. Однако сопротивление проводника находится в зависимости от температуры.

Сведения о режимных параметрах $I(t)$ и $U(t)$ существует как правило лишь для дней контрольных замеров. Данные сведения считаются неполными и ограничено надежными, из-за того, что замеры проводятся техникой с конкретным классом точности и не в тоже время, что и на других подстанциях.

В зависимости от полноты данных о нагрузках составляющих сети для расчетов нагрузочных потерь могут использоваться следующие методы:

Методы расчетов по каждому элементу, использующие формулу:

$$\Delta W_н = 3 \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^{k} R_i \cdot \sum_{j=1}^{T/\Delta t} I^2{}_{ij} \ , \qquad (1)$$

где k − число элементов сети; I_{ij} − токовая нагрузка i-го элемента сопротивлением R_i в момент времени j; Δt − периодичность опроса датчиков, фиксирующих токовые нагрузки элементов.

Методы характерных режимов, использующие формулу:

$$\Delta W_н = \sum_{i=1}^{n} \Delta P_i \cdot t_i \ , \qquad (2)$$

где ΔP_i − нагрузочные потери мощности в сети в i-м режиме продолжительностью t_i часов; n − число режимов.

Методы характерных суток, использующие формулу:

$$\Delta W_н = \sum_{i=1}^{m} \Delta W_{нi}{}^{c} \cdot Д_{экi} \ , \qquad (3)$$

где m − количество характерных суток, утраты электроэнергии за каждые из которых, рассчитанные по известным графикам нагрузки в узлах сети, составляют $\Delta W_н{}^c{}_i$; $Д_{экi}$ − равносильная длительность в году i-го характерного графика (число суток).

Методы числа часов наибольших потерь τ, использующие формулу:

$$\Delta W_н = \Delta P_{\max} \cdot \tau \ , \qquad (4)$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

где ΔP_{max} – потери мощности в режиме максимальной нагрузки сети.

Методы средних нагрузок, использующие формулу:

$$\Delta W_н = \Delta P_{ср} \cdot k_ф^2 \cdot T \ , \qquad 5)$$

где $\Delta P_{ср}$ − потери мощности в сети при средних нагрузках узлов за период T; $k_ф$ − коэффициент формы графика мощности или тока.

Нагрузочные потери электроэнергии в линии устанавливают согласно одной из двух формул в связи с тем, какая информация о нагрузке ведущего участка имеется – активная W_P и реактивная w_Q энергия, переданная за период времени Т или максимальная токовая нагрузка I_{max}:

$$\Delta W_н = \frac{W_P^2 \cdot k_{фP}^2 + W_Q^2 \cdot k_{фQ}^2}{U_{эк}^2} \cdot R_{эк} \cdot T, \qquad (6)$$

$$\Delta W_н = 3 \cdot I_{max}^2 \cdot \tau \cdot R_{эк}, \qquad (7)$$

где $k_{фP}$ и $k_{фQ}$ − коэффициенты формы графиков активной и реактивной мощности; $U_{эк}$ − эквивалентное напряжение сети, учитывающее перемены фактического напряжения как в период времени, так и вдоль линии.

При соответственном расчете либо прогнозировании потерь электрической энергии в питающей сети компаний разбить потери между абонентами подразумевается соответственно употребляемой электроэнергии за месяц.

Литература

1. Бурулько Л.К. Математическое моделирование в электротехнике. / Л.К. Бурулько – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2003. – 100 с.

2. Даценко В.А. Математическое моделирование в системах электроснабжения. / В.А. Даценко – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2003. – 120 с.

3. Фурсанов М.И. Расчеты потерь электроэнергии на ее транспорт в электрических сетях энергосистем / М.И. Фурсанов – Минск: БНТУ, 2018. – 111 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. М. Куркай (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А. С. Побияха**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ

Современные предприятия в целях оптимизации своей работы используют единую систему, позволяющую обрабатывать и хранить данные на оборудовании самого предприятия, либо на специализированных платформах, которые предоставляют компьютерные ресурсы и мощности как услугу.

Использование электронной системы инвентаризации позволяет объединить информацию об имуществе организации и работать с этой информацией при помощи web-приложения и мобильного устройства, позволяет оптимизировать работу персонала с информацией об имуществе.

Инвентаризация является определенной формой учёта имущества организации, которая проводится с определенной периодичностью. При проведении инвентаризации проводится сравнение фактического наличия имущества и данных бухгалтерского учёта. Для таких целей существует работник организации, занимающийся инвентаризацией, у которого имеется журнал в бумажном виде с базой дынных имущества организации. Для более эффективной работы человека, ответственного за учёт имущества организации, современным подходом может быть цифровая версия журнала учёта.

Для реализации данной системы было разработано web-приложение на основе архитектуры «клиент-сервер». Данное решение позволит разделить программный код клиентского приложения от кода серверного. Все данные находятся на защищенном сервере, благодаря чему нагрузка на устройство пользователя снижается. Помимо этого, сервер позволяет организовывать контроль полномочий, чтобы разрешать доступ к данным только тем клиентам, которые имеют соответствующие права доступа.

На сегодняшний день существуют различные наборы инструментов, позволяющих ускорить процесс разработки информационной системы без потери качества программного продукта.

Клиентская часть приложения создана с помощью таких фреймворков как Bootstrap и Vue.js.

Серверная часть разработана с использованием прогрессивного фреймворка Node.js.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В качестве баз данных используется свободная реляционная система баз данных MySQL из-за богатого функционала, высокой безопасности и хорошей масштабируемости.

Информация об оборудовании закодирована в штрихкод матричного типа — QR-код. Основное достоинство QR-кода — это лёгкое распознавание сканирующим оборудованием: достаточно контрастного двухцветного изображения на поверхности. Данный тип кодировки вмещает в себя больше информации (около 2-3 килобайт) по сравнению с аналогичными кодировками.

Декодирование данных осуществляется с использованием фреймворка Quasar, основное преимущество которого состоит в том, что можно создать сразу несколько приложений для различных платформ на основе единой кодовой базы.

На рисунке 1 представлена диаграмма прецедентов.

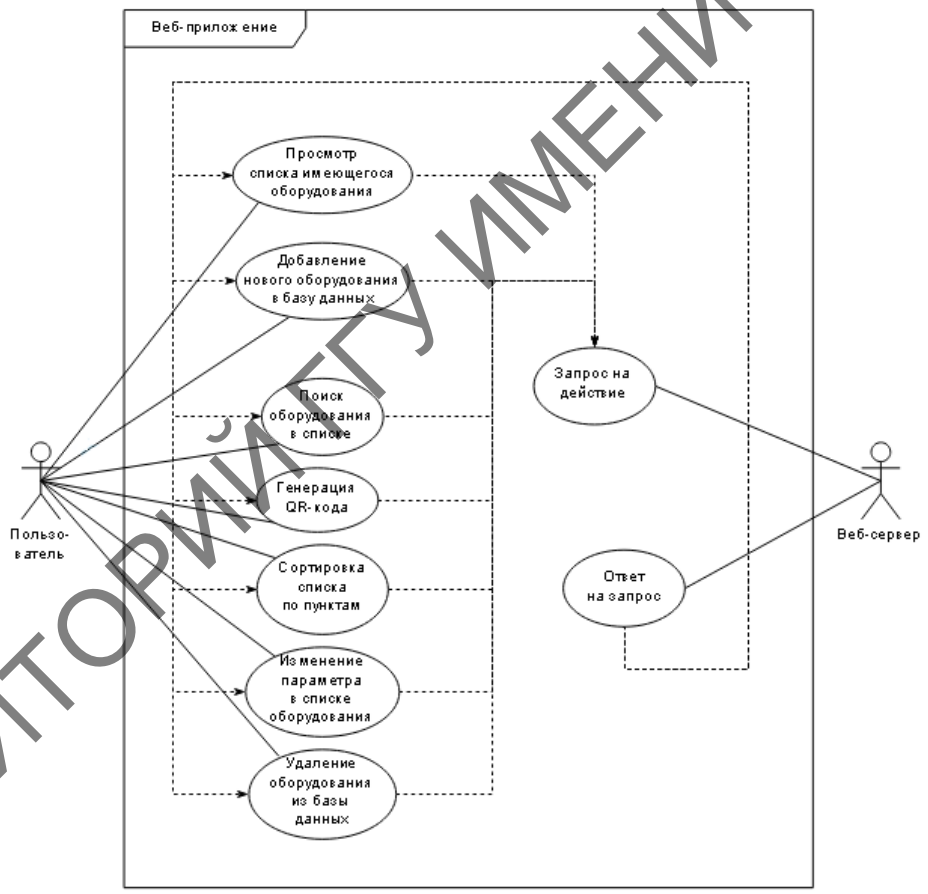


Рисунок 1 — Диаграмма прецедентов

При добавлении новой единицы имущества, пользователю необходимо заполнить форму, после чего происходит проверка введенных данных на корректность как на стороне клиента, так и на стороне сер-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

вера. Если проверка была пройдена успешно, то в базу данных добавляется новая запись. В конце пользователю выводит либо ответ, что новое имущество записано, либо что новое имущество не было записано и по какой причине. На рисунке 2 представлена диаграмма последовательности добавления имущества.

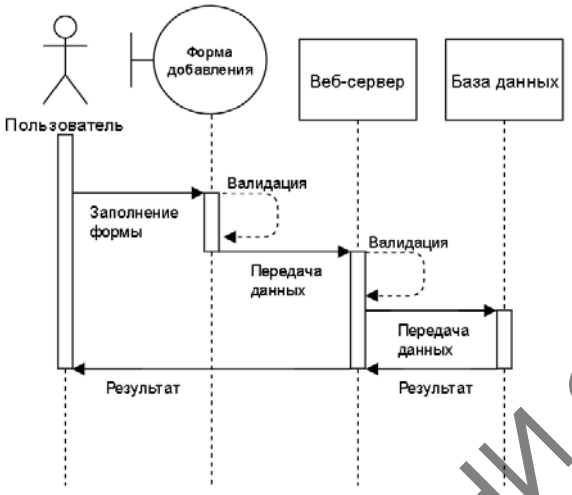


Рисунок 2 — Диаграмма последовательности добавления имущества

При изменении информации об инвентаре, пользователь заполняет форму новыми данными, которая проверяется на стороне клиента и сервера. После проверок база данных обновляется и пользователю выводит информацию об изменении записи. Если были обнаружены ошибки – выводит соответствующую информацию. На рисунке 3 изображена диаграмма последовательности изменения данных инвентаря.

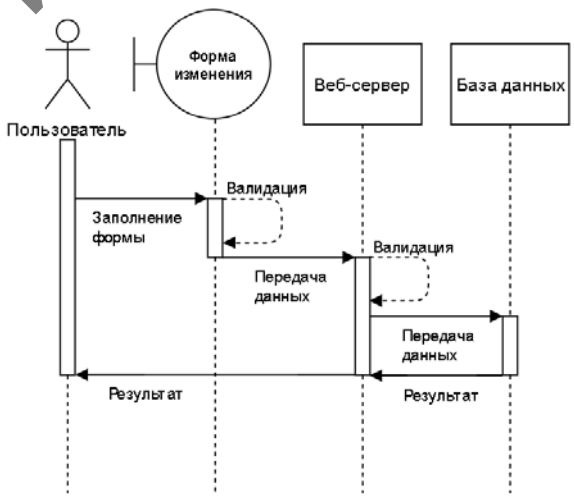


Рисунок 3 — Диаграмма последовательности изменения данных инвентаря

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В случае удаления пользователем имущества, ему необходимо нажать соответствующую кнопку, после чего идет запрос на удаление и запись удаляется с базы данных. На рисунке 4 представлена диаграмма последовательности удаление инвентаря.

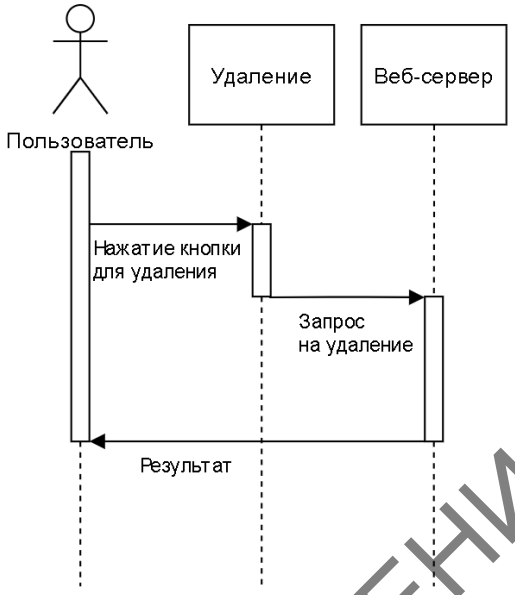


Рисунок 4 — Диаграмма последовательности удаления инвентаря

После всех операций, пользователь может просканировать код, приложение на устройстве декодирует информацию и выводит результат. Ниже представлена диаграмма последовательности декодирования:

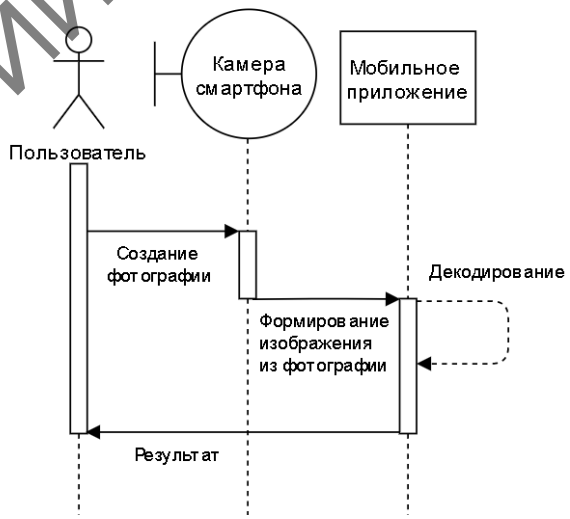


Рисунок 5 – Диаграмма последовательности декодирования

Разработанная электронная система инвентаризации, которая включает в себя web-приложение, основанное на архитектуре «кли-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ент-сервер», базу данных MySQL и мобильное приложение, позволяющее отсканировать закодированную информацию. Данная информационная система может являться важной частью работы организаций любых размеров, так как она оптимизирует проведение инвентаризации, а также предоставляет доступ к информации об имуществе данной организации с любого устройства для пользователей с определёнными правами доступа.

Литература

1. Руководство Vue.js 2.x [Электронный ресурс] // vuejs.org, – 2020. – URL: https://ru.vuejs.org/v2/guide/ – Дата доступа: 16.03.2020.

2. Bootstrap 4 [Электронный ресурс] // bootstrap-4.ru, – 2020. – URL: https://bootstrap-4.ru/docs/4.4/getting-started/introduction/ – Дата доступа: 16.03.2020.

3. Qasar framework documentation [Электронный ресурс] // PULSARDEV SRL, Razvan Stoenescu, – 2020. – URL: https://quasar.dev/start/pick-quasar-flavour – Дата доступа: 16.03.2020.

Д. С. Кучин (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А. Л. Самофалов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

В 2018 году на базе факультета физики и информационных технологий открылась экспозиция, посвященная развитию аудио, видео и компьютерной техники. Экспонаты были собраны благодаря усилиям сотрудников факультета. Задачей экспозиции является изучение, осмысление и хранение истории создания и этапов развития электронной техники. Для получения доступа к экспонатам и знакомства с экспозицией через Internet всех желающих, возникла необходимость разработать виртуальную экспозицию, содержащую элементы дополненной реальности и подробное описание истории создания каждого экспоната.

Для разработки виртуальной экспозиции, необходимо создать предметную 360° фотостудию (рисунок 1), с помощью которой будет происходить оцифровка и создание вращающихся 3D фотографий экспонатов.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Рисунок 1 –Пример предметной 360°фотостудии

Для создания предметной 360° фотостудии необходима поворотная платформа, светодиодная лента, ватман, зажимы для бумаги. По краям поворотной платформы прикрепляем зажимы для бумаги, зажимы служат в качестве угловых меток, и позволяют поворачивать экспонаты на одинаковый угол. На платформу приклеиваем ватман. Светодиодные ленты располагаются таким образом, чтобы избавится от тени и добиться равномерной освещенности экспонатов.

Обработка фотографий будет произведена в программе «Abode Bridge», так как она позволяет осуществлять пакетную обработку фотографий. С помощью плеера, используемого для просмотра 360° фотографий, посетители виртуальной экспозиции смогут рассмотреть экспонаты со всех сторон. Плеер создан для склейки серии отдельных фотоизображений предмета в непрерывный ролик, показывающий предмет во вращении. Вращение экспоната осуществляется кликом мыши или с использованием управляющих кнопок (рисунок 2).

Рисунок 2 – Пример плеера для просмотра фотографии 360°

Сайт виртуальной экспозиции будет разработан с использованием системы управления сайтами Joomla и выполнен с применением языков HTML, CSS и JavaScript. Макет сайта виртуальной экспозиции с элементами дополненной реальности показан на рисунке 3.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

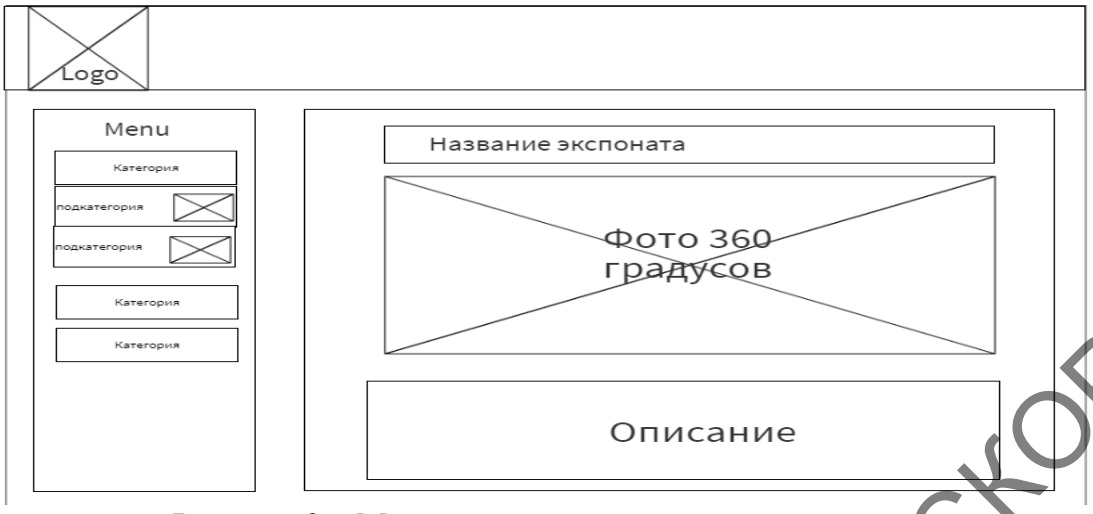


Рисунок 3 – Макет сайта виртуальной экспозиции с элементами дополненной реальности

С. И. Ленденкова (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. В. Орлов**, канд. тех. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДИСКРЕТИЗАЦИИ 2D ОБЪЕКТА

В настоящее время для решения инженерных задач с помощью метода конечных элементов рассматриваются фигуры простейшей геометрии, т.е. прямоугольник и прямоугольный параллелепипед, поэтому стала актуальна проблема дискретизации 2D объектов более сложной геометрии.

Размеры конечных элементов однозначно влияют на точность результатов [1]. Для их достоверности следует производить дискретизацию рассматриваемой области на большое количество конечных элементов, что в свою очередь предполагает подготовку большого объема данных. Если эти данные готовить вручную, то нужно собрать большое количество информации, такой как координаты узлов, принадлежность узлов конечным элементам и др.

Поэтому цель этой дискретизации – предоставить пользователю самостоятельно получить объект, представленный в виде объединения конечного числа подобластей, называемыми конечными элементами, а также получить узлы дискретизации, которые в дальнейшем используются в методе конечных элементов.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Алгоритм дискретизации 2d объектов основан на предварительном разбиении заданной области на конечное число подобластей простой геометрии, то есть на четырехугольные подобласти [2-3].

Разобьём для начала весь объект на три подобласти A1, A2, A3. Первая область представляет себе четырехугольник, а две остальные четырехугольники с одной криволинейной границей.

Рассмотрим сначала первую четырехугольную область. Разобьем горизонтальные отрезки BC и AK на равные части. Для этого воспользуемся расчетной формулой из аналитической геометрии нахождения координат точек, зная в какой пропорции они относятся относительно начала и конца точек отрезка.

Пусть отрезок AB с координатами A(ax, ay), B(bx, by) нужно разбить на nравных отрезков. Тогда первая точка будет находиться в пропорции λ = 1/(n-1) относительно точек A, B и иметь координаты, рассчитанные по формулам:

$$x = \frac{ax + \lambda bx}{1 + \lambda}, y = \frac{ay + \lambda by}{1 + \lambda}. \quad (1)$$

Аналогично просчитываются другие координаты точек.

Такая процедура выполняется над двумя горизонтальными отрезками BC и AK. Зная координаты точек, строятся вертикальные отрезки.

Дальше следует разбить левый вертикальный отрезок AB границы. Разбиение происходит аналогичным образом. После этого нужно провести горизонтальные отрезки таким образом, чтобы одновременно считались координаты узловых точек и сразу же заносились в два массива: массив X (в нем будет хранится координаты точек по оси x) и массив Y (координаты точек по оси y).

Также каждый узел будет иметь свой номер. Нумерация будет считаться относительно первого конечного элемента в подобласти A1 (нижний левый угол) и идти снизу-вверх.

Анализируя как изменяется номер узловых точек по оси x и оси y, была получена автоматизированная формула:

$$nxy := 1 + i * (n + 1) + j, \quad (2)$$

где 1 – номер первого узла в первом элементе, n − количество разбиений отрезка, i – номер ряда по оси x, j – номер стоки по оси y.

Таким образом получена формула расчета номера узловых точек.

Каждый узел имеет координату x и y, которые рассчитываются по формулам:

$$x = ax + i * \Delta x,$$
$$y = ay + j * \Delta y, \quad (3)$$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

где ax, ay – координаты точки A, i – номер столбца, в котором находится узел, j – номер строки, Δx – расстояние между ближайшими узловыми точками в горизонтальных отрезках BC и AK, Δy – расстояние между ближайшими узловыми точками в вертикальном отрезке AB. Соединив полученные узловые точки получим разбиение подобласти A1.

Осталось разбить две области A2 и A3. Дискретизация этих подобластей будет проводится схожим образом, поэтому, разработав алгоритм разбиения для A2, получим алгоритм и для A3.

Разница в построении прямых области A1 и A2 заключается лишь в том, что одна граница является криволинейной, следовательно, ее надо разбивать иным образом [4].

Для сохранения целостности узловые точки отрезка CK будут закреплены [5]. Разбиение отрезка CD происходит по формуле (1).

Дуга KG разбивается методом, который использовался для нахождения точки G, т.е. находятся координаты узловых точек из пересечения уравнения прямой по двум точкам (центра окружности и точка, которая была найдена до этого) и уравнения окружности. Зная точки на дуге и точки на отрезке, можно соединить их.

Последующее разбиение области A2 и расчет координат узлов проходит по формулам (2), (3), которые были получены при разбиении области A2, за исключение того, что Δx – длинна одной из частей дуги KG, на которые она была разбита до этого.

Дискретизация подобласти A3 такая же как подобласти A2. Разбив все подобласти получим дискретизацию 2d объекта. Результат разбиения представлен на рисунке 1.

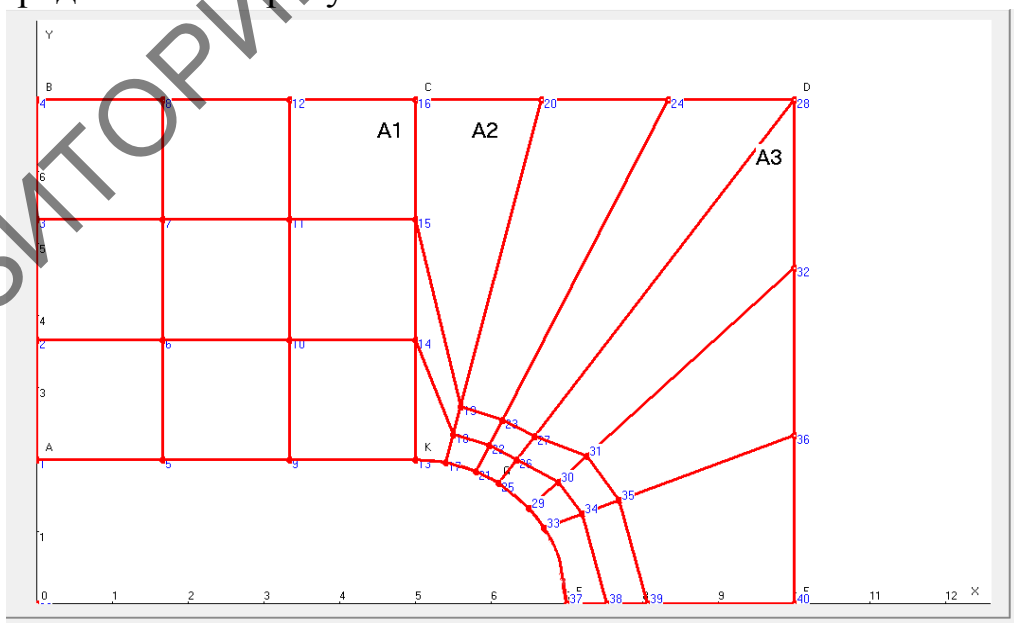


Рисунок 1 – Результат дискретизации 2d объекта

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Литература

1. Батэ, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Батэ., Е. Вилсон – М.: Стройиздат, 1982. – 575 с.
2. Орлов, В.В. Принципы построения конечноэлементных моделей для исследования динамики и прочности сложных пространственных конструкций / В. Орлов, − Деп. В ЦНИИТЭяжмаш, №374-эм87. – 52 с.
3. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич., К. Морган − М.: Мир, 1986. – 318с.
4. Норри,Д. Введение в метод конечных элементов / Д. Норри., де Ж Фриз – М.: Мир, 1981. – 216с.

Д. В. Леонов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. А. Подалов,** ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СЕЛЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ

В рамках дипломной работы ведется разработка мобильной вычислительной системы автоматизированного подбора одежды. В конечном виде данная система будет представлять собой полноценное мобильное приложение для устройств на базе Android.

Актуальность работы заключается в том, что в современном мире наблюдается тенденция “ленивого пользователя”, которая приводит к упрощению действия человека во многих сферах его жизни путем их автоматизации, а также при помощи внедрения современных разработок и решений. Разрабатываемое приложение будет предлагать пользователю варианты, единицы которых будут сочетаться как между собой, так и с интересами и предпочтениями человека. Система буквально за несколько секунд предложит стильный и приемлемый вариант набора на сегодняшний день. Она поможет пользователю проводить меньше времени у гардероба и, возможно, откроет новый взгляд на вкусы и вариативность того, чего он не замечал раньше.

Базой для создания приложения были выбраны Android устройства потому, что около 85% рынка мобильных устройств принадлежат им, и это совершенно открытая и дружелюбная область для разработчиков.

Приложение можно разделить на несколько отдельных этапов/областей:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

- система получения погодных условий в зоне местонахождения пользователя;

- реализация базы данных вещей пользователя с системой их внесения и администрирования;

- система детектирования положения вещей в квартире;

- умный алгоритм создания выборки вещей по совокупности входных данных.

Для получения данных о погоде реализуется API запрос на сервис OpenWeatherMap с указанием координат местонахождения пользователя. Геолокация – процесс определения местоположения объекта или само местоположение, установленное таким способом. Устанавливается с помощью IPInfo API, запрос на который принимает текущий IP адрес пользователя и возвращает место его регистрации с точностью до города, чего вполне достаточно. Ответ приходит в течении нескольких секунд в формате JSON-объекта, с которым очень удобно работать.

Для разработки физической структуры базы данных и её администрирования используется СУБД SQLite с использованием языка структурированных запросов SQL. Мобильное приложение будет локальным, база данных будет храниться в памяти самого устройства, поэтому нужды в обеспечении серверной части нет.

Одежда будет оснащена пассивными RFID метками диапазонов (860–960 МГц и 2,4–2,5 ГГц) стандарта ISO 15693, по которым можно отследить, находится ли она в процессе стирки. RFID (англ. Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация) — способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках. RFID-метка пассивного типа не содержит встроенного источника питания (например, батарею) и вместо этого для своего питания и передачи данных ридеру использует энергию, излучаемую ридером. Перед началом полноценного использования пользователь будет задавать места, такие как ванная комната и/или балкон, в которых вещи считаются “в стирке”. При дальнейшем использовании система будет знать их местонахождение и отсеивать неприемлемые варианты. Сами метки достаточно маленькие, что не создаст неудобств пользователю. Технология относительно новая, но в скором времени стоимость её внедрения будет оптимальной для такого уровня проекта.

При создании приложения используется нестандартный способ, при котором используется два языка программирования: Java и JavaS-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

cript, которые связываются между собой путем создания “моста” для общения. Таким мостом является специальная функция, которая может вызываться в обоих частях программы. Для того, чтобы отправить данные необходимо сформировать JSON объект на одной стороне и передать этой функции. Далее, уже с другой стороны вызвать ее и получить объект с данными. Такой способ успешно работает в обе стороны. В основном этот мост необходим для общения с локальной базой данных, доступ к которой можно получить только с Java. Приложение пишется как веб-страница, передаваемая в приложение через WebView Activity. Для написания кода используется современная платформа Android Studio от IntelijIdea.

Основой системы является генератор набора одежды с учетом полученных условий. Он включает в себя множество условий и процессов, которые выполняют выборку из внесенных пользователем единицы одежды по погоде, цвету, стилю, коэффициенту сочетаемости и коэффициенту частоты использования. Алгоритм хранит данные о том, как часто та и иная вещь использовалась и как часто предоставленный набор выбирался. Основная сложность – большое разнообразие типов и стилей одежды в нынешней моде.

Алгоритм работы всего приложения представлен на рисунке 1.

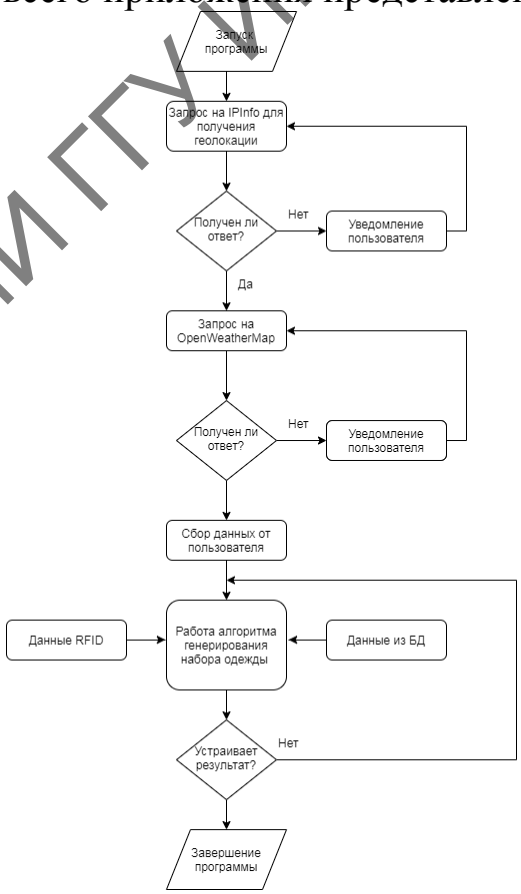


Рисунок 1 – Алгоритм работы программы

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Литература

1. RFID / rfidukraine // [Электронный ресурс]. – 2010. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/RFID– Дата доступа: 16.03.2020.
2. RFID стандарты и протоколы / Wikipedia // [Электронный ресурс]. – 2010. – URL: http://rfidukraine.com.ua/rfid-standarts/– Дата доступа: 16.03.2020
3. IPInfo / ipinfo // [Электронный ресурс]. – 2010. – URL: https://ipinfo.io/ – Дата доступа: 16.03.2020

Е. А. Лубочкин (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ИГРОВОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ UNITY

Информационные технологий в настоящее время стали неотъемлемой частью жизни общества и прочно вошли в различные аспекты жизни человека: обучение, общение, развлечения и т. д. Сфера компьютерных игр является одной из самых перспективных и активно развивающихся отраслей компьютерных технологий. Это достигается тем, что игровые приложения могут делать не только крупные компании, обладающими большими бюджетами и командами, но и одиночные разработчики, использующие различные инструменты и игровые движки, которые значительно упрощают процесс разработки.

Разработанное игровое приложение основано на игровом движке Unity. Unity – это кроссплатформенная среда разработки 2D и 3D игр. Unity позволяет создавать приложения, работающие под более чем 20 различными операционными системами, включающими персональные компьютеры, игровые консоли, мобильные устройства, Интернет-приложения и другие.

Игровой процесс основан на прохождении лабиринтов различной сложности. В приложении реализован метод Эллера генерации лабиринтов, при помощи которого можно создавать лабиринты, у которых есть только один путь между стартом и финишем. Данный алгоритм очень быстрый и требует памяти пропорционально числу строк. Это позволяет создавать лабиринты большого размера при ограниченных размерах памяти.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Игрок управляет персонажем, используя клавиатуру и мышь. Персонаж помимо стандартных функций передвижения (вперёд, назад, влево, вправо и прыжок) имеет возможность ускорять движение и режим полёта, что позволит преодолевать препятствия и облегчит прохождение игры.

Модель персонажа смоделирована в программе Blender. Для задания алгоритмов движения в 3D модель персонажа в Unity был добавлен скелет. В основе лежат множества точек, предназначенные для определения в пространстве мест перегиба скелета модели. При помощи этих точек и скриптов было реализовано реалистичное поведение модели, движение при ходьбе, беге и прыжках, схожее с поведением человека.

Е. В. Лянная (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. М. Березовская,** канд. физ.-мат. наук., доцент

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ «ОРГАНАЙЗЕР»

В современном мире человек ежедневно выполняет множество дел в различных сферах деятельности. При ускоренном темпе жизни можно забыть о запланированных делах или датах, если о подобных задачах нет напоминания. Именно поэтому на сегодняшний день очень популярны всевозможные сервисы для организации и планирования времени – различные web-сервисы, десктопные и мобильные приложения. Исходя из вышесказанного, планирования дел является важной задачей современного человека. И электронный планировщик поможет вам составить список дел на день, неделю, и даже год.

Целью работы является разработка мобильного web-приложения на платформе Android «Органайзер» для планирования дел пользователя. Разрабатываемое Android-приложение должно позволять добавлять, редактировать и удалять задачи пользователя, должны быть реализованы возможности создания категорий для задач, прикрепления файлов к задачам с последующей загрузкой файлов из хранилища и также возможность манипулирования с выполненными задачами пользователя.

Разработанное web-приложение на платформе Android состоит из двух компонентов – «Клиент» и «Сервер».

Клиентом выступает любое устройство способное выполнять HTTP-запрос и предоставляющее конечным пользователям друже-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ственный интерфейс. Клиентское устройство использует ресурсы сервера и предоставляет пользователю удобный графический интерфейс для управления этими ресурсами. Клиентская станция не имеет непосредственной связи с базой данных для обеспечения безопасности данных. В качестве клиентской станции выбрано мобильное устройство на платформе Android.

В качестве серверной части выбрана платформа Firebase. Данная платформа позволяет работать с данными, которые хранятся как JSON, синхронизируются в реальном времени и доступны при отсутствии интернета.

Разработка была протестирована на мобильном телефоне Sumsung Galaxy s10e с версией Android 9 и эмуляторе Galaxy Nexus api24 с Android версией 7. Приложение используется для планирования дел пользователя, с целью оптимизации своего рабочего времени.

И. С. Мамичев (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. М. Березовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СТРУКТУРА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ПОКУПКИ, ПРОДАЖИ И ОБМЕНА ТОВАРАМИ

Каждая успешная торговая компания в современном информационном обществе должна иметь собственный интернет-магазин, который обеспечит информационную поддержку существующего бизнеса и увеличит уровень продаж. В процессе выполнения работы разработана виртуальная торговая площадка. Данное web-приложение несет как новостную функцию, так и функцию покупки, продажи и обмена товарами.

Разработанное web-приложение имеет следующие основные функции:

1. Просмотр каталога товаров для продажи.
2. Просмотр объявлений по обмену, покупке и продаже от пользователей сайта.
3. Поиск товаров и объявлений по категориям.
4. Сортировка товаров и объявлений.
5. Добавление желаемого товара в корзину.
6. Просмотр новостей.
7. Возможность зарегистрироваться и авторизоваться.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

8. Размещение объявлений о продаже, покупке и обмену для авторизованных пользователей.

9. Панель управления. Данная панель позволяет администратору просматривать заказы, редактировать товары и каталоги, добавлять новости, просматривать статистику по товарам и объявлениям.

База данных является основным элементом практически любого web-приложения. Она позволяет хранить данные, которые являются основным источником для отображения информации, а именно: каталоги и содержащиеся в нем товары, пользователей, заказы и операции с ними, информацию о заказчиках и новости.

Созданное web-приложение содержит девять основных сущностей: зарегистрированные пользователи, администраторы, категории товаров, товары, объявления на барахолке, корзина товаров, проданные товары, заказы, новости. Каждая из них содержит свои атрибуты определенного типа данных.

Часть приложения, которая взаимодействует с таблицами базы данных, написана на языке PHP.

И. А. Маслов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «BOOKCROSSING» НА ПЛАТФОРМЕ iOS

Разработано мобильное приложение для обмена книгами на платформе iOS.

Приложение работает следующим образом: те, кто хочет поделиться своим настоящим книжным магазином, должны отсканировать штрих-код своих книг или же прописать всю информацию о книге вручную и добавить их в приложение, где они смогут получить доступ к книгам других пользователей. Благодаря службе геолокации, они найдут книги тех, кто живет рядом с ними, и которые интересуют их больше всего. Но перед этим все пользователи должны пройти процедуру авторизации для сохранения личных данных и безопасности. Также у пользователей есть возможность не авторизироваться, но тогда многие возможности приложения им будут недоступны (чат, просмотр информации о пользователях и составление списка желаемых книг). Кто заинтересован в обмене книги, может отправить сообщение владельцу,

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

благодаря чату приложения, чтобы лично встретиться с ним и обсудить литературу.

На рисунке 1 показана схема работы приложения.

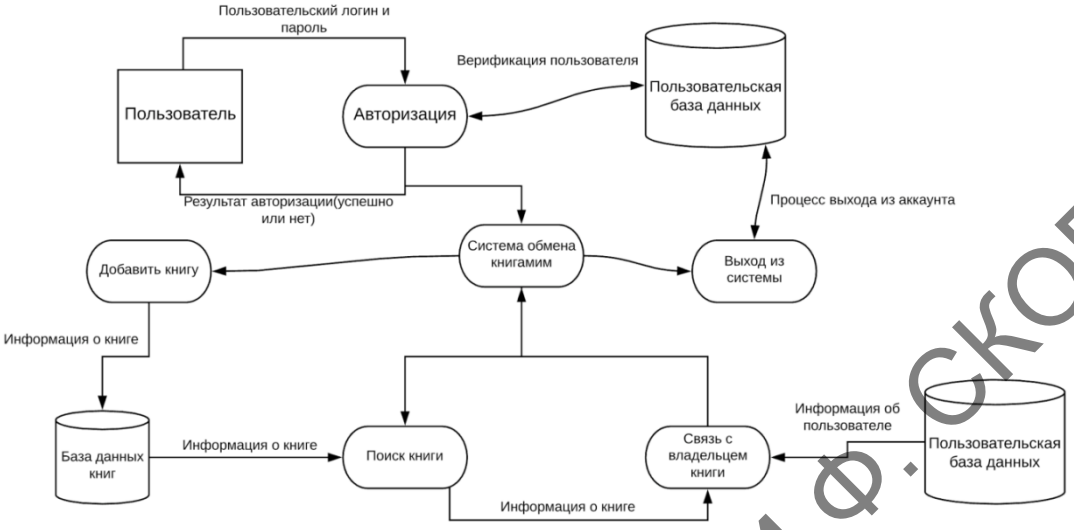


Рисунок 1 – Схема работы приложения

И. Н. Мельников (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. А. Подалов,** ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЯ

В рамках работы была разработана автоматизированная система контроля естественного освещения. Процесс управления системой реализован через Android-приложение.

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 друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключающее из части действий и операций необходимость участия человека.

Актуальность данной работы заключается в том, что рынок умных домов и умных приборов быстро растет.

Идея, лежащая в основе системы контроля естественного освещения, заключается в том, что пользователь просто вешает устройство на крайнюю направляющую для штор, после чего он перемещается

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

вперед и назад вдоль этой направляющей с помощью резинового ролика с приводом, открывая и закрывая шторы. Управлять устройством пользователь может 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).

Устройство контроля естественного освещения состоит из, непосредственно, платы Arduino Nano, одноканального реле, Wi-Fi адаптера ESP8266, шагового биполярного двигателя Nema 17, а также датчика освещения. Энергией устройство будет снабжаться от литиевой батарейки, так как она легкая, термически стойкая, имеет стабильное напряжение, а также высокую энергоплотность и энергоемкость.

Пользователь может настроить устройство с помощью Android-приложения так, чтобы оно открывало шторы в определенное время. Также, благодаря наличию датчика освещения, устройство может открыть шторы при появлении первого света, но датчик не будет реагировать на искусственное освещение на улице. После того, как датчик среагировал на естественное освещение (или пользователь установил определенное время на открытие штор), он посылает сигнал на одноканальное реле, которое, в свою очередь, посылает сигнал на шаговый биполярный двигатель. Двигатель, получив сигнал, начинает двигать резиновый ролик. Устройство закреплено на карнизе с помощью крючков, которые, кроме крепления, не дают устройству раскачиваться во время движения.

Таким образом, пользователь автоматизированной системы контроля естественного освещения может открывать доступ солнечным лучам домашних растений, а также отпугивать потенциальных злоумышленников.

Литература

1. Интернет вещей [Электронный ресурс] / Wikipedia // 2010. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Интернет_вещей – Дата доступа: 11.03.2020.

2. Arduino Nano [Электронный ресурс] / Arduino.ru // 2010. – URL: http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano – Дата доступа: 13.03.2020.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Э.В. Мохорев (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А.С. Побияха**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С НОСИМЫМ КАРДИОГРАФОМ

Современный человек ежедневно подвергается стрессам и физическим нагрузкам, которые негативно сказываются на работе сердечной мышцы. Любой человек, почувствовав недомогание и боли в сердце, может обратиться в медицинское учреждение и пройти безболезненную диагностическую процедуру – электрокардиографию. Ранняя диагностика опасных сердечно-сосудистых патологий обеспечат выбор оптимальной тактики лечебно-профилактических мероприятий, которые позволят человеку и дальше вести привычный образ жизни. Процедура ЭКГ является способом определения электрической активности сердечной мышцы.

Электрокардиография – методика регистрации и исследования электрических полей, образующихся при работе сердца. Прямым результатом этой методики является получение электрокардиограммы (ЭКГ).

Программное решение, разработанное в рамках описываемого проекта, позволяет проводить перманентный мониторинг работы сердца: в режиме реального времени получать данные одного отведения и проводить математический анализ, предоставляя больше десяти параметров работы сердечно-сосудистой системы в понятном, графическом и табличном видах.

Аппаратное решение представляет собой носимое устройство, собирающее данные об активности человека в целом и сердечно-сосудистой системы в частности. Устройство имеет компактные размеры и удобно в повседневном использовании, поскольку не привносит дискомфорт при его ношении. Достаточно энергоёмкий аккумулятор и энергоэффективная электроника позволяют работать устройству на одном заряде не меньше 48 часов непрерывного мониторинга. Приёмо-передатчик, встроенный в носимый кардиограф позволяет энергетически эффективно (low energy), посредством bluetooth взаимодействовать с мобильным устройством. Протокол BLE подразумевает передачу данных короткими пакетами по необходимости, что накладывает некоторые ограничения по количеству информации, передаваемой в рамках одной транзакции.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Операционная система Android 4.3 (API 18) представляет встроенную поддержку Bluetooth Low Energy и API, при помощи которого приложения могут использовать поиск устройств, производить запрос услуг и чтение/запись характеристик. В отличие от классического Bluetooth, BLE призван обеспечить существенно меньшее энергопотребление. Таким образом, смартфоны с BLE-модулями могут взаимодействовать с устройствами, имеющими особые требования к питанию, такие как датчики, мониторы сердечного ритма, фитнес-устройства и так далее.

Для отображения сердечного ритма в режиме реального времени используется библиотека MPAndroidChart. Данная библиотека используется для визуализации различных диаграмм и графиков и способна быстро отображать достаточно большой объём данных используя небольшие ресурсы устройства.

При первом запуске приложение просит пользователя дать разрешение на геолокацию. После, если Bluetooth не включен, приложение предложит включить Bluetooth. Далее приложение будет производить поиск устройства. Поиск повторяется до тех пор, пока устройство с определенным идентификатором не будет найдено. После успешного соединения мобильный кардиограф начинает отправлять данные. После получения данных, приложение расшифровывает и отображает их в режиме реального времени.

Помимо отображения сердечного ритма в частности и QRS-комплекса в целом, приложение способно определять некоторые особенности двигательной активности человека в течение периода мониторинга. Наблюдение за активностью осуществляется с использованием встроенного в носимое устройство трёхосевого акселерометра. Приложение получает данные с акселерометра и после цифровой фильтрации преобразует их в понятный для пользователя вид. Гистограмма активности позволяет показать не только интенсивность нагрузки в течение периода наблюдения, но и динамику активности человека.

Литература

1. Bluetooth low energy overview [Электронный ресурс] // developer.android.com, – 2019. – URL: https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth-le?hl=ru –Дата доступа: 10.03.2020.

2. Климов А. Bluetooth Low Energy [Электронный ресурс] // Климов А., – 2019. – URL:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

http://developer.alexanderklimov.ru/android/theory/ble.php – Дата доступа: 10.03.2020.

3. Подключаемся к Intel Edison через Android с Bluetooth LE (BLE) [Электронный ресурс] // Блог компании Intel, – 2015. –URL: https://habr.com/ru/company/intel/blog/252919/ – Дата доступа: 10.03.2020.

А. Ю. Никонович (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПАТТЕРНЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Паттерны проектирования – типичные решения часто возникающих проблем в разработке программного обеспечения. Многие разработчики и авторы книг иногда именуют паттерны как шаблоны проектирования. Они похожи на готовые чертежи, которые можно настроить для решения повторяющейся проблемы проектирования разрабатываемого кода. При этом нельзя просто найти шаблон и скопировать его в свою программу, что возможно с помощью стандартных функций или библиотек. Шаблон – это не конкретная часть кода, а общая концепция для решения конкретной проблемы. В данном случае можно следить за деталями шаблона и реализовать решение, которое соответствует реалиям собственной программы. Шаблоны часто путают с алгоритмами, потому что обе концепции описывают типичные решения некоторых известных проблем. В то время как алгоритм всегда определяет четкий набор действий, которые могут достичь определенной цели, шаблон является более высокоуровневым описанием решения. Код одного и того же шаблона, применяемый к двум разным программам, может отличаться. Аналогия с алгоритмом – рецепт приготовления: у обоих есть четкие шаги для достижения цели. С другой стороны, шаблон больше похож на план: можно видеть, каков результат и его особенности, но точный порядок реализации зависит от разработчика.

Шаблоны являются типичными решениями общих проблем в объектно-ориентированном дизайне. Когда решение повторяется снова и снова в различных проектах, кто-то, в конце концов, ставит ему имя и подробно описывает решение.

Концепция шаблонов была впервые представлена Кристофером Александром в книге «Язык шаблонов: города, здания, строитель-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ство» [1], опубликованной в 1977 году. В ней предложен «язык» для проектирования городской среды. Единицами этого языка являются шаблоны. Они могут описывать, какие высокие окна должны быть, сколько уровней должно иметь здание, насколько большими должны быть зеленые зоны в окрестностях и так далее.

Идея была подхвачена четырьмя авторами: Эрихом Гаммой, Джоном Влиссидесом, Ральфом Джонсоном и Ричардом Хелмом. В 1994 году они опубликовали шаблоны проектирования: элементы многоразового объектно-ориентированного программного обеспечения, в которых применили концепцию шаблонов проектирования к программированию. Книга содержит 23 шаблона, решающих различные задачи объектно-ориентированного дизайна, поэтому очень быстро стала бестселлером [2].

С тех пор были разработаны десятки других объектно-ориентированных моделей. «Шаблонный подход» стал очень популярным во всех областях программирования, поэтому в настоящее время существует множество разнообразных шаблонов вне объектно-ориентированного проектирования.

Несмотря на огромную пользу паттернов в ООП (объектно-ориентированном программировании) у них есть и слабые стороны:

- Костыли для слабого языка программирования.

Обычно необходимость в шаблонах возникает, если выбирают язык программирования или технологию, в которой отсутствует определенный уровень абстракции. В этом случае шаблоны становятся костылём, который дает языку столь необходимые сверхспособности.

Например, некоторые шаблоны могут быть реализованы с помощью простой анонимной (лямбда) функции в большинстве современных языков программирования.

- Неэффективные решения.

Шаблоны пытаются систематизировать подходы, которые уже широко используются. Это объединение рассматривается многими как догма, и они реализуют шаблоны «точно», не адаптируя их к контексту своего проекта.

- Неоправданное использование.

Это проблема преследует многих новичков, которые только что ознакомились с шаблонами. Узнав о шаблонах, они стараются применять их повсюду, даже в ситуациях, когда более простой код вполне подойдет.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Допустим при создании приложения по управлению перевозками разработчики ориентировались на перевозку товаров автомобилями, но в один прекрасный день появилась необходимость добавления функционала морских перевозок. Большая часть программы жёстко привязана к классу автомобильных перевозок и для добавления нового функционала требуется переделать существенную часть программы. А вдруг после этого потребуется добавить ещё какой-либо вид транспорта? Тут на помощь и приходят паттерны проектирования, а именно шаблон фабричного метода, который обеспечивает интерфейс для создания объектов в суперклассе, но позволяет подклассам изменять тип создаваемых объектов. Структура данного паттерна такова [3]:

Класс Creator объявляет фабричный метод, который возвращает новые объекты продукта. Важно, чтобы возвращаемый тип этого метода соответствовал интерфейсу продукта.

Можно объявить метод фабрики как абстрактный, чтобы заставить все подклассы реализовывать свои собственные версии метода. В качестве альтернативы метод базовой фабрики может возвращать некоторый тип продукта по умолчанию.

Несмотря на название, создание продукта не является основной обязанностью создателя. Обычно класс создателя уже имеет некоторую основную бизнес-логику, связанную с продуктами. Фабричный метод помогает отделить эту логику от конкретных классов продуктов.

Можно привести следующую аналогию: крупная компания по разработке программного обеспечения может иметь учебный отдел для программистов. Тем не менее, основной функцией компании в целом по-прежнему является написание кода, а не обучение программистов.

Литература

1. Александер, К. Язык шаблонов: города, здания, строительство / К. Александер, С. Исикава, М. Силверстайн. – Из-во: Студии Артемия Лебедева, 2014. – 1096 с.

2. Гамма, Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Д. Влиссидес. – Из-во: Питер, 2016. – 366 с.

3. Швец, А. Погружение в паттерны проектирования / А. Швец. – Refactoring.Guru, 2019. – 399 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Д. А. Панов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ САЙТА «ИСТОРИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ»

Сейчас практически у каждого человека есть смартфон, устройство, с помощью которого можно не только звонить и отправлять сообщения, но и использовать различные приложения. Именно для того чтобы пользователям было проще пользоваться сайтом «Исторический журнал» и было создано приложение.

Приложение было разработано с использованием языка программирования Java и является своего рода браузером для одного сайта. Оно предназначено для более быстрого доступа к сайту на мобильных устройствах, которые используют операционную систему Android.

В приложении реализованы три кнопки: кнопка возврата (возвращает пользователя на предыдущую страницу сайта), кнопка возврата вперед (возвращает пользователя на следующую страницу, если он до этого возвращался назад) и кнопка обновления страницы (используется в том случае, если пропадет соединение с интернетом).

Чуть ниже, в приложении, находится горизонтальный индикатор (ProgressBar), показывающий прогресс загрузки страницы сайта. По мере загрузки страницы сайта, полоска индикатора постоянно увеличивается.

И самое главное – компонент WebView, в котором, собственно, и отображается весь сайт. Он занимает большую часть приложения. На случай, если у пользователя отсутствует соединение с интернетом, в приложении присутствует флаг, который выдаст ошибку об отсутствии подключения к интернету.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. А. Петушков (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СИСТЕМЫ ПО ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ИК-ИЗЛУЧЕНИЙ

В настоящее время обучение боевым навыкам военнослужащих является очень дорогостоящим процессом, в связи с дорогим расходным материалом. Так же стоит отметить неподготовленность и не знание основ военного дела молодёжи усложняет процесс обучения и делает его более длительным.

Реализация системы, способной полностью имитировать реальные поведенческие факторы ведения стрельбы из огневого оружия, такие как скорострельность, точность, шанс осечки и т.д, а также предоставляющую возможность идентифицировать попадания по «противнику» с последующей обработкой этого попадания и передачей информации для дальнейшей обработки на компьютере.

На рисунке изображены преимущества разработанной системы по передаче информации посредством ИК-излучений.

Передача информации таким способом позволяет создать систему, которая в состоянии заменить реальное оружие на стадии обучения. Следует отметить безопасность системы, отсутствие человеческого фактора, возможность получения статистики, меньшие затратами на проведение учений и ее достаточную модульность.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

И. Г. Пинчук (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СОЗДАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «ПОИСК» НА ПЛАТФОРМЕ IBM MOBILEFIRST

В настоящее время работа в большой компании с сотнями сотрудников и офисами в разных городах ставит высокий приоритет проблеме коммуникации между сотрудниками. Находясь на своём рабочем месте у компьютера, можно использовать корпоративную почту или систему обмена файлами и сообщениями внутри офиса. Однако, зачастую бывают ситуации, когда сотрудник не находится на своём рабочем месте, но найти его нужно срочно. Для этого может быть полезна следующая контактная информация: номер мобильного телефона, адреса офиса, номер кабинета и, в некоторых случаях, фотография. Всю эту информацию можно быстро и в удобной форме получить, используя разработанное приложение, адаптированное для работы на мобильных устройствах под управлением Android и iOS.

Для первичного входа в приложение пользователь должен ввести адрес сервера и номер порта, а также личный идентификационный код. Адрес сервера может отличаться для разных офисов одной фирмы. Данные для входа сотрудник получает посредством корпоративной электронной почты. Далее пользователь попадает на экран авторизации, где он должен ввести свой логин и пароль.

В случае успешной авторизации пользователь увидит список сотрудников компании с фотографиями, указанием фамилии, имени, отчества. Для удобства список отсортирован в алфавитном порядке. Информация разделена на две вкладки. Текущая открытая вкладка выделяется цветом. На вкладке “Contacts” содержится номера телефонов и адрес корпоративной электронной почты. На вкладке “Location” содержатся адрес компании, офис и номер кабинета. Так же на этом экране находятся четыре кнопки. При нажатии на них откроются системные экраны мобильного устройства для выполнения операций: Телефонный звонок; Отправка SMS; Отправка письма на электронную почту; Создание контакта в телефонной книге. Пролистывание списка осуществляется перемещением пальца по вертикали по сенсорному экрану мобильного устройства.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Серверная часть приложения «Поиск», разработанная на платформе IBM MobileFirst, отвечает за проверку авторизации пользователей и передачу информации по защищённому каналу.

В. А. Прохоренко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. С. Смородин,** д-р. техн. наук, профессор

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛИ НЕЙРОРЕГУЛЯТОРА ПРИ АДАПТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ЦИКЛОМ

Специальные модели искусственного интеллекта, такие как нейронные сети, обладают уникальными свойствами и могут применяться в качестве универсальных аппроксиматоров [1-3]. Существует положительный опыт применения данных моделей, в том числе в области различных задач управления [4], включая сложные задачи принятия решений.

В рамках данной работы описывается методика адаптивного управления технологическим циклом производства на базе программно-аппаратной системы, содержащей индикаторы состояния оборудования, параметры функционирования технологического цикла, имитационную модель вероятностного технологического процесса и встроенную систему принятия решений.

Для построения обратных связей по управлению и принятия управляющих воздействий разработан метод построения модели нейрорегулятора, реализация которого осуществляется на базе статистики функционирования средств автоматизации производственного процесса и физического контроллера, осуществляющего управление технологическим процессом в соответствии с заложенными программами.

Оперативное взаимодействие компонентов программно-аппаратной системы и построение обратных связей по управлению реализуется с помощью параметров управления и переменных имитационной модели на основе результатов работы модели нейрорегулятора.

В рассматриваемой задаче адаптивного управления математическая модель нейрорегулятора в режиме реального времени получает информацию о текущем состоянии технологической системы, данные

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

о внешних и случайных управляющих воздействиях на объект управления, обработка которых формирует обратные связи по управлению, обеспечивающие удержание параметров функционирования технологического цикла в требуемых диапазонах изменений.

При применении нейросетевых подходов, важным этапом является выбор конкретной структуры (топологии) нейронной сети. Адекватный выбор структуры позволит получить приемлемое решение рассматриваемой задачи. При этом сам подбор топологии является нетривиальной задачей, часто решаемой на практике методом проб и ошибок, с использованием опыта применения нейросетевых технологий в похожих условиях, а также трудноформализуемого личного опыта исследователя. В рамках задачи построения нейрорегулятора представляет интерес рассмотрение эволюционных подходов автоматизации выбора структуры нейросети.

Одним из эффективных эволюционных подходов является метод нейроэволюции аугментированных топологий (NEAT) [5], который обеспечивает автоматизированный подбор как топологии нейросети, так и ее настраиваемых параметров (весов). Особенностями данного метода является отслеживание генов с помощью исторических отметок, что позволяет осуществить скрещивание удачных топологий, видовое разделение для сохранения инноваций, последовательное движение от простых структур к более сложным.

При решении рассматриваемой задачи построения нейрорегулятора для оценки приспособленности каждого элемента популяции топологий нейросетей используется имитационная модель технологического цикла. Осуществляется многократный запуск симуляции имитационной модели для каждого элемента на протяжении заданного промежутка модельного времени. В качестве интегрального критерия оценки выступает выражение, включающее собранные во время работы симуляции статистические показатели такие, как число отказов и аварий для оборудования разных типов, суммарные затраты на обслуживание и ликвидацию последствий отказов и аварий на оборудовании, вместе с коэффициентами, характеризующими их значимость с точки зрения оптимизации.

Предложенный подход к адаптивному управлению технологическим циклом с использованием моделей нейрорегуляторов позволяет выбрать рациональный вариант состава ресурсов и набор устройств оборудования, который обеспечивает требуемый уровень надёжности функционирования технологического цикла для безаварийного функционирования процесса производства, оперативно корректировать ха-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

рактеристики реализации контура управления для сохранения параметров цикла в заданных диапазонах изменения, а также решать задачи оценки стоимости реализации технологического цикла при задействованном составе ресурсов и оборудования.

Литература

1. Смородин, В.С. Методы и средства имитационного моделирования технологических процессов производства: монография / В.С. Смородин, И.В. Максимей; М–во образования РБ, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 369 с.

2. Смородин В.С. Проблемы теории и практики моделирования сложных систем. / И.В. Максимей, О.М. Демиденко, В.С. Смородин; М–во образования РБ, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 263 с.

3. Cybenko, G. Approximations by superpositions of sigmoidal functions/ G. Cybenko// Mathematics of Control, Signals, and Systems. – 1989. - № 2(4). - С. 303–314

4. Hagan, M. An Introduction to the Use of Neural Networks in Control Systems/ M. Hagan, H. Demuth, O. De Jesus// International Journal of Robust and Nonlinear Control. - 2002. - № 12(11). - С. 959-985.

5. Stanley, K.O. Evolving Neural Networks Through Augmenting Topologies/ K.O. Stanley, R. Miikkulainen// Evolutionary Computation. - 2002. - № 10 (2). - С. 99-127.

М. И. Рубанов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М. И. Жадан,** канд. физ.-мат. наук, доцент

СОЗДАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ВЕДЕНИЯ ПРОЕКТОВ SCRUM-МЕТОДОЛОГИЯМИ

В современном мире технологии развиваются очень стремительно, создается огромное количество сервисов способных облегчить жизнь человека. Веб-приложения необходимы не только для персонального использования, но и для взаимодействия крупных компаний с клиентами.

Одной из наиболее популярных «методологий» разработки программного обеспечения в настоящее время является «методология» Scrum, являющейся каркасом разработки. В связи с популярностью

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Scrum-методологии на сегодняшний день, необходимо было реализовать задачу разработки web-приложения для ведения различных проектов методологии Scrum.

Созданное web-приложение представляет собой клиент-серверное приложение, клиентом является браузер, а серверной частью – web–сервер, находящийся в сети интернет. Клиент-серверная архитектура реализует систему взаимодействия, при которой клиент запрашивает выполнение некоторых действий у сервера, а сервер принимает решения о выполнении или не выполнении запрошенного действия в зависимости от предоставленных клиентом данных.

В данном web-приложении реализованы следующие возможности: регистрация и авторизация пользователей, создание, изменение и удаление проектов, создание и редактирование итераций в рамках проекта. Для каждой из итераций была реализована Scrum-доска, которая содержит следующие статусы: «Необходимо сделать», «В процессе», «Выполнено». Между этими статусами перемещаются карточки с заданиями. Карточки в рамках итерации можно создавать, редактировать или удалять. Разработан бэклог проекта, журнал оставшейся работы, которую команде необходимо выполнить. Реализована возможность добавлять пользователей на проект, с целью совместной разработки.

Клиентская часть приложения разработана с использованием следующих инструментов: фреймворк Angular, Bootstrap и другие. При разработке серверной части приложения были использованы среда Node.js и фреймворк Express.js, используя которые были реализованы REST-сервисы. В качестве базы данных использовалась документно-ориентированная СУБД Mongo DB.

В. А. Рубин (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С. П. Жогаль,** канд. физ.-мат. наук, доцент

МЕТОД РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TENSOR FLOW EXTENDED

Метод главных компонент (далее по тексту PCA – Principal Component Analysis) – это метод уменьшения размерности, полезный во многих различных сценариях машинного обучения. По сути, PCA уменьшает размерность входных векторов таким образом, чтобы сохранить максимальную дисперсию в наборе данных. Уменьшение

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

размерности входных данных модели может повысить производительность модели, уменьшить размер и ресурсы, необходимые для обучения, и уменьшить неслучайный шум.

Tensor Flow Extended (далее по тексту TFX) – это бесплатная платформа с открытым исходным кодом, предназначенная для создания готовых к работе комплексных конвейеров машинного обучения.

Внутри TFX ядра предлагается огромное количество механизмов для предварительной обработки данных. Это включает применение PCA к огромным объемам входных данных для их визуализации и машинного обучения. В данной работе демонстрируются примеры использования TFX для применений распределенного PCA к набору данных.

PCA – это всего лишь одно из преобразований данных, которое может повысить производительность любых моделей машинного обучения с помощью разработки функций. Как и PCA, многие преобразования требуют значительных вычислительных мощностей, особенно с большими наборами данных. TFX же позволяет разработчикам применять сложные преобразования, такие как PCA, масштабируемым образом, используя преимущества ресурсов, доступных в вычислительных кластерах. Также есть возможность применения обработки преобразования в конвейер TFX и включить эти преобразования функций в уже обученные модели, чтобы точно такие же преобразования выполнялись, когда модель делает прогнозы.

Конвейер TFX состоит из компонентов, которые в свою очередь используют различные библиотеки Tensor Flow. Одним из них является Tensor Flow Transform: мощная библиотека, используемая для предварительной обработки входных данных для Tensor Flow. Выходные данные преобразования Tensor Flow экспортируются в виде графика Tensor Flow, используемого как во время обучения, так и во время обслуживания. Это предотвращает перекос, поскольку одни и те же преобразования применяются на обоих этапах.

Как и многие библиотеки и компоненты TFX, TensorFlow Transform выполняет обработку с использованием Apache Beam для распределения рабочих нагрузок по вычислительным кластерам. Это позволяет Transform обрабатывать очень большие наборы данных и эффективно использовать доступные ресурсы. Apache Beam работает как уровень абстракции поверх широко доступных платформ распределенных вычислений, включая Apache Spark, Apache Flink и Google Cloud Dataflow.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

С TensorFlow Transform можно применять PCA как часть конвейера TFX. PCA часто используется для работы на одном вычислительном узле. Благодаря распределенной природе TFX теперь стало проще, чем когда-либо, реализовать распределенный алгоритм PCA для масштабируемой обработки больших наборов данных.

О. С. Рудько (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С. И. Жогаль,** канд. техн. наук, доцент

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ИНТЕГРАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

Развитие современной вычислительной аппаратуры характеризуется четко выраженной тенденцией распространения многопроцессорных компьютеров и вычислительных сетей как локальных, так и глобальных. На сегодняшний день существует множество систем с различной функциональностью, но без достаточного взаимодействия с другими системами глобальной сети. Распределенное программирование в большом состоит в разработке распределенных программных систем. В последнее время широко используются объектно-ориентированные технологии разработки таких систем. Интернет – является типичной распределенной системой, для которой отношения местоположения элементов, или групп элементов играют существенную роль с точки зрения функционирования, анализа и синтеза системы. По причине отсутствия правильной коммуникации и необходимых программно-аппаратных средств, пользователи данных систем вынуждены выполнять долгую рутинную работу. Для распределенных систем характерно распределение функций, ресурсов между множеством элементов и отсутствия единого управляющего центра, поэтому выход из строя одного из узлов не приведет к полной остановке всей системы.

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.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

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.

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 и другие системы с большим оборотом данных.

Преимущество данной системы в том, что она производит полную журнализации действий пользователя, повторения при ошибках, оповещение пользователей о успешном завершении.

П. А. Серченя (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. П. Кечко**, канд. физ.-мат. наук

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОЙ ПРОВЕРКИ ЛАБОРАТОРНЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ СТУДЕНТОВ

В современном мире многие хотят перевести привычные нам сущности в Интернет. К примеру, «Instagram» это наш фотоальбом, «ВКонтакте» это наша коммуникация друг с другом. Такой шаг несёт в себе как преимущества, так и недостатки: мы принимаем преимущества в виде удобства и быстродействия, но взамен платим нашими ценностями и навыками, которые люди приобретали в ходе всей своей истории.

Web-приложение «Система дистанционной проверки лабораторных и контрольных работ студентов» создано с целью сделать взаимодействие студента и преподавателя, на уровне проверки работ, более лёгким и быстрым. Стоит помнить, что ежегодно на сдачу работ тратиться колоссальный объём бумаги. Данное приложение позволит снизить этот объём и сократить степень ухудшения нашей экологии.

Web-приложение, как и любое современное web-приложение, состоит из двух частей: back-end и front-end. Back-end предназначен для обработки всей поступающей и исходящей информации. Front-end представляет собой приятный и удобный интерфейс для взаимодействия с back-end-ом, который разработан с использованием web-фреймворка Django, написанный на языке программирования Python,

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

и JavaScript-фреймворка Vue.js. В качестве СУБД выбран надёжный open-source проект PostgreSQL, которую используют многие известные компании. В системе присутствует разграничение доступа, чтобы каждый пользователь имел доступ, только к предназначенным для него ресурсам.

В дальнейшем при популяризации web-приложение следует добавить механизмы масштабирования системы для надёжности и устойчивости системы в целом.

Н. Н. Сувалов, А. П. Приходько (БелГУТ, Гомель)
Науч. рук. **И. В. Приходько**, канд. техн. наук, доцент

ИСПЫТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Проблема защиты от вибрации остро встала в связи со стремительным развитием механизации и автоматизации ряда производственных процессов, ростом скоростей на различных стационарных и транспортных установках, а также оборудования робототехники. От многих современных видов оборудования и техники, на сегодняшний день, требуется высокая устойчивость к воздействиям внешних факторов, одним из которых является вибрация. Соответственно, в ходе разработки и производства изделия его необходимо испытывать на устойчивость к внешнему механическому воздействию. Эти исследования должны быть направлены на выявление конструкционных и технологических недостатков оборудования при вводе в эксплуатацию, которые могут привести к повреждениям при воздействии различных видов вибрации и ударов. Они проводятся для подтверждения способности испытуемого оборудования функционировать в условиях, соответствующих условиям эксплуатации не зависимо от того, где оно используется на железнодорожном подвижном составе, автотранспорте или в стационарных установках, имеющих источники вибрации. Такого рода испытания не используются для определения ресурса оборудования. Однако, условия проведения испытаний являются удовлетворительными для обеспечения достаточной степени достоверности того, что оборудование отработает установленный срок службы в предусмотренных условиях эксплуатации [1].

Устройства и оборудование становятся все более сложными и многофункциональными. В настоящее время использование полупро-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

водниковых приборов уже не является редкостью. Массово внедряются системы микропроцессорного управления и контроля. А также широко применяются электромеханическое оборудование и электротехнические изделия. И все они должны оставаться работоспособными и сохранять рабочие параметры в диапазоне, заданном в технической или конструкторской документации. В соответствии с методами или требованиями допускается проверка работоспособности в процессе и после воздействия механических факторов. Среди современных производителей испытательного оборудования представлен большой выбор как импортных вибростендов, так и произведенных в странах ближнего зарубежья. Среди испытательных вибростендов можно выделить два основных вида:

- электромеханические,
- электродинамические.

Самыми распространенными среди испытательных стендов являются одноосевые, так как являются более дешевым испытательным оборудованием по сравнению с двухосевыми.

Схема одноосевого электродинамического испытательного стенда представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Схема испытательного стенда

Принцип работы такого испытательного оборудования заключается в следующем. В системе управления (СУ) генерируется управляющий сигнал, который передается на усилитель, откуда, после усиления, он направляется на создающую вибрацию часть стенда и трансформируется в механическое движение вибростола. Такой принцип работы установки позволяет обеспечить соответствующую испытаниям частоту и амплитуду колебаний. На вибрационном столе и на объекте испытания устанавливаются вибродатчики обратной связи, где измеренное ускорение опять преобразуется в электрический сигнал и

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

передается на входной канал СУ для сравнения с генерируемым сигналом и при необходимости корректировки.

В зависимости от условий эксплуатации и категории размещения оборудования существуют различные степени жесткости (условия испытания), предъявляемые к испытываемому объекту. Но, независимо от этого, испытания на вибрационное воздействие включают в себя следующие разновидности: испытания на виброустойчивость, на вибропрочность, а также испытания на удар.

Очень важным условием для качественного проведения испытаний является правильное закрепление объектов испытания. Для его размещения и крепления на столе вибростенда применяются специальные приспособления, только, обязательно следует соблюдать условие соосности. Центры тяжести объекта, подвергаемого испытаниям, и приспособления для его фиксации должны быть расположены на одной оси. Если не соблюдать это простое правило, то можно вывести из строя вибростенд и повредить объект испытания. Помимо того, приспособление должно обладать соответствующей жесткостью. При недостаточной жесткости фиксирующего приспособления возможно появление резонансных частот. В таком случае система «объект испытаний – устройство фиксации» подвергается влиянию неконтролируемого и достаточно высокого уровня вибрации, что также может привести к нежелательным последствиям [2]. Поэтому, мало геометрически грамотно и качественно разместить и закрепить испытываемое устройство. Важно приспособления для фиксации исследовать на наличие собственных резонансных частот и предотвратить их влияние на результат испытаний.

Объект испытаний считается соответствующим требованиям в части стойкости к внешним механическим воздействиям, если в результате испытаний не возникает механических повреждений или ухудшения рабочих характеристик [3].

Таким образом, испытания оборудования на устойчивость к внешним механическим воздействиям является важным критерием оценки надежности и безопасности работы устройств и оборудования.

Литература

1. Приходько, И.В. Влияние вибрации на надежность и безопасность электрических машин / И.В. Приходько // Горная механика и машиностроение. – 2019. – № 4. – С. 74-80.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. – М.: Наука, 1996. – 276 с.

3. Машины электрические вращающиеся. Часть 14. Механическая вибрация некоторых видов машин с высотами вала 56 мм и более. Измерения, оценка и пределы жесткости вибраций: ГОСТ IEC 60034-14-2014. – Введ. 01.05.2014. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Стандартинформ, 2015. – 16 с.

Е. В. Сыч (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. М. Березовская,** канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ «ДОМАШНИЕ ФИНАНСЫ»

Многие в современном мире хотят оптимизировать свои расходы, а также провести наглядную аналитику собственного финансового баланса, следовательно, они непременно столкнутся с необходимостью завести определенную систему для учета личных трат. Современный уровень развития новейших технологий существенно расширил для пользователей выбор способов контроля индивидуальных и семейных денежных потоков. Но у каждой из существующих систем есть свои недостатки, которые нужно иметь в виду в момент выбора метода отслеживания состояния индивидуальных финансовых балансов, чтобы избежать разочарований.

Разрабатываемое web-приложение должно позволять добавлять, редактировать, удалять свои финансы, а также возможность создавать группы, и контролировать финансы участников этой группы. Также возможность манипулировать запланированными расходами и типам денег. Приложение состоит из двух главных компонентов – «Клиент» и «Сервер».

Задачей «клиента» является предоставление интерфейса пользователю, управление логикой работы приложения, проверкой допустимость данных, осуществление запроса и получения данных с сервера. Клиентское приложение имеет наиболее удобный графический интерфейс пользователя, предполагающий наличие окон и мыши, предполагают простоту использования и знакомые инструментальные

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

средства. Для front-end части были использованы такие языки программирования, как HTML, CSS, JavaScript и фреймворк Bootstrap.

Задачей «сервера» является управление общей базой данных, осуществление доступа и защиты данных, восстановление их, обеспечение целостности данных. В качестве серверной части была выбрана платформа Microsoft ASP .NET MVC 5. Для связи между базой данных и приложением использовалась технология ADO.NET Entity Framework. При тестировании приложения ошибок выявлено не было.

В разработанном приложении достаточно простой пользовательский интерфейс, в котором будет несложно разобраться любому пользователю. Разработанным приложением может пользоваться абсолютно любой человек с целью контроля своих доходов и расходов.

В. Р. Тикаев (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. М. Березовская,** канд. физ.-мат. наук, доцент

СОЗДАНИЕ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «STUDENT ASSISTANT»

В процессе поиска аналогов разрабатываемого приложения в сети интернет не было найдено. Ближайшие приложения по функциональности к предлагаемому – это так называемые электронные органайзеры или ежедневники. В настоящее время существует множество приложений, реализующих функции ежедневника. Однако, существующие программы имеют ограниченные функциональные возможности и сложный для пользователя интерфейс.

В основе работы предлагаемого приложения лежит модель взаимодействия клиент-сервер, которая позволяет разделять функционал и вычислительную нагрузку между клиентскими приложениями (заказчиками услуг) и серверными приложениями.

Пользовательский интерфейс представляет собой совокупность программных и аппаратных средств, обеспечивающих взаимодействие пользователя с компьютером. При разработке web-приложения основной задачей является создание простого интерфейса для понимания конечному пользователю. Конечный интерфейс пользователя должен быть незагруженным, поскольку именно с помощью его происходит «общение» конечного пользователя с информационной системой.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Созданное приложение позволяет упростить контроль потока информации в учебном процессе и снизить общую нагрузку на студента.

Стартовая страница продукта включает в себя слайдер с картинками и верхнюю панель для авторизации и регистрации. Главная страница, которая открывается после авторизации, содержит левое меню, слайдер с картинками и описание приложения. Страница работы с таблицей в режиме администратора включает в себя меню с таблицами, данные из базы данных в табличной форме.

При разработке web-приложения использовалась среда разработки Eclipse Jee Neon, язык программирования Java с применением сервлетов и jsp страниц. В качестве сервера использовался web-сервер Apache Tomcat. Для эффективного создания, управления и взаимодействия с базой данных была выбрана СУБД MySql. Интерфейсная часть приложения была реализована с помощью языка разметки HTML5, а также каскадной таблицы стиле CSS3. Функционал приложения протестирован на тест-кейсах.

А. С. Трубчик, Т. А. Заяц (БТЭУ ПК, Гомель)
Науч. рук. **Т. А. Заяц**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СМАРТФОНОВ

Android-приложение «Trainer's diary» предполагается использовать в качестве помощника спортивного тренера. На выбор пользователю будут предоставлены не только стандартные программы тренировок, но и программы, составляющиеся специально для конкретного пользователя на основе ранее внесённых результатов тренировок. Если пользователя не устраивают стандартные программы, перечисленные в справочнике «Trainer's diary», в приложении имеется возможность составить произвольную тренировочную программу для конкретного пользователя на основе ранее внесённых результатов тренировок.

Наличие систем статистической обработки данных и наглядного представления результатов тренировочного процесса в виде диаграмм и графиков помогает тренеру понять слабые и сильные стороны тренирующихся, произвести корректировку плана дальнейших тренировок.

Главная задача, которая была успешно решена в ходе разработки приложения «Дневник тренера» («Trainer's diary») – максимально комфортный ненагруженный интерфейс для внесения информации по

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

активности в спортивном зале. Электронный дневник поделён на страницы, каждая из которых описывает конкретный тренировочный день, где представлен список всех выполненных упражнений со всеми подходами и заметками об их выполнении.

Как бы не был важен интерфейс, существенной задачей в записи тренировок является скорость и удобство ввода информации. В мобильном приложении реализована функция голосового ввода. В качестве программного средства для распознавания человеческой речи используется библиотека CMU Sphinx. Таким образом, пользователь может внести данные не только с помощью набора текста с клавиатуры, но и при помощи голоса.

Разработка «Дневника тренера» выполнена на языке Java с использованием интегрированной среды разработки Android Studio в комплекте со вспомогательными библиотеками. Дизайн приложения разработан в Material Design. Для удовлетворения потребностей пользователей в настройках приложения можно подобрать светлую и темную темы дизайна с разными цветовыми схемами на выбор.

Информация о результатах всех тренировок сохраняется в таблицах базы данных. Для работы с базами данных используется две СУБД: встраиваемая СУБД SQLite и клиент-серверная СУБД MySQL. Работа с СУБД реализуется через инструментарий программы dbForge Studio for MySQL.

Для полноценной работы приложения требуется активное Интернет-соединение. Оно обеспечивает постоянную связь мобильного приложения с сервером и выполняет некоторые важные функции (смотри рисунок 1).

Как видно из рисунка, технология работы мобильного приложения реализована в виде двух компонентов: смартфон пользователя и веб-сервер. На смартфоне пользователя работает мобильное приложение (включающее базу данных SQLite), на сервере хранятся обновленные версии приложения и база данных MySQL.

База данных SQLite, работающая в мобильном приложении в режиме оффлайн, позволяет организовать хранение всех результатов тренировок, которые записывает пользователь в приложении.

База данных MySQL структурно соответствует базе SQLite, но в отличие от SQLite, которая работает исключительно для одного приложения и одного пользователя, MySQL хранит на веб-сервере информацию о всех пользователях, группах и тренерах.

Имеется возможность синхронизировать все пользовательские данные с базой MySQL для хранения результатов пользователя на

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

сервере и при необходимости восстанавливать или переносить информацию из- или в приложение.

Рисунок 1 – Схема взаимодействия мобильного приложения с сервером

На веб-сервере предполагается хранение обновленных версий приложения. При размещении новой версии приложения на сервер, все пользователи получают оповещение и могут обновить своё мобильное приложение.

Серверная база данных MySQL предназначена для сбора и хранения информации, а также для ее статистической обработки с целью реализации пользователями приложения функции «слежения» за результатами тренировок.

В приложении имеется возможность создавать группы участников, внутри которых есть два вида пользователей со своими привилегиями:

– Тренер – имеет возможность следить за тренировками и статистикой всех членов группы, корректировать и создавать запланированные тренировки;

– Ученик – может сравнивать свою статистику со статистикой остальных членов группы, планировать совместные тренировки.

Вся статистика приходит непосредственно в приложение, пользователь ее получает в виде готовых списков, диаграмм и графиков.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

С. А. Филинский (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ДОКУМЕНТООБОРОТА БАНКОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ. АРХИТЕКТУРА СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ

Серверная часть приложения состоит из набора контроллеров, каждый из которых отвечает за свои функции. Работа с базой данных осуществляется посредством специальных сервисов данных, которые отвечают за добавление, удаление, редактирование новых записей в таблицы. Связь с клиентской частью реализуется по принципам REST. Кроме того, существует механизм команд, каждая из которых представляет собой описание необходимых данных и класс-исполнитель. Клиент посылает запросы на выполнение команд с прикрепленными данными, после чего класс-исполнитель выполняет над ними заранее определенные операции. Эти классы могут подключаться и отключаться динамически во время работы сервера.

Механизм команд был разработан для выполнения некоторых операций над большими объемами данных. Это позволяет снизить текущую нагрузку на сервер и распределить её на длительный отрезок времени. Также сервер может автоматически выполнять определенные команды по расписанию, такие как очистка устаревших файлов, резервное копирование, запросы на сервера других приложений и сбор данных фоновых процессов, которые могут выполнять другие задачи. Кроме того, пользователь может сам выставить в специальное расписание определенные действия, такие как перемещение, расшифровка файлов и отправка их на удалённые хранилища.

Помимо этого, в системе очень гибкая система настройки прав. Все пользователи системы подразделяются на различные организации. Существует главная организация-администратор, которая занимается настройкой прав доступа к системе, разделяет их на различные наборы прав, дающие доступ к определенным частям системы, добавляет новые организации в систему, а также назначает новым организациям права. После создания в каждой новой организации есть главный пользователь, который по умолчанию имеет доступ ко всему, что доступно организации. После этого он может создать пригласительные ссылки для пользователей, для

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

которых при создании указать набор прав доступа, которые пользователь получит после регистрации.

А. В. Хобня (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

КРОССПЛАТФОРМЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Мобильные приложения становятся все более и более сложными. Несколько лет назад мобильные приложения разрбатывались только для отображения web-контента. Сегодня, кроме того, они связаны с внешним миром. Например, некоторые приложения связаны с часами, телевизорами и другими вещами окружающими нас. Мобильные приложения стали настоящим программным обеспечением. Однако для того, чтобы их могли видеть все пользователи смартфонов, мобильные приложения проектируются, разрабатываются и развертываются на всех типах смартфонов.

С увеличением множества аппаратных конфигураций и разнообразия мобильных операционных систем эта задача становится все более трудоемкой. Действительно, мобильное приложение часто внедряется один раз для каждой целевой платформы (Android, iOS, Windows Phone 8 и других). Следовательно, время и стоимость реализации мобильного приложения умножаются на количество целевых платформ. Предлагается объединить нативную разработку с преимуществами разработки программного обеспечения на основе компонентов. Для этого введены понятие мультиплатформенных компонентов. Эти компоненты способны выполняться на любой мобильной платформе. Для описания компонентов существуют интерфейсы, независимые от любой мобильной платформы. Таким образом, интеграция и сборка компонентов являются общими для Android, iOS и других систем. Для этого существует язык программирования на основе аннотаций. Этот подход подтвержден реализацией реальных мобильных приложений для Android и iOS. Сравнение таких приложений с тем же приложением, разработанным для конкретной операционной системы показали, что с аннота-ционным решением разработчики внедряют мультиплатформенное приложение на 30% быстрее. Более

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

того, это решение не имеет никаких ограничений для разработчиков (одинаковый пользователь-ский опыт, одинаковые характеристики).

Такая разработка может ускорить процесс, взамен забрав производительность.

Е. Ю. Шаповал (ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **О. А. Кравченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

МЕТОДИКА И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗАЯВОК НА РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ИВА-ГОМЕЛЬ-ПАРК»

Методика и программные средства оптимизации распределенной обработки жизненного цикла заявок на ремонт оборудования предприятия ООО «ИВА-Гомель-Парк» – совокупность программного обеспечения, в состав которого входит база данных оборудования предприятия, модули планирования исполнения технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта, составление заявок на исполнение ремонта, компонента складского учёта и заявок на приобретение материалов. Данная система автоматически отбирает заявки на запасные части, расходные материалы либо оборудование, которое нужно заменить либо применять в строгом соответствии с графиком обслуживания, откладывает их на складе либо подаёт знак о необходимости их покупки. Система ориентирована на уменьшение времени обработки заявок на ремонт оборудования и, таким образом, увеличение производительности всех сопутствующих работ.

Основными проблемами, с которыми сталкиваются производственные предприятия:

- большой штат обслуживающего персонала;
- высокая доля аварийных и внеплановых работ;
- большие временные и финансовые затраты на обслуживание и ремонт;
- низкая надёжность информации о многочисленных простоях оборудования;
- отвлечение больших оборотных средств на складские запасы.

Задачи замены и ремонта оборудования возникают на производстве, поскольку технические характеристики оборудования со временем или в результате эксплуатации ухудшаются, если не принимать

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

мер по его ремонту и обслуживанию. В ряде случаев выгоднее не выполнять ремонт, а полностью заменить изношенное оборудование.

Существуют два типа задач замены и ремонта.

Первый тип задач связан с определением моментов времени, когда рассматриваемое оборудование требуется вывести в ремонт. В качестве критерия эффективности подобных задач рассматривают убытки, связанные с уменьшением дохода при выходе устройства из строя, либо ухудшением его характеристик при долгом применении, либо расходы на проведение ремонта или замены оборудования.

Второй тип задач возникает, когда момент времени вывода оборудования в ремонт уже определён и требуется определить график проведения ремонта при ограниченных ресурсах. В качестве критерия качества, как правило, принимается длительность ремонта, расход ресурсов либо общие расходы на проведение ремонта с учётом убытков при простое ремонтируемого агрегата.

Применение методики и программных средств оптимизации распределенной обработки жизненного цикла заявок на ремонт оборудования предприятия ООО «ИВА-Гомель-Парк» ориентировано на сокращение затрат на техническое обслуживание, ремонт и материально-техническое обеспечение без снижения уровня надёжности оборудования.

Рассматриваемая система поддерживает следующие функции:

– создание базы данных оборудования;
– автоматическая обработка данных о необходимых запчастях и требуемом ремонтном персонале;
– проработка заявок на закупку деталей;
– календарное планирование технического обслуживания и ремонта оборудования;
– составление и хранение информации о расходах и происшествиях на предприятии;

Классификация оборудования

Для классификации оборудования по различным признакам в системе предусмотрены следующие системные классификаторы:

– иерархический классификатор оборудования по технологическому назначению;
– классификатор оборудования по его уникальному коду;

Учет паспортных данных оборудования

Паспорта объектов являются стандартными эксплуатационными документами, регламентируемыми отраслевыми стандартами. Поэто-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

му система ориентирована на хранение и поддержание электронных версий реальных паспортов объектов.

Представления данных по оборудованию должны быть максимально приближены к реальным формам паспортов технологического оборудования, согласно принятым отраслевым стандартам.

Перечень запасных частей оборудования

Справочник запасных частей оборудования позволяет вести список запасных частей и указывать для каждого типа оборудования необходимые запасные части.

Календарное планирование технического обслуживания и ремонтов

В состав системы входят блоки, каждый из которых решает определённые функциональные задачи трудного процесса управления техническим обслуживанием и ремонтами оборудования.

Методика и программные средства оптимизации распределенной обработки жизненного цикла заявок на ремонт оборудования предприятия ООО «ИВА-Гомель-Парк» обеспечивает автоматизированное планирование ремонтов путём составления планов планово-предупредительных ремонтов с разбивкой по задаваемым периодам (годам, месяцам, дням) исполнения работ, ремонтным и ответственным подразделениям. При этом для любой технологической позиции составляется график исполнения ремонтов, принимающий во внимание:

– периодичность выполнения планово-предупредительных ремонтов и требуемых ресурсов;
– дату последнего выполненного ремонта данного типа;
– возможность перекрытия ремонтов различных типов.

Учет выполненных ремонтных работ

Данная система предоставляет возможность вести электронный журнал выполнения ремонтов дефектного оборудования, а также выполнения планово-предупредительных ремонтов.

Внедрение системы позволит добиться следующих результатов:

– предоставление заинтересованным службам в режиме реального времени достоверной и полной информации о техническом обслуживании и ремонте оборудования для принятия обоснованных решений;

– снижение трудоемкости процессов планирования и учета работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования;

– обеспечение доступности и сохранности данных на всех уровнях.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

А. В. Шаховский (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОПИСАНИЕ СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАКАЗА ТАКСИ

Разработано web-приложение для заказа такси, которое позволяет выбрать тип перевозок, марку машины и просмотреть стоимость. Оно заполняет промежуточное звено между диспетчером сервиса такси и конечным пользователем данного сервиса. Для работы с данным приложением пользователю необходимо лишь иметь доступ к Интернету, а также зарегистрироваться в системе.

Серверная сторона любого приложения является неотъемлемой частью приложения, так как без хранения и обработки информации это приложение не имело бы смысла.

Для данного приложения была использована среда NodeJS для большей гибкости и кроссплатформенности. Она превосходит большинство серверных сред за счёт оптимизированного JavaScript движка V8, который в свою очередь написан на языке C++. Это даёт NodeJS получить глубокий доступ к ресурсам процессора, что, к примеру, невозможно в браузерной версии этого движка.

Однако среда NodeJS неудобна в том виде, в котором она поставляется программисту, поэтому NodeJS поставляется вместе с NPM (Node Package Manager) – online репозиторий для Open-Source проектов. Из NPM был взят фреймворк ExpressJS. Это простой и удобный в использовании проект, сутью которого является использование всех возможностей NodeJS, а также написание кода, который будет в 3-4 раза меньше NodeJS эквивалента. Дополнительно к ExpressJS был установлен Mongoose – проект для настройки соединения и обработки данных в базе данных MongoDB. MongoDB использует NoSQL подход к построению базы данных. Главным отличием SQL и NoSQL является вид хранения данных. Если в SQL используются схемы и таблицы, то в NoSQL оперируют понятиями документа и модели (объекты). При работе с JavaScript такой подход намного удобнее, так как все сложные данные в этом языке представляют собой объект.

Для обмена данными используется RESTful API архитектура.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Е. В. Шевцов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕКЛАМНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ГОМЕЛЬСКИЙ ЗАВОД МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ»

Информационные технологии занимают важное место в различных предметных областях, а Интернет уже давно является неотъемлемой составляющей жизни. Не выходя из дома, можно совершать покупки, находить информацию, знакомиться с мировыми шедеврами, работать, заказывать еду и многое другое. Технологии значительно дают нам больше возможностей и сохраняют наше время, делая жизнь более качественной. Появляется много сайтов и приложений, которые ежедневно нам помогают: напоминают даты, контролируют время, подбирают лучшие варианты билетов и так далее. Не вызывает сомнений, что сайт, обеспечивающий официальное представительство в Интернете, необходим любому предприятию. Во-первых, это дополнительный инструмент привлечения клиентов, которые без труда смогут находить информацию о продуктах и услугах. Во-вторых, это дополнительные преимущества для продвижения своей продукции через поисковую выдачу, региональные форумы и порталы.

При создании полноценного сайта предприятия с уникальным дизайном и функционалом не обойтись без современных информационных технологий, который максимально автоматизируют весь творческий процесс от проектирования до эксплуатации.

Одним из вариантов реализации поставленной задачи является разработка веб-приложения, предоставляющего актуальную информации о предприятии, а также о его товарах и услугах, с использованием библиотеки React.js [1].

React – JavaScript-библиотека с открытым исходным кодом для разработки пользовательских интерфейсов. Она используется для разработки одностраничных и мобильных приложений, обеспечивая высокую скорость, простоту и масштабируемость. В качестве библиотеки для разработки пользовательских интерфейсов React часто используется с другими библиотеками, такими как Redux [2].

Отличительной чертой библиотеки React является «концепция на компонентах». Это означает, что можно создавать отдельные компо-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ненты и затем их легко переносить из проекта в проект. Компонент React – это JavaScript-функция, которая возвращает кусок кода, представляющего фрагмент web-страницы.

Еще одна особенность React – использование JSX (JavaScript XML), расширяющей синтаксис JavaScript и позволяющей использовать похожий на HTML синтаксис для описания структуры интерфейса. Как правило, компоненты пишут с использованием JSX, хотя имеется возможность использования обычного JavaScript. В целом, использование JSX предоставляет простой и интуитивно понятный способ для определения кода визуального интерфейса.

Ещё одним положительным свойством использования библиотеки React является однонаправленная передача данных. Свойства передаются от родительских компонентов к дочерним. Компоненты получают свойства как множество неизменяемых значений. В результате компонент не может напрямую изменять свойства, но может вызывать изменения через callback-функции. Такой механизм называется «свойства вниз, события наверх».

Наконец, немаловажной особенностью использования библиотеки React является использование виртуального DOM (Document Object Model). Вся структура веб-страницы может быть представлена с помощью DOM – модели организации элементов html, которыми можно манипулировать, изменять, удалять или добавлять новые. Для взаимодействия с DOM применяется язык JavaScript. Однако попытка манипулировать html-элементами с помощью JavaScript приводит к снижению производительности, особенно при изменении большого количества элементов. Для решения проблемы производительности используется концепция виртуального DOM [1].

Виртуальный DOM представляет собой легковесную копию обычного DOM. Если приложению нужно узнать информацию о состоянии элементов, то происходит обращение к виртуальному DOM. Если необходимо изменить элементы web-страницы, то изменения вначале вносятся в виртуальный DOM, затем новое состояние виртуального DOM сравнивается с текущим состоянием, и, если эти состояния различаются, то React находит минимальное количество манипуляций, которые необходимы для обновления реального DOM до нового состояния и производит их. В итоге такая схема взаимодействия с элементами web-страницы работает гораздо быстрее и эффективнее, чем схема работы из JavaScript с DOM напрямую. Таким образом, программист работает со страницей, считая, что она обновляется вся, но

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

библиотека самостоятельно решает, какие компоненты страницы необходимо обновить [3].

С использованием библиотеки React.js было разработано и реализовано web-приложение, автоматизирующее работу по представлению актуальной информации о продукции и услугах унитарного предприятия Гомельского завода металлоконструкций.

Работа приложения Single Page Application организована с использованием тринадцати компонентов. Главный компонент является визуальным представлением предприятия. В компонентах контакты, услуги и продукция можно ознакомиться с контактами, товарами и услугами, которые предоставляет предприятие. В компоненте о предприятии можно узнать всю необходимую информацию об истории, достижениях и о самом предприятии в целом. Предусмотрена навигационный компонент, обеспечивающий быстрый доступ к другим компонентам.

Реализованное приложение с использованием современных технологий программирования помогает быстро донести до потребителя актуальные сведения об акциях, скидках и специальных предложениях на текущий момент, выгодно представляет продукцию (имеющийся ассортимент рассортирован по категориям, единая структура позволяет быстро подобрать нужный вариант); доступно круглосуточно из любой точки; экономит время потенциальных клиентов – покупатели, принявшие решение о покупке, совершают её тут же.

Литература

1. Metanit::[Электронный ресурс] // URL:https://metanit.com/web/react/– Дата доступа: 12.02.2020.

2. Петцольд, Ч. JavaScript. Программирование для Microsoft Windows 8. 6-е изд. / Ч. Петцольд. – С.-Петербург: Питер, 2013. – 1008 с.

3. Симпсон, К. ECMAScript 6. и не только. / К. Симпсон. – СПб.: Питер, 2017. – 336 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф.СКОРИНЫ

Д. П. Шевчук (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Д. С. Кузьменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБ С ППУ–ОЦМ ИЗОЛЯЦИЕЙ

В статье рассматривается задача определения напряжённо-деформированного состояния и физико-механических характеристик труб с ППУ-ОЦМ изоляцией. Стальные трубы в ППУ (пенополиуретановой) изоляции в оцинкованной оболочке (Оц) предназначены для надземной прокладки тепловых трасс [1]. Для решения исследуемой задачи была использована методика, описанная в [2].

Был разработан алгоритм и создана программа, реализующая определение напряженно-деформированного состояния и физико-механических характеристик различных труб (смотри рисунок 1), в том числе и труб с ППУ-ОЦМ изоляцией.

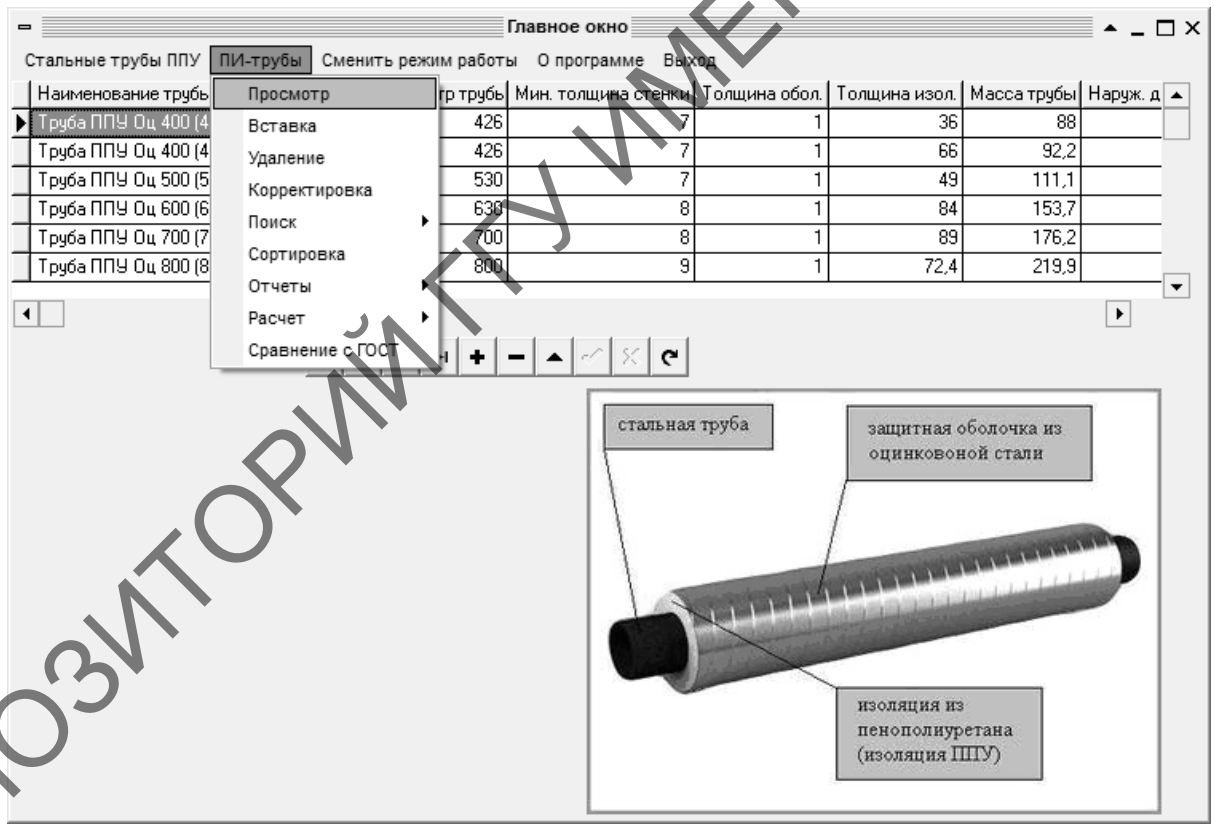


Рисунок 1 – Главное окно программного комплекса

Разработанное приложение позволяет определять напряжения и перемещений в слоистых трубах с ППУ-ОЦМ изоляцией с учётом ползучести и релаксации. В приложении предусмотрена возможность

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

хранения и расчёта различных характеристик стальных труб с ППУ изоляцией: наружный диаметр трубы с изоляцией, прочность на сдвиг в осевом направлении, прочность на сдвиг в тангенциальном направлении, радиальная ползучесть изоляции, водопоглощение, прочность ППУ при сжатии, объёмная доля закрытых пор ППУ и.т.д. Для определения некоторых характеристик, например, водопоглощения и плотности ППУ, рассчитывается среднее значение соответствующей характеристики (расчёт проводиться как минимум на трёх образцах). Также в программе предусмотрены все стандартные для приложений баз данных функции: поиск необходимой информации в удобном поле, сортировка данных по возрастанию и убыванию, осуществление необходимых запросов к базе данных, формирование требуемых отчётов. При расчёте физико-механических характеристик труб демонстрируется соответствующий рисунок, поясняющий схему расчёта данной характеристики. Таблицы базы данных были созданы и заполнены в среде Microsoft Access. После расчёта всех требуемых характеристик труб программа определяет, соответствует ли данный экземпляр трубы требованиям ГОСТ ГОСТ 30732-2006 "Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитным покрытием", указываются требуемые (по ГОСТ) и расчётные значения характеристик труб.

Результаты расчётов, полученные разработанным программным комплексом, полностью соответствуют результатам расчётов, полученных в ходе проведения натурных экспериментов. Рассмотренный в статье подход легко можно применить на другие трубопроводные системы, использующие современные композиционные материалы.

Литература

1. Можаровский, В.В. Автоматизированная методика определения физико-механических характеристик материалов для труб с ППУ-ОЦМ изоляцией и оболочки ПИ-труб / В.В. Можаровский, Д.С. Кузьменков, В.В. Можаровский, С.В. Шилько // Математическое и имитационное моделирование систем МОДС2012: тезисы докладов VII межд. научн.-практ. конф. 25-28 июня 2012 г. / Ред–изд. отдел Черниг. гос. технологич. ун-т. – Чернигов, 2012. – С. 145– 148.

2. Можаровский, В.В. Методика розрахунку напружено-деформованого стану шаруватих труб з урахуванням явищ повзучості і релаксації / В.В. Можаровский, Д.С. Кузьменков, Е.А. Голубева // Вестник Киевского национального университета им. Т. Шевченко. Серия физико-математические науки. Спецвыпуск. – 2017. – № 3.– С. 151–156.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

М. В. Яцковец (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель) Науч. рук. **А. В. Клименко,** канд. техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЁЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В IT-СФЕРЕ

Большинство прикладных исследований имеют цель установления закономерной взаимосвязи некоторой измеряемой величины и нескольких факторов.

Рассмотрим финансовое поведение IT-фирмы в период ее зарождения. Величине свободных денежных средств С i-го месяца рассчитаем по формуле:

$$C_i = C_{i-1} + (B_{i-1} - З_{i-1}) * (1 - p),$$

где i – период времени (0, 1, 2 ... – месяцы); С – сумма свободных денежных средств, у.е; В – валовая выручка, у.е; З – валовые затраты, у.е; р – налог на прибыль, % [1].

Подставив начальные тестовые данные, получим график свободных денежных средств фирмы для 1-10 месяцев, который отражает благоприятный вариант развития фирмы.

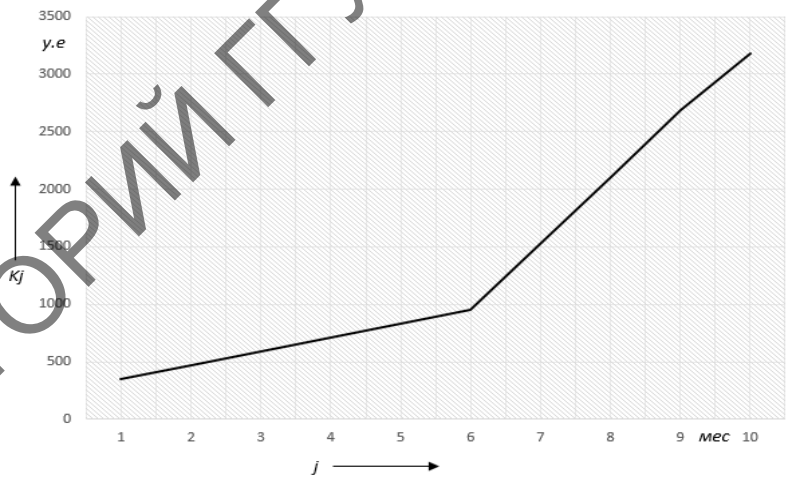


Рисунок 1 – График свободных денежных средств фирмы для 1-10 месяцев

Предположения: в 1 месяц работы предприятия нет заказов и прибыли, т.к. происходит закупка оборудования, подготовка офиса, поиск сотрудников, персонала и заказчиков, и затраты на рекламу.

Величина капитала K_1 по итогам первого месяца будет равняться: $K_1 = K_0 - З*(\sum_i R_i * t_i) - A - M_0 - O - Э$, где j – период времени (0, 1, 2 ... –

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

месяцы); K_j – капитал, у.е (K_0 – начальный капитал); З – дневная оплата труда, у.е/день; t_i – тариф оплаты труда сотрудника для квалификации I; R_i – количество сотрудников предприятия с квалицикацией i; А – месячная плата за аренду офиса, у.е; M_j – затраты на маркетинг в месяц, у.е; О – затраты на закупку оборудования и канцелярских принадлежностей; Э – расходы на оплату коммунальных, интернета и за телефон и др., у.е. [2].

Величина капитала K_j во второй и следующие месяцы будет равняться: $K_j = K_{j-1} + (\sum_k Q_{j-1}^k * S - З * (\sum_i R_i * t_i) - A - M_{j-1} - N) * (1 - p)$, где Q_{j-1}^k – количество часов работы для k-го проекта (заказчика); S –стоимость часовой оплаты услуг предприятия, у.е; N – закупки канцелярских изделий в месяц, у.е; p – налог на прибыль, % [3].

Методы нейросетевого моделирования при рассмотрении различных вариантов поведения объекта, позволяют использовать другие параметры динамических моделей. Это, в свою очередь, даёт возможность оценивать надёжность функционирования конкретного объекта в IT-сфере.

Литература

1 Агарков, А.П. Экономика и управление на предприятии / А.П. Агарков [и др.]. - М.: Дашков и Ко, 2013. - 400.

2 Экономика и управление на предприятии [Текст] / А. Агарков, Р. Голов, В. Теплышев, Е. Ерохина. – М.: Дашков и К°, 2013. – 400 с.

3 Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия - Телеком, 2006. — 452 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Секция 4 «Методика преподавания физики»

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

Е. П. Верещагина (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Г. Ю. Тюменков,** канд. физ.-мат. наук, доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МНЕМОТЕХНИКИ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКИ

Одной из основных причин плохого усвоения физики является большой объём информации, который необходимо запомнить. Это создаёт для многих своеобразный психологический барьер: учить регулярно лень, а то, что зазубрил, через некоторое время забывается. Поэтому очень важно при изучении нового материала обработать информацию в таком виде, чтобы она без особых усилий смогла оставить отпечаток в голове и запомниться надолго.

Сделать это возможно, если при обдумывании учебного материала, который предстоит изучить, использовать некоторые элементы мнемотехники.

Мнемотехника (искусство запоминания) - совокупность специальных приёмов и способов, облегчающих запоминание нужной информации и увеличивающих объём памяти путём образования ассоциаций (связей).

Принципы мнемотехники базируются:

1) на замене абстрактных понятий на понятия, имеющие образное представление (например, визуальное или аудиальное);

2) на установлении связей с уже имеющейся в памяти информацией.

При заучивании какого-либо материала (физика, математика и т.п.) мнемотехника обеспечивает более глубокое запоминание материала. Методы запоминания в этом случае рекомендуют создавать в воображении яркие образы для понятий и определений. Приведем несколько примеров мнемонических правил для запоминания некоторых понятий, законов и формул, которые я использовала при обучении разделов «Основы молекулярно-кинетической теории» и «Термодинамика».

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

1. При изучении молекулярной физики в 10 классе *формулу средней кинетической энергии молекулы одноатомного идеального газа* я предложила запомнить в виде:

$$\overline{E}_K = \frac{3}{2}kT \to \frac{3}{2} = 1{,}5,$$

поэтому физики порой озвучивают эту формулу: «ПОЛТОРА КОТА» (КО = k,ТА = Т).

2. Запомнить *постоянную Больцмана* легко по количеству букв в начале фразы «Я, тут Больцман постоянную -23 Дж/К принес»: Я (1 буква), тут (3 буквы) Больцман (8 букв) постоянную (10 букв) -23 Дж/К принес → $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

3. *Уравнение Менделеева – Клапейрона*:

$$pV = \frac{m}{M}RT.$$

Можно запомнить как фразу *«Поворот от Молодечно на Минск»*. P – По, V – во, RT – рот, m – от Молодечно (малого города), M – на Минск (большой город).

4. *Среднеквадратичная скорость теплового движения частицы:*

$$\vartheta = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}.$$

Запоминается как *«три кота на мясо»*, где m_0 - масса частицы, ϑ - её скорость, k - постоянная Больцмана, T - температура).

5. Для запоминания *первого закона термодинамики* я использую аббревиатуру “ДУРАК”. “ДУРАК” расшифровывается: Д – дельта (Δ), У – U (внутренняя энергия), Р – равно (=), А - это значок работы внешних сил (А), К – количество теплоты (Q)

$$\Delta U = A + Q.$$

Дельта U(У) равна работе внешних сил A (А) плюс теплота Q (К): ДУРАК.

6. При объяснении *первого закона термодинамики* также удобно сделать ассоциацию с принципом работы обычной диеты, записав

$$Q = \Delta U - A'$$

и введя A' – работу самой системы над внешними телами.

Допустим Q - это пища, которую мы потребляем. A' - это работа, которую мы выполняем. Внутренняя энергия (ΔU) - это ваш жирок. Вот как работает первый закон термодинамики: мы кушаем Q столько, сколько и работаем A', тогда ΔU (ваша фигура) остается неизменной:

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

$$Q = A'$$

Если вы будете только кушать Q, но не будете работать A', то съеденная пища приведет к увеличению внутренней энергии (к изменению фигуры в не лучшую сторону):

$$Q = \Delta U$$

Если же вы будете сидеть на голодном пайке и при этом работать A', вы сможете работать только за счет внутренней энергии ΔU, это один из физических принципов того, что называют диета.

Делая выводы о целесообразности применения мнемонических приемов и их роли в познавательной активности обучающихся, следует принять во внимание тот факт, что все предложенные методы и приемы не являются основной частью урока. Они рассматриваются лишь как вспомогательное средство для активизации фоновых знаний учащихся. Рифмованная форма определений и законов, другие мнемонические приёмы физики облегчают запоминание учебного материала, повышают работоспособность.

Литература

1. Интеллектуальное развитие в процессе обучения физике / под ред. Бетева В.А., Самойлова Е.А. - Самара: ПГСГА, 2010. - 245 с.

2. Челпанов Г.И. О памяти и мнемонике. С.-Петербург: «Скороходова И.Н.», 1983. - 87 с.

3. Козаренко В.А. Учебник мнемотехники. – URL: http://bookmate.com/books/EXrIuWAf. Дата доступа: 15.11.2013.

Е. П. Верещагина, Н. С. Костров (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Г. Ю. Тюменков,** канд. физ.-мат. наук, доцент

ТЕСТИРОВАНИЕ КАК ОБУЧАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НА УРОКАХ АСТРОНОМИИ

В наше время тестирование является одной из актуальных форм контроля знаний и умений не только в старшей школе, но и в начальной школе. Работая в школе, мы заметили, что традиционные методы контроля знаний и умений учащихся не совершенны. Для объективной оценки знаний и умений недостаточно проводить только контрольные и самостоятельные работы, письменные, устные опросы. Работая над проблемой усовершенствования методов проверки качества усвоения учебного материала и контроля знаний и умений уча-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

щимися по астрономии, мы сделали вывод, что особую роль в структуре учебной деятельности должно отводиться тестированию.

Системно-деятельностный подход в обучении астрономии требует разработки результативной и объективной системы контроля знаний и умений учащихся, в чем наиболее значимою роль может оказать тестовый контроль. Использование заданий в тестовой форме даёт возможность организовать полный контроль усвоения учебного материала учащимися. Ни один другой метод такой удивительной возможности не предоставляет [1]. Разговор с коллегами и наблюдения за учащимися показали, что в реальности обучение приёмам тестирования происходит неосознаваемо. Вот поэтому в свою педагогическую деятельность мы стали активно внедрять тестовые технологии.

Тесты – это достаточно краткие, стандартизированные или не стандартизированные пробы, испытания, позволяющие за сравнительно короткие промежутки времени оценить результативность познавательной деятельности, т.е. оценить степень и качество достижения каждым учащимся целей обучения (целей изучения) [2]. Но, при самостоятельной разработке теста учитель должен знать азы тестологии, как минимум уметь разбираться в различных формах и видах тестовых заданий (рисунок 1).

Рисунок 1 – Формы и виды тестовых заданий

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

На уроках астрономии разумно использовать тесты со свободными и выборочными ответами. Выборочные ответы дают учащимся возможность лучше понимать общие и отличительные качества изучаемых объектов, легче классифицировать различные явления. Кроме того, большинство технических средств контроля рассчитано на применение именно тестовых заданий с выборочными ответами.

По форме проведения тестирование может быть индивидуальное и групповое, устное и письменное, бланковое, компьютерное, вербальное и невербальное [2].

На различных этапах урока астрономии разумно проводить три вида тестирования:

1. Вводное тестирование - проверка уровня усвоения материала учащимися;
2. Текущее тестирование - ликвидация пробелов и коррекции умений и знаний;
3. Итоговый тест - обобщает и систематизирует учебный материал, проверяет уже сформированные знания и умения [2]. Обычно, итоговый тест проводят после изучения каждой главы.

Положительными моментами использования тестовых технологий на уроках астрономии являются:

1. Устранена возможность подсказок и списывания.
2. Повысилась объективность оценки знаний и умений учащихся.
3. Преподаватель полностью освобождается от проверки бумажных работ и может оперативно получить объективную картину успеваемости не только всего класса, но и конкретного учащегося, а также определить, какие области курса учащиеся усвоили хуже всего и своевременно скорректировать учебный процесс.

Как видим, тестирование, являясь одним из современных методов контроля усвоения учащимися учебного материала, имеет ряд преимуществ перед традиционными методами контроля знаний и умений.

Тестовая форма стала довольно актуальной и значимой в обучении. С введением централизованного тестирования (ЦТ) возникла необходимость специально готовить учащихся к новой форме контроля. Именно тестовый контроль повышает мотивацию, развивает личность, самостоятельность. Задача учителя уже на ранних этапах сформировать у учащихся определённые навыки работы с тестовыми заданиями в формате ЦТ.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

На сегодняшний день нет централизованного тестирования (ЦТ) по астрономии, но кто знает, что ждёт нас в будущем. Большинство ребят уезжают учиться в Россию, а для этого им нужно сдать ЕГЭ по физике, в котором имеются задания по астрономии. Не исключено, что вскоре и мы встретим в ЦТ по физике задания по астрономии. Следовательно, формирование у обучающихся умения работать с тестами необходимо начинать на ранних этапах обучения.

Литература

1. Галкина Татьяна Александровна. Технология обучения астрономии в средней школе:Дис.канд.пед.наук: 13.00.02: Москва, 2002. - 232 с.

2. Аванесов В.С. Основы теории разработки заданий в тестовой форме. М.: ИЦПКПС, 1989.

Е. П. Верещагина (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Г. Ю. Тюменков,** канд. физ.-мат. наук, доцент

ИГРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ КАК СРЕДСТВО АКТИВИЗАЦИИ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА УЧАЩИХСЯ

На сегодняшний день заинтересовать ребенка учёбой – схоже труду Сизифа. В большинстве ребята воспринимают учебный процесс, как утомительно-скучную затею. На начальном этапе обучения школа должна формировать у ребят не только определенный багаж знаний и умений, а также порождать и постоянно поддерживать стремление учащихся к самообразованию и самореализации. Физика традиционно считается одним из наиболее сложных предметов, поэтому крайне важно на самых ранних стадиях обучения зажечь в каждом ученике интерес к предмету.

Применение нестандартных форм обучения отлично сказывается на учебном процессе. Одной из форм таких уроков, которую я часто применяю, является игра.

Использование игровых технологий на уроках физики позволяет в достаточно короткие сроки пробудить интерес школьников к учёбе, обеспечить усвоения учащимися знаний, умений, и тем самым повысить эффективность обучения. В основе любой игры заложены не только образовательные возможности, но и воспитательные направ-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ленные на развитие у детей тех или иных качеств. Дидактические игры формируют у детей наблюдательность, ответственность, умение работать в команде, умение высказать и отстоять свою точку зрения. В итоге, игры оказывают большое влияние на умственное и творческое развитие детей.

Из своего личного опыта я убедилась, что на таких уроках ученики работают более активно. Особенно вызывает радость, что ученики, которые учатся неохотно, на таких уроках проявляют наибольший интерес. В большинстве случаях урок-игра построен в форме соревнования между несколькими командами. Естественно, у каждой команды возникает желание победить, а для этого нужно хорошо подготовиться и иметь хорошие знания по предмету. Победа – очень сильный мотив, побуждающий к деятельности. Участники это понимают, поэтому более усердно подготавливаются к уроку. После каждого проведенного урока в формате игры я часто слышу от детей фразу: «Давайте ещё поиграем», что свидетельствует об успешности урока и главной победы учителя – заинтересованности детей предметом.

Рассмотрим несколько игр, которые я применяла на уроках физики в 7-х классах.

Игра «Крестики-нолики». На доске расчерчено поле (рисунок 1). Каждая команда выбирает номер клеточки и получает вопрос с этим номером. Если ответ верный команда ставит в эту клеточку крестик (X), либо нолик (O) (одна команда использует крестики, другая нолики). Если ответ неверный право хода передается второй команде. Побеждает команда, которая первой поставила три крестика или нолика в линию.

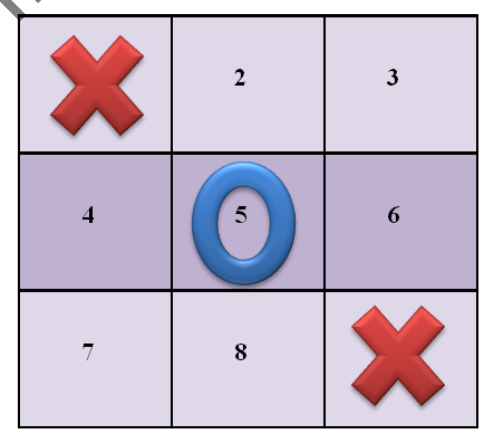


Рисунок 1 – Игровое поле

Игра «Физическое домино». Учащиеся получают карточки: физическая величина, буквенное обозначение физической величины, единица измерения. Ребятам предстоит правильно расставить карточ-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ки в порядке: *буквенное обозначение физической величины → физическая величина → единица измерения (рисунок 2)*.

Рисунок 2 - Карточки

Игра «Собери формулу». Учащиеся получают карточки: физическая величина, арифметические операции (рисунок 3). Ребятам предстоит правильно собрать все формулы, которые они знают.

Рисунок 3 - Карточки

Игра «Физические карты». Колода состоит из 36 карт: синие карты - обозначение физических величин, красные – формулы, зеленые – единицы измерения, 1 карта «*ЕП*» – бьёт всё, 1 карта *«Тесла-Эйнштейн»* – пропустить ход (рисунок 4). Участник бросает противнику одну любую карту, например: обозначение физической величины скорости (*v*). Противнику предстоит отбиться либо формулой скорости, либо единицей измерения. Если противник отбился, то карты идут к следующему участнику, если у противника нет карт, которые связаны с этой величиной, то он забирает их себе.

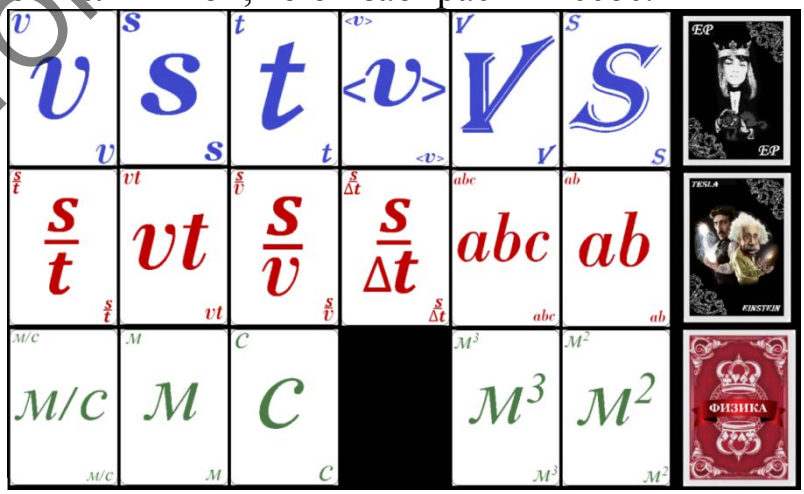


Рисунок 4 – Игральные физические карты

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что роль обучающих игровых методов в образовании чрезвычайно важна. Игровые технологии являются одной из уникальных форм обучения, которая позволяет сделать интересными и увлекательными не только работу учащихся на творческо-поисковом уровне, но и будничные шаги по изучению предметов.

Литература

1. Щукина, Г.И. Актуальные вопросы формирования интереса в обучении. Учеб. пособие. — М.: Просвещение, 1984. — 176 с.

Е. А. Войтова (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **И. В. Семченко,** д-р. физ.-мат. наук, профессор

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ЗАДАНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА РАЗВИТИЕ МЫСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ УСВОЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Во время работы в ГУО «СШ №30» мною был разработан комплекс заданий, направленных на развитие мыслительной деятельности, абстрактного мышления. Задания разработаны для учащихся 7 - 11 классов, представляют собой физические диктанты, на выполнение которых планируется 6-8 минут. Физический диктант позволяет быстро оценить знания сразу всего класса, получить результаты и выявить проблемы в усвоении материала. Использование диктантов в учебном процессе даёт возможность проверить прочность усвоения материала, способствует улучшению памяти и внимания ученика, развивает навык работать в заданном темпе. Таким образом создаётся возможность подготовить детей к урокам типа «Урок решения задач» и урокам типа «Обобщения и систематизации знаний».

Преимущества письменной проверки знаний, состоит в том, что для проверки всех учащихся класса требуется значительно меньше времени по сравнению с устной проверкой. Учащиеся в процессе письменной проверки должны проявить большую сосредоточенность, умение чётко выражать свои мысли.

На основании анализа результатов письменной проверки учителю представляется возможность дать сравнительную оценку знаний учащихся, выявить ошибки, допускаемые классом в целом по заданному

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

материалу, что позволяет ученикам сразу же получить информацию о своих пробелах в знаниях.

Систематическое проведение физических диктантов оказывает на учащихся психологическое и воспитательное воздействие. Это способствует воспитанию трудолюбия и дисциплины, и в конечном итоге положительно влияет на развитие мыслительной деятельности учащихся.

Методику проведения физических диктантов нельзя описать однозначно, так как уровень мыслительной деятельности учащихся, например, в профильных классах, классах с углубленным изучением физики существенно отличается от уровня учащихся базового класса. В связи с этим могу предложить две вариации проведения данной проверки знаний:

1. В классах с физико-математическим уклоном целесообразно применять методику, в которой учитель зачитывает вопросы. В классе должна быть полнейшая тишина, чтобы учащиеся могли настроиться на голос учителя, не отвлекаясь на что-либо. Учитель должен провести небольшой организационный момент, чтобы настроить детей на работу, огласить им временные рамки и правила написания физического диктанта, нацелить на осознание ответственности предстоящего мероприятия. Учащиеся на чистых листочках с указанием своей фамилии ставят номер вопроса и сразу пишут ответ (сам вопрос писать не нужно). Первый раз учитель медленно читает задания, выделяя интонацией вопросы, в которых необходимо вставить недостающее слово, чтобы учащиеся понимали, в чём состоит суть задания. Задания, которые требуют написания определения или формулы, обязательно сопровождаются паузой после прочтения, во время которой учащиеся отвечают на поставленный вопрос. Преподаватель определяет время паузы в зависимости от сложности и объёма задания. После того как все вопросы прочитаны первый раз и учащиеся ответили на них, преподаватель зачитывает вопросы повторно, для того чтобы учащиеся ещё раз проверили и убедились в правильности и полноте своих ответов.

2. В базовых классах, где дети не нацелены на изучение физики, или учащихся другого профиля, необходимо использовать другую, более удобную форму предоставления задания. Так как на слух информация воспринимается сложнее, чем визуально, целесообразно применять физические диктанты в виде раздаточного материала. Необходимо провести организационный момент, к ходе которого нужно огласить детям правила и время написания работы. Учащиеся

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

пишут ответы на подписанных листочках. Преподаватель во время написания физического диктанта наблюдает за классом, чтобы ученики не переговаривались и не отвлекали друг друга. По прошествии половины отведённого времени преподаватель сообщает об этом классу, для того чтобы учащиеся могли спланировать свою работу и скорректировать её, если нужно.

Физический диктант носит мотивационный характер, так как написанный без ошибок с первого раза, оценивается высоко, а в противном случае ученик обязан пересдать диктант устно во избежание отрицательной отметки. Физический диктант способствует развитию мышления и умения мобилизоваться, во время его написания учащийся абстрагируется от окружающих, настраивается только на голос учителя. Производятся такие мыслительные операции, как синтез, анализ, сравнение. Пример физического диктанта можно увидеть на рисунке 1.

Тема: Физическое тело, физическая величина, физическое явление

1. В физике любой предмет называют…
2. Назовите примеры физических полей.
3. Изменения, происходящие с физическими телами и полями, называют…
4. Для описания физических тел и физических явлений вводятся…
5. Основной признак физической величины…
6. Запишите формулу для нахождения объёма тела.
7. Из нижеприведенных понятий выберите и отнесите к соответствующей позиции:

а) физическим телам;
б) физическим явлениям;
в) физическим величинам.

1) Капля; 2) нагревание; 3) длина; 4) гроза; 5) кубик; 6) объем; 7) ветер; 8) сонливость; 9) температура; 10) карандаш; 11) промежуток времени; 12) восход Солнца; 13) скорость; 14) красота.

Рисунок 1 – Пример физического диктанта для 7 класса

Все физические диктанты составлены мной опираясь исключительно на учебные пособия, это значит, что для получения высокой отметки ученику необходимо лишь выучить параграф заданный на дом. Методика проведения разработана мной исходя из опыта работы в профильных и базовых классах.

Литература

3. Никитенко Ирина Георгиевна [Электронный ресурс] /Физический диктант как одна из форм письменной

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

проверки знаний . Режим доступа: https://urok.1sept.ru/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/528423/ - Дата доступа: 09.03.2020.

4. Инфоурок [Электронный ресурс] / Физические диктанты на уроках физики в 7-9 классах. Режим доступа: https://infourok.ru/fizicheskie-diktanti-na-urokah-fiziki-v-klassah-1290490.html. - Дата доступа: 09.03.2020.

Н. С. Горошко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А. П. Старовойтов**, д-р. физ.-мат. наук, профессор

ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ ЭКОЛОГО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО СОСТЯЗАНИЯ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ

Для создания мобильного эколого-математического интеллектуального состязания для школьников в первую очередь нужно было собрать информацию о таких задачах, которые бы связывали математику и экологию. Задачи, в которых такая связь прослеживается, существуют. К ним можно отнести типы задач, содержащие проценты, пропорции, производительность и популяции.

Для того чтобы создать электронную версию мероприятия можно воспользоваться Google формой. Google форму можно использовать в двух случаях: в качестве обычной формы для анкетирования или для регистрации и в качестве формы для тестов [1–2]. Для интеллектуального состязания были специально сделаны три формы: для регистрации, оценки мероприятия и по самому конкурсу.

Форма для регистрации создается следующим образом: используется несколько типов вопросов: “текст (строка)”, где респонденты мероприятия могли записать свои данные и “один из списка”, где респондент мог выбрать один из предложенных вариантов ответа. Присутствовали такие вопросы как: «Сколько вам лет?», «В каком классе вы учитесь?» и т. д. Хотя можно анкетирование создавать и из других вариантов ответов. Аналогично составлялась форма для оценки самого мероприятия. Были добавлены некоторые изменения. В некоторых вопросах (один из списка) Google формы позволяют для каждого из вариантов ответа добавить картинку.

При создании конкурса в Google-форме был задействован режим “Тесты”. Режим “Тесты” позволяет из предложенных вариантов ответов выбрать верный ответ. Когда набирались задачи для такого

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

теста были предложены 5 вариантов ответов, из которых один вариантов ответов был правильным. Каждый вопрос также позволяет под конкретный ответ поместить ответ в виде картинки. При составлении вопросов предлогалось их несколько видов, такие как: “текст (абзац)”, “несколько из списка”, “раскрывающийся список” (респондент выбирает только один ответ, но варианты «спрятаны». Такой тип помогает опроснику выглядеть более компактно. “Загрузка файлов” (плюсом такого вида вопроса является, то, что респондент может загрузить фотографии своего решения, тем самым доказав, что он самостоятельно решал те или иные задания по состязанию) позволяет ограничить количество загружаемого материала с гаджета респондента. Также есть такие типы вопросов, как “сетка” (множественный выбор) и “сетка флажков”.

По окончанию создания электронной версии мероприятия самый лучший способ упростить распространение формы (чтобы участники не вводили в строке поиска полное название формы, либо если никак нельзя разослать на неё ссылку) – использовать онлайн генератор QR-кодов. QR-код позволяет ведущему конкурса показать изображение кода и респонденты, т.е. школьники, которые участвуют в мероприятии, отсканировав его, сразу перейдут на ссылку с состязанием.

Когда респонденты уже начали участвовать в мероприятии и практически все сделали, им следует отправить форму. Google платформа анализирует ответ и позволяет респонденту сразу увидеть свой результат. Также можно ограничить возможность респондентов отправлять форму по несколько раз в разделе “настройки” общие – поставить галочку “отправить форму не более одного раза” и убрать галочку “изменять ответы после отправки формы” (это может сделать только владелец формы), по желанию респондента можно поставить дополнительный раздел в конкурсе – это отправка копии их ответов на почту. И еще в разделе тесты поставить галочки в поле “Показать оценку сразу” (сразу после отправки формы) и “Видно пользователю” (незачтённые ответы, правильные ответы, баллы за ответы). Сами же результаты по мероприятию поступают в личный кабинет составителя формы. Составитель их может видеть в трех формах: “сводка”, “вопрос” и “отдельный пользователь”.

В сводке сразу показывается статистика по мероприятию в виде распределения баллов, после результатов статистики следуют ответы по вопросам, на которые часто давали неправильные ответы. В этом разделе идет номер вопроса, сам вопрос и количество правильных и

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

неправильных ответов. Затем идут сами вопросы с ответами. Ответы строятся в виде столбчатой диаграммы. Правильный ответ выделен зеленым цветом и под каждым ответом видно, сколько человек дали тот или иной ответ (их количество, и количество выражено в процентах). В разделе “Вопрос” показывается какой-то конкретный вопрос и все ответы на него. В разделе “Отдельный пользователь” показывается конкретный пользователь и все его ответы. Google формы позволяют также результаты самого мероприятия создателю скачать их в виде таблицы Excel, в которой будут находиться все результаты по мероприятию и дополнительное поле по времени и дате отправления формы тем или иным респондентом.

Формы можно также ограничивать по времени прохождения того или иного мероприятия. Можно поставить “время открытия” и “срок закрытия”. Для этого нужно настроить у себя в Google форме дополнительную функцию «Control Accepting Responses», в которой надо выбрать «Настройки и информация» и там все это уже настроить.

Одним из самых главных преимуществ Google форм – они предоставляются абсолютно всем и на бесплатной основе, что в настоящее время является значительным. Большинство подобных сервисов предоставляют аналогичные продукты, но только в пробных версиях. В них ограничено и количество задаваемых вопросов, и количество респондентов, которые могут пройти тест.

Мероприятие «Мобильное эколого-математическое интеллектуальное состязание» прошло апробацию в Белорусском государственном университете транспорта, в котором приняло участие 26 школьников [3].

Благодарю научного консультанта доктора технических наук, профессора кафедры «Экология и энергоэффективности в техносфере» БелГУТа Невзорову Аллу Брониславовну за подготовку и обсуждение результатов данной работы.

Литература

1. Как создать тест в Google-форме [Электронный ресурс] / МедиаСвод. Технологии для роста. Режим доступа: http://mediasvod.ru/kak-sozdat-test-v-google-forme/ – Дата доступа: 09.03.2020.

2. Создаем новый курс на платформе Moodle [Электронный ресурс] / Информационные технологии. IT от простого к слолжному. Режим доступа: https://infostarting.ru/kak-sdelat-test-onlajn-v-formax-google-novaya-versiya/ – Дата доступа: 09.03.2020.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

3. Мобильное эколого-математическое интеллектуальное состязание [Электронный ресурс] / Белорусский государственный университет транспорта. Режим доступа: https://www.bsut.by/novosti-kafedr/6033-mobilnoe-ekologo-matematicheskoe-intellektualnoe-sostyazanie – Дата доступа: 09.03.2020.

А. В. Дедина, П. Д. Ахрамейко, А. Е. Герус,
И. Н. Зенькевич (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **И. И. Ташлыкова-Бушкевич,** канд. физ.-мат. наук, доцент

ТЕХНОЛОГИИ ЭВРИСТИЧЕСКОГО ОБУЧЕНИЯ, КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ ФИЗИКИ СТУДЕНТАМИ В ВУЗЕ

Как известно, существует тесная связь между знаниями по физике и математике. Для усвоения физических законов требуется понимание и использование математики. Но в технических вузах зачастую хотят обучаться молодые люди, не имеющие достаточных знаний в области математики. Цель нашей статьи – оценить зависимость баллов централизованного тестирования (ЦТ) по физике от баллов ЦТ по математике, а также исследовать эффективность применения эвристических технологий в лекционном курсе общей физики в вузе. Мы проанализировали вступительные баллы ЦТ студентов первого курса специальностей ПОиТ (поток, изучающий физику 1 семестр) и ВМСиС (поток, изучающий физику 3 семестра) факультета компьютерных систем и сетей (ФКСиС) БГУИР в 2019/20 учебном году. В 2019 году проходные баллы для этих специальностей на бюджетное/платное обучение составили 360/309 для ПОиТ (120 человек) и 341/265 для ВМСиС (180 человек).

На рисунке 1 представлены результаты линейного регрессионного анализа связи между баллами ЦТ по физике и математике студентов потоков ПОиТ и ВМСиС. Получено, что кусочно-ломанная линия регрессии представляет собой две пересекающиеся линии регрессии с точкой пересечения в области высоких баллов ЦТ по математике.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

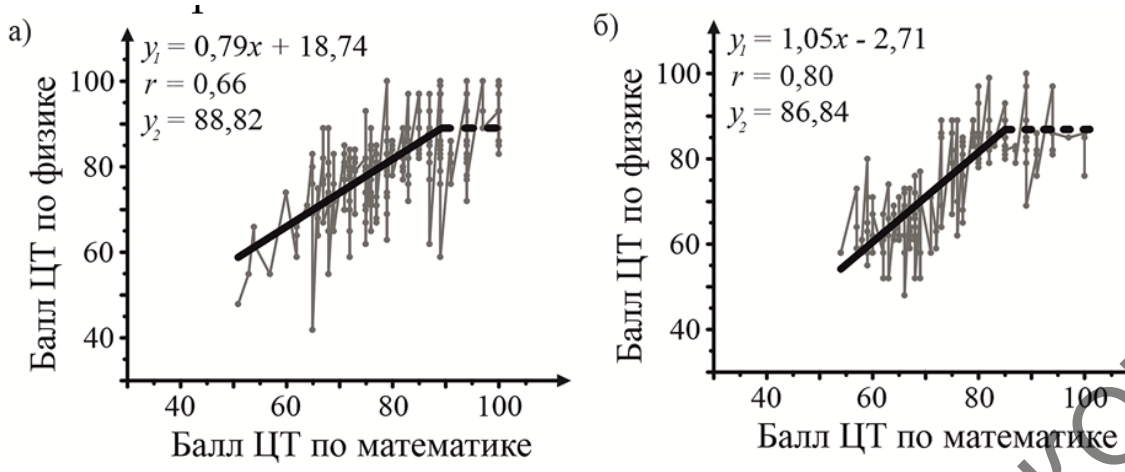


Рисунок 1 – Анализ зависимости баллов ЦТ по физике от баллов ЦТ по математике студентов потоков ПОиТ (а) и ВМСиС (б)

Коэффициент детерминации (r^2) показывает долю вариации баллов ЦТ по физике под влиянием баллов ЦТ по математике. Для студентов ПОиТ он составляет 44%, показывая, что баллы ЦТ по физике не связаны с баллами по математике строгой линейной зависимостью. Однако для потока ВМСиС коэффициент r^2 выше и составляет 60%. Стоит заметить, что участок графика, где результат ЦТ по математике больше 85-90 баллов апроксимируется прямой, параллельной оси абсцисс. Таким образом можно заключить, что даже при отличных знаниях в области математике, знаний абитуриентов по физике недостаточно для получения высшего балла.

Рисунок 2а демонстрирует результаты зимней сессии первокурсников. Данная информация иллюстрирует успеваемость по физике студентов специальности ВМСиС, поскольку студенты специальности ПОиТ изучают физику в течение второго семестра первого курса и их отметки могут быть проанализированы только после завершения летней сессии 2019/20 учебного года.

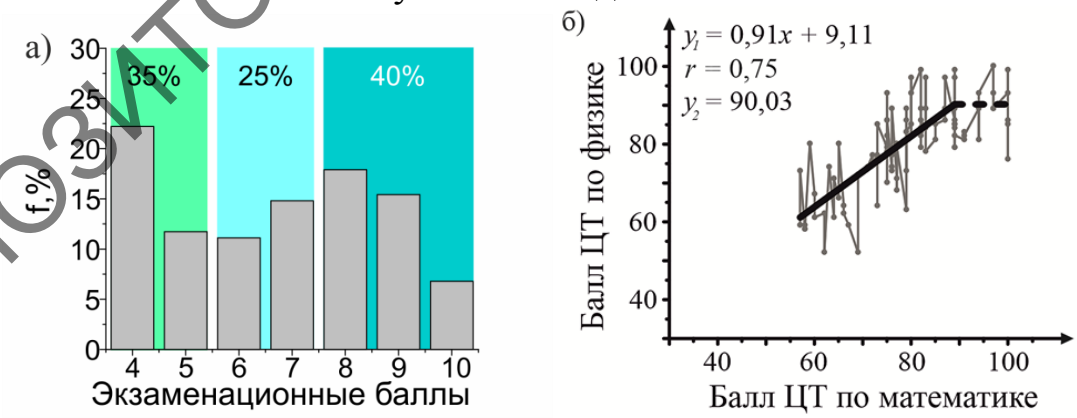


Рисунок 2 – Анализ результатов экзамена по физике студентов в зимнюю сессию (а) и зависимость баллов ЦТ по физике от баллов ЦТ по математике студентов-авторов творческих проектов специальности ВМСиС(б)

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Полученные данные свидетельствуют о необходимости поиска и применения методов, обеспечивающих повышение мотивации студентов к изучению физики. Для этого на ФКСиС применяются технологии эвристического обучения. Доцентом кафедры физики Ташлыковой-Бушкевич И.И. этот подход реализуется посредством вовлечения студентов в научно-исследовательскую деятельность (на данный момент сформированы 4 научные группы на потоке ВМСиС) и в процесс создания собственного образовательного продукта [1] в виде творческих проектов. Творческие работы в виде обучающих видеороликов создаются студентами во время 2-3 семестра изучения физики или в течение семестрового курса физики. Авторы проектов сами выбирают тему проекта согласно программе курса. Во втором семестре 2019/20 учебного года принять участие в создании проектов захотели 40% студентов специальности ВМСиС, и 44% студентов специальности ПОиТ. В итоге 13% желающих было отсеяно на этапе подачи заявок и их обоснования. На рис. 2б показан анализ зависимости баллов ЦТ по физике от баллов ЦТ по математике студентов-авторов специальности ВМСиС. Коэффициент детерминации для студентов-авторов составляет 56%. Анализ их экзаменационных оценок по физике за первый семестр показал, что 43% студентов имеет высокую оценку. При этом средний балл авторов проектов составляет 6.28, что чуть больше среднего балла потока (6.18). Но практика показывает, что отметки по физике первой сессии обычно ниже баллов 2 и 3 сессий. Возможно, это связано с использованием технологий эвристического обучения. Мы проверим эту гипотезу, когда будут выставлены отметки второй сессии.

Применение эвристических технологий обеспечивает углубленное изучение отдельных разделов курса общей физики. Создавая творческие проекты, на основе которых могут обучаться другие, студенты-авторы получают опыт, применимый в дальнейшей учебе. К концу весеннего семестра планируется, что студентами будет подготовлено 29 проектов. Тизеры проектов будут затем выложены на YouTube-канал “Эвристика в физике”, http://tiny.cc/0jbnaz.

Таким образом, в данной работе с помощью математической статистики обнаружена устойчивая корреляция между баллами ЦТ по физике и математике существует, но не является строгой. Обнаружили область высоких баллов ЦТ по математике, в которой балл по физике практически постоянен. Получено, что студенты как с высоким, так и с низким баллом принимают активное участие в создании проектов. Учащиеся с

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

невысокими результатами ЦТ и низкой экзаменационной отметкой получают возможность реализовать свои творческие и научные идеи. Как результат, по данной методике в весеннем семестре 2019/2020 учебного года обучаются 31% потока ВМСиС (56 человек) и 44% потока ПОиТ (53 человека), что показывает актуальность ее применения. Эффективность внедрения методики будет исследована после второй сессии.

Литература

1. 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.

А. С. Краменская (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. Г. Шолох**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОСОБЕННОСТИ МЫШЛЕНИЯ УЧАЩИХСЯ СЕДЬМОГО КЛАССА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ

Законы физики лежат в основе всего естествознания. Физика – наука, изучающая наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, а также законы её движения. Явления природы, изучаемые в рамках физики, окружают человека, и с раннего возраста он является участником либо свидетелем этих явлений. Почему же для большинства учащихся общеобразовательной школы физика – один из наиболее сложных предметов? Почему наибольшие трудности учащиеся испытывают на начальном этапе изучении физики? По нашему мнению ответы на эти вопросы следует искать в области психологии обучения и особенностей мыслительной деятельности учащихся определённой возрастной группы. Развитие мышления учащихся, то есть переработка информации в процессе течения мыслей, образов и ощущений, – одна из центральных задач школьного образования.

Учащимся седьмого класса свойственно преимущественно образно-логическое (наглядно-образное) мышление, которое позволяет человеку более чётко воссоздать разные характеристики предмета или явления [1]. Но при изучении физики возникает необходимость создания абстракций, мыслительных образов, моделей, использования символов, для действия над которыми необходимо овладение аб-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

страктно-логическим, словесно-логическим и структурно-логическим мышлением. Именно этот переход к овладению мыслительными действиями более высокого уровня и вызывает трудности у многих учащихся. С точки зрения психологии усвоение нового знания происходит в несколько стадий: восприятие, осмысление, запоминание, применение на практике, выработка навыка использования нового знания и глубокое запоминание. Для наиболее эффективного усвоения учебного материала необходимо создание условий для самостоятельной мыслительной деятельности учащихся, в процессе которой они устанавливают связь между имеющимся у них наглядным представлением о явлении и его абстрактной моделью. Следовательно, изучение нового материала необходимо начинать с демонстрации примера изучаемого явления, знакомого учащимся и легко воспроизводимого на уроке. Например, при изучении силы тяжести учитель предлагает учащимся произвести наблюдения результатов действия этой силы на различные тела. Затем учащимся предлагается привести примеры наблюдаемых ими аналогичных явлений. Эти действия вызывают интерес к изучаемому явлению и активизируют их последующую мыслительную работу. На основе произведённых наблюдений формулируется вывод о том, что на все тела действует *сила тяжести*, направленная вертикально вниз. Демонстрируется рисунок с указанной точкой приложения и направлением силы тяжести. Таким образом, учащиеся научаются абстрагироваться от свойств тела, не влияющих на силу тяжести, и формируют зрительно представимую абстрактную модель явления. Далее учитель формулирует вопрос: почему тело, лежащее на столе, не падает? Учащиеся без особых затруднений отвечают, что стол не даёт возможности ему упасть. Значит, со стороны стола на тело действует сила, уравновешивающая силу тяжести – *сила упругости*. Учащиеся проводят эксперименты по поднятию динамометром тел различной формы и массы и записывают результаты измерений. В результате обобщения этих экспериментов один из учащихся при участии остальных и с помощью учителя изображает рисунок, на котором указаны точка приложения и направления сил тяжести и упругости. Сравнение полученных значений силы упругости позволяет сделать вывод о том, что сила тяжести прямо пропорциональна массе тела. Убедившись в том, что учащиеся овладели процедурой абстрагирования, учитель переходит к математическому описанию этого явления, записывается и поясняется формула, в соответствии с которой связаны значения силы тяжести, действующей на тело, и его масса. На данном этапе мыслительная деятельность учащих-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ся направлена на трансформацию полученной информации в формализованный вид, и этот сложный процесс должен быть подкреплён конкретными примерами.

Рассмотрев силы, действующие на физическое тело и обратившись к опытам с динамометром, выясняется, что пружина динамометра растягивается потому, что на неё со стороны тела действует сила, называемая *весом тела*. Следует на рисунке указать точку приложения и направление веса тела.

Учитывая особенности мышления семиклассников, учитель должен предварительно продумать все методические шаги урока и подготовить заранее необходимые средства (вопросы, примеры, иллюстрации, демонстрационные опыты, мультимедиа-приложения и др.).

Более глубокое осмысление учебного материала учащиеся осуществляют при выполнении домашнего задания. Накануне урока по решению задач учащимся необходимо кроме подготовки ответов на вопросы, сформулированные в учебнике, повторить единицы измерения в СИ и их кратные и дольные единицы, пользуясь таблицами, которые были организованы на вводном занятии. Для более прочного усвоения учебного материала полезно предложить им проанализировать качественные задачи, произвести простейшие опыты с их последующим осмыслением, что способствует развитию интереса к изучению физики. Обсуждение и коррекция результатов этой домашней самостоятельной работы, как выявление уровня осмысления учебного материала – обязательный этап, предваряющий решение задач.

Решение задач следует начинать с предоставления учащимся примера логических действий. Для этого рационально вызвав к доске одного из учеников, организовать подробный ход рассуждений и последовательность действий, привлекая к этому процессу учащихся. При записи условия задачи и её краткого варианта необходимо убедиться в том, что учащиеся чётко представили рассматриваемую в задаче конкретную физическую ситуацию и способны при необходимости проиллюстрировать её рисунком; усвоили, какую величину необходимо определить, и какие сведения известны из условия. Затем необходимо направить мыслительную деятельность на переход к абстрактной модели явления, к формулам, по которым установлена связь между значениями искомой величины и значениями величин, заданными в условии. Этот процесс должен быть активизирован наводящими вопросами и подкреплён разъяснениями. Решение задачи должно быть представлено сначала в общем виде, поскольку именно на данном этапе у учащихся вырабатывается навык абстрактного

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

мышления. Сверив результат последующих вычислений с ответом, учащиеся имеют возможность убедиться в правильности (или ошибочности) решения задачи. Далее учитель организует самостоятельное решение задач всеми учащимися, корректируя их действия. Учитывая личностные особенности, необходимо обеспечить активную работу каждого учащегося, для чего необходимо подготовить задачи различного уровня сложности. В конце урока учитель должен дать рекомендации для ликвидации выявленных трудностей и позитивную оценку деятельности учащихся, успешно справившихся с заданиями.

Литература

1. Галанина, К. Логическое мышление – развитие логики. – [Электронный ресурс]: https://4brain.ru/logika.

Н. С. Морозов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

ПРОБЛЕМНОЕ ОБУЧЕНИЕ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Проблемное образование ведется с основ о научных положениях американского философа, педагога психолога Дж.Дьюи. Он говорил, что ребенок усваивает материал, не просто слушая или воспринимая органами чувств, а удовлетворяя свои потребности в знаниях, являясь активным субъектом своего обучения.

При проблемном обучении познавательную деятельность обучающихся стремятся организовать по логике развертывания творческого познавательного процесса, а именно:

- создают проблемное положение, анализируют его, и в результате анализа преподаватель ведет обучающихся к необходимости изучения нахождения проблемы;
- преподаватель включают обучающихся в активный поиск решения проблемного положения на базе имеющихся знаний и активизации познавательных способностей (выдвигаемые в ходе работы действия и мысли по поискам гипотез и догадок должны подвергаться анализу для того, чтобы подыскать самые оптимальные решения);
- получаемое предполагаемое решение проблемной ситуации проверяется преподавателем и обучающимися теоретически, но лучше когда проверка проводится на физических опытах и эксперимен-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

тах. Проблемная ситуация начинает определяться, и на основе этого решения ставится вывод по проблеме, который дает совершенно новое знание и понимание.

Очень значимыми терминами теории проблемного образования становятся "задача", "действие", "проблема", "проблемная ситуация", и можно сказать, что эта теория отвечает деятельностному подходу к образовательному процессу.

Проблемная ситуация -- это гносеологическая дилемма, которую можно выразить противоречием между имеющимися у обучающихся знаниями и умениями, отношениями и предъявляемыми требованиями или иной информацией. Исследования демонстрируют, что на занятиях по физике для создания проблемных ситуаций преподаватель может применять в этих целях такие меры, как:

- осуществление противоречия между жизненным опытом обучающихся и научными знаниями;
- определение противоречия самого процесса познания;
- предъявление противоречия самой объективной реальности.

Е. В. Нарижный (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

СОЗДАНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ

Основная цель обучения учащихся физики состоит из задач, которые ставит средняя школа в образовательном процессе – это создать максимальные условия для получения качественных знаний и применения их в практической деятельности. Поэтому учителя в школах применяют различные методы обучения, создают проблемные ситуации, чтобы при минимальных затратах времени получить максимальный эффект в развитии мышления и творческих способностей учащихся.

Находясь на педагогической практике в ГУО «Гомельская Ирининская гимназия» я проводил уроки по темам «искусственные спутники земли и первая космическая скорость». Перед этим уроком было изучено движение тела, брошенного под углом к горизонту. На основании изучения темы учащиеся нашли высоту подъёма тела и дальность полёта тела в горизонтальном направлении.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Учитывая то, что в горизонтальной плоскости тело движется равномерно, ученики вывели формулу дальности полёта:

$$S = \sqrt{\frac{2h}{g}} \cdot v_0 .$$

Из этой формулы видно, что расстояние в горизонтальном направлении S должно возрастать с увеличением v_0. Однако, как показывает эксперимент, что при некоторых v_0 расстояние S даже уменьшается. Возникает вопрос: как объяснить это возникшее противоречие? Т.е. в данном случае создалась проблемная ситуация.

Что бы объяснить эту ситуацию в данном случае нам необходимо было ввести следующие соображения:

1. Ускорение свободного падения не является постоянной величиной, оно изменяется с высотой, т.е.

$$g = G \cdot \frac{M}{(R+h)^2},$$

где h в данном случае – высота тела от поверхности земли.

2. Отмечаем, что земля имеет форму шара, т.е. её поверхность в более широком смысле нельзя рассматривать как плоскость.

Далее необходимо предложить учащимся вывести выражение для первой классической скорости, используя закон всемирного тяготения. Но в этом случае нужно обратить внимание учащихся, что $v \approx 8$ км/с отнюдь не является универсальной величиной.

Более строго необходимо показать, что первая космическая скорость зависит от высоты полёта над поверхностью земли.

Е. В. Нарижный, Д. А. Кохно (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ УЧАЩИХСЯ РЕШЕНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Одним из условий обеспечения глубоких и прочных знаний у учащихся является организация их деятельности по решению задач. Обычно задачи, которые необходимо рассматривать в обучении физике, направлены на условие теоретических знаний учащихся, развитие их творческого мышления и самостоятельности. В методической литературе физические задачи классифицируются по различным при-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

знакам: по способу выражения условия задачи; по способу решения; степени трудности; характеру содержания.

Обычно в деятельности учителя по обучению учащихся умению решать задачи выделяются две структурные части: теоретическая, которая включает овладение теорией, и практическая. На протяжении изучения всего курса физики учителю приходится применять различные приёмы и методы по решению задач. Но основная задача, которую должны решать учителя – это формировать обще методы решения задач у учащихся к окончанию средней школы.

Находясь на педагогической практике в ГУО «Гомельская Ирининская гимназия» и ГУО «Ясли-сад-Средняя школа №73 г. Гомеля» мы проводили исследования по выявлению умения решать задачи по физике. В выполненных исследованиях изучили степень усвоения учащимися отдельных операций, входящих в умения решать задачи. Установили что 30-50 процентов учащихся различных классов (девятых и десятых) указывают на отсутствие у них такого умения.

Неумение решать задачи является одним из условий снижения успехов изучения физики. Обычно неумение решать задачи является причиной нерегулярного выполнения домашних заданий. Хотя большая часть учащихся считает решение задач, как основное качество овладения знаниями по физике. Кроме того некоторые учащиеся стараются решать задачи, выходящие за рамки средней школы.

Поэтому в настоящее время в средней школе с решением проблемы формирования обобщенных умений возникает необходимость в формировании обобщённых знаний, структуре учебной задачи и методах ее решения.

Т. А. Попкова (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Н. А. Алешкевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РАМКАХ СМК УНИВЕРСИТЕТА

Эффективность и результативность функционирования системы менеджмента качества (СМК) университета зависит от правильной организации и взаимодействия всех процессов и элементов системы, наличия современных методик непрерывного мониторинга и оценки результативности процессов. Так, в рамках образовательной деятель-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ности, необходимо непрерывно осуществлять оценку удовлетворенности обучающихся условиями и качеством преподавания дисциплин, материально-техническим обеспечением и результатами образовательного процесса на специальностях, качеством организации и проведения воспитательной работы.

Цель нашего исследования – анализ современных методов и средств мониторинга образовательной деятельности и разработка анкет по оценке качества образовательного процесса.

Поскольку качество образовательной деятельности является сложным и многогранным понятием, то и система оценивания качества образовательного процесса должна иметь широкий спектр критериев оценки. Нами были разработаны три анкеты для оценки качества образовательной деятельности: «Оценка качества преподавания дисциплины», «Оценка качества специальности» и «Оценка качества воспитательной работы». Каждая анкета содержит около 20 вопросов охватывающих все сферы учебно-воспитательного процесса, организацию культурно-массовых мероприятий и бытовые условия.

Нами разработана методика обработки результатов анкетирования студентов с учетом весовых коэффициентов, которые отражают вклад каждого критерия анкеты в общий показатель качества. Обработка анкет с использованием словесной шкалы производится с использованием частотного распределения – упорядоченного подсчета количества признаков по каждому значению переменной, т.е. определяется, какое количество респондентов удовлетворяет или не удовлетворяет тот или иной критерий.

Разработанные нами анкеты и методика обработки результатов опросов будут использоваться в дальнейшем для периодического мониторинга образовательной деятельности в рамках СМК университета. Результаты анкетирования позволят получать объективную информацию о слабых и сильных сторонах образовательного процесса и вырабатывать обоснованные и эффективные управленческие решения по совершенствованию образовательной деятельности.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Т. Г. Романова (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Н. А. Алешкевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

О РАЗРАБОТКЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ

В последнее время наблюдаются существенные изменения в организации и осуществлении образовательной деятельности, связанные, в первую очередь, с сокращением аудиторной нагрузки и существенным увеличением управляемой самостоятельной работы студентов, а также развитием и все более широким использованием в образовательном процессе дистанционных форм обучения. Одним из эффективных инструментов организации управляемой самостоятельной работы студентов и реализации возможностей дистанционного образования являются электронные учебно-методические комплексы (ЭУМК).

Дисциплина «Технические измерения» относится к числу базовых дисциплин, формирующих научно-технические основы специализации «Физическая метрология и автоматизация эксперимента» поэтому разработка методических материалов, направленных на повышение качества преподавания и результативности образовательной деятельности является весьма актуальной задачей. Целью работы была разработка и систематизация учебно-методических материалов по дисциплине специализации «Технические измерения» и формирование на основе этих материалов ЭУМК.

Разработка и формирование ЭУМК осуществлялось в несколько этапов. Вначале изучались теоретические и методологические основы формирования и использования ЭУМК в учебном процессе, затем разрабатывались учебно-методические материалы по дисциплине и тесты для контроля знаний. В результате был сформирован ЭУМК, который включает в себя: теоретический раздел, который содержит тексты лекций по дисциплине, презентации к 16 лекциям, методические рекомендации к выполнению цикла лабораторных работ и 200 тестовых заданий для оценки и контроля знаний по дисциплине «Технические измерения». Все разделы ЭУМК в полной мере соответствуют содержанию учебной программы и требованиям образовательного стандарта.

Использование ЭУМК в образовательной деятельности позволит осуществлять продуктивную самостоятельную и управляемую деятельность, направленную на формирование социально-личностных и

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

профессиональные компетенции будущих инженеров-физиков в области технических измерений, метрологического обеспечения и обеспечения единства измерений. Учебные материалы, сформированные в виде учебно-методического комплекса, могут быть эффективно использованы при организации и осуществлении дистанционного обучения студентов.

Е. А. Цвирко (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Н. А. Алешкевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИЗМЕРЕНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТОДОМ ВОЛЬТМЕТРА-АМПЕРМЕТРА

Стремительное развитие измерительной техники существенно повышает требования к методам и средствам измерения физических величин, организации государственного метрологического контроля и обеспечению единства измерений.

Дисциплины специализации «Физическая метрология и автоматизация эксперимента» направлены на усвоение принципов и методов решения измерительных задач в различных областях науки, техники и производства, а также особенностей проведения измерений и обработки их результатов при испытаниях и контроле. Важное место в широком спектре электрических измерений отводится методам и средствам измерения электрического сопротивления и их метрологическому обеспечению, знание которых весьма актуально для будущих физиков-метрологов.

Целью нашей работы является изучение и анализ существующих принципов и методов измерения электрического сопротивления, разработка и изготовление учебного лабораторного стенда по измерению электрического сопротивления методом вольтметра-амперметра. Метод вольтметра-амперметра – это косвенный метод, основанный на законе Ома, который применяется для измерения малых и средних сопротивлений, а точность данного метода определяется в основном погрешностями используемых измерительных приборов и методическими составляющими.

В разрабатываемом нами стенде реализованы две альтернативные схемы измерения электрического сопротивления на постоянном токе с помощью вольтметра и амперметра: одна – для измерения малых сопротивлений; вторая – для определения средних и больших сопро-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

тивлений. Кроме измерительных приборов в состав экспериментальной установки входят: источник постоянного тока, реостат ползунковый, двухполюсной и однополюсной переключатели на два положения и исследуемые резисторы. Конструктивно стенд будет выполнен в пластмассовом корпусе, а на передней панели будут расположены измерительные приборы и другие необходимые устройства и элементы.

В настоящее время нами разрабатываются методические указания к лабораторным работам, которые будут поставлены на базе изготовленного стенда, и позволят изучить существующие методы измерения электрического сопротивления, приобрести навыки измерения сопротивления резисторов методом вольтметра-амперметра и усвоить способы количественной оценки погрешностей измерений.

Р. Н. Шукурова (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. Г. Шолох**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИНТЕРАКТИВНЫЙ ТРЕНИНГ КАК СРЕДСТВО АКТИВИЗАЦИИ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Современные инновации в образовательной сфере связаны с использованием интерактивных методов обучения. При реализации интерактивного метода обучения обеспечивается многостороннее взаимодействие всех компонентов обучающей среды (учителя с учащимися, учащихся между собой, учащихся с компьютерными приложениями и учебными пособиями), предполагается активность каждого субъекта образовательного процесса, паритетность, отсутствие репрессивных мер управления и контроля со стороны учителя [1], поощряется инициатива обучающихся. Главная задача педагога – создание обучающей среды, обеспечивающей плодотворную учебную деятельность школьников и развитие их мыслительных способностей. Для решения этой задачи необходимо, в частности, использовать различные приёмы активизации познавательной и интеллектуальной деятельности, создавать условия для самостоятельного осмысления предлагаемой учебной ситуации. Степень активности школьников является реакцией на методы и приемы работы учителя, интегративным показателем его педагогического мастерства [2].

Нами разработана методика интерактивного тренинга для учащихся восьмого класса общеобразовательной школы, который реко-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

мендуется организовать перед выполнением лабораторных работ по темам, посвященным изучению постоянного электрического тока. Цель тренинга – с использованием программного приложения «Начала электроники» в режиме многостороннего взаимодействия выработать навыки обращения с элементами электрических цепей, применить основные принципы создания электрических цепей постоянного тока сообразно поставленным целям, усвоить навыки использования основных измерительных приборов.

После актуализации знаний по теоретически изученному материалу с использованием презентации учитель организует ознакомление учащихся с принципом работы программного приложения «Начала электроники», рабочее окно которого показано на рисунке 1. Использование этого электронного конструктора позволяет имитировать на экране монитора процессы сборки электрических схем, исследовать особенности их работы, производить измерения электрических величин так, как это делается в реальном физическом эксперименте.

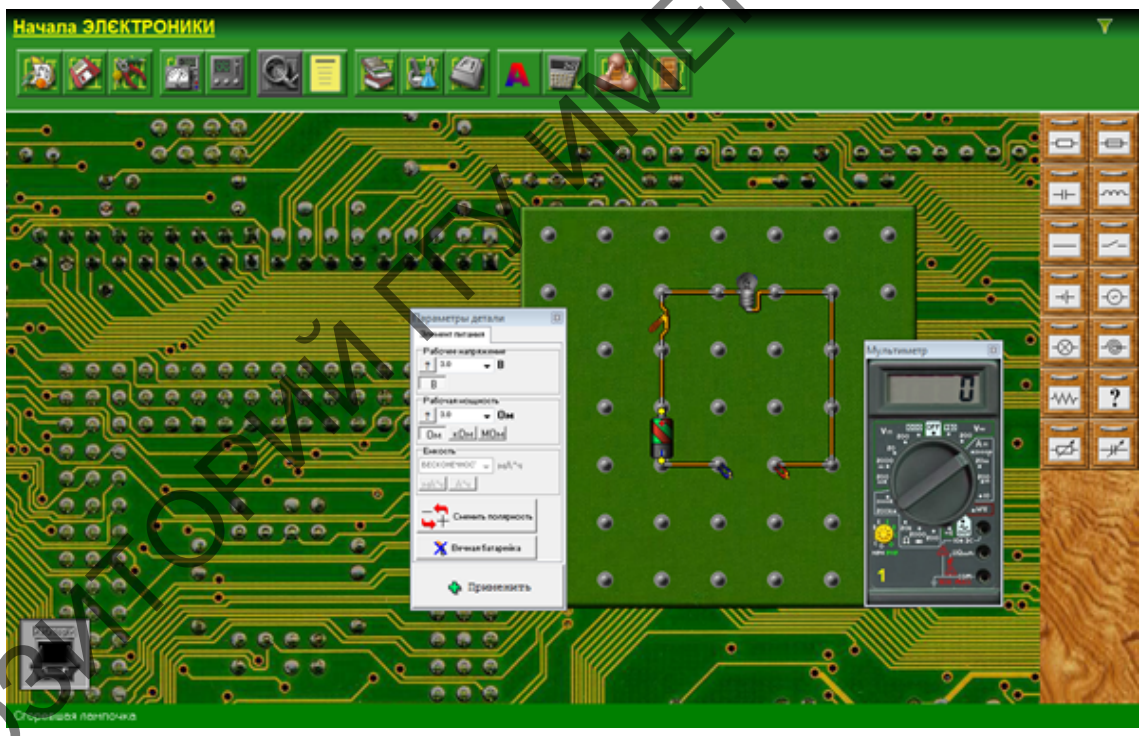


Рисунок 1 – Рабочее окно программного приложения «Начала электроники»

После восприятия ознакомительной информации учащиеся располагаются по 2 – 3 человека за компьютерами и приступают к самостоятельным действиям, предварительно согласовывая их между собой. Изучаются инструменты, расположенные в верхней части рабочего

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

окна и элементы электрических цепей, схематические обозначения которых изображены справа от монтажной платы.

Учитель организует их работу посредством наводящих вопросов в соответствии с программой действий:

1. Вынося на монтажную плату различные элементы электрических цепей, усвоить их назначение и соответствие между схематическим обозначениями каждого элемента и его реальным видом.
2. Усвоить возможность изменять параметры каждого элемента.
3. Освоить процедуру измерения физических величин (силы тока, напряжения, сопротивления) с использованием мультиметра (установление режима измерения, предела измерения).
4. Приобрести умение сборки простых электрических цепей. При этом учитель рекомендует собрать цепь, показанную на рисунке 1, и создаёт проблемную ситуацию (включает в цепь источник тока, мощность которого превышает мощность лампочки). Ученики, увидев, что при замыкании цепи лампочка перегорает, выдвигают предположения о причинах наблюдаемого явления. Найдя правильный ответ, самостоятельно собирают цепь, осознанно подбирая параметры элементов цепи.
5. Освоить процедуру измерения силы тока в цепи, напряжения на участке цепи, сопротивления участка цепи, для чего в цепь включают мультиметр в режиме амперметра, вольтметра и омметра, соответственно.

Далее учитель предлагает каждой группе учащихся сформулировать задание по изученному материалу и адресовать её другой группе, которая должна собрать электрическую цепь для экспериментальной иллюстрации задания и выполнить его. Наиболее интересные задания и их решение обсуждаются коллективно.

В результате апробации описанной выше методики в процессе педагогической практики установлено, что учащиеся с интересом восприняли предложенный формат виртуальной реальности, в процессе работы выдвигали различные предположения и использовали коллегиально принятые решения. На занятии была сформирована психологически комфортная атмосфера, позволяющая учащимся свободно экспериментировать, устанавливать произвольные параметры элементов электрической цепи, выявлять эмпирические закономерности, что безусловно способствует их творческой самореализации.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Литература

1. Интерактивные методы обучения в образовательных учреждениях высшего профессионального образования. Информационно-аналитический обзор. – [Электронный ресурс]: http://apufsin.ru/service/omumr/ material_int_form.html.

2. Методические указания по организации активных и интерактивных форм проведения занятий. – [Электронный ресурс]: https://www.ulsu.ru/media/documents/ pdf.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Содержание

Для перехода к тексту материалов перейдите по гиперссылке на соответствующем докладе

Секция 1 «Новые материалы и технологии»

Sudan A., Purouski M. Influence of technological parameters of FDM-print on the strength charac-teristics of samples of polyamide 9
Бердиев А.Г. Исследование оптических характеристик фотохромных покрытий, полученных золь-гель методом…… 11
Береснева А.В. , Крупинская А.С. , Лукашина А.А. Нанокомпозиционные полимерные материалы для функциональных элементов транспортных коммуникаций и особенности правового регулирования их производства…..….. 14
Божко Е.И., Корольков А.С. Анализ неисправностей легкового автомобиля марки Geely Atlas в период гарантийного обслуживания…… 17
Варламов Д.Ю. Эффект присутствия собеседника: голография – технология будущего……. 20
Войтович М.М., Манцевич В.Г. Исследование износа грузовых автомобильных шин в зимний период…… 23
Войтович М.М., Нестер С.С. Исследование износа грузовых автомобильных шин в весенний период……. 25
Грибович В.В., Жигулин Д.В. Сравнение адгезионно-барьерных свойств ванадия и нихрома в металлизации с Cu-содержащими сплавами……... 28
Гусейнова З. Новые технологические способности использования наноматериалов и нанотехнологий……..... 31
Данилевич Д.С. Исследование оптических характеристик пленок SiOF, полученных прямым осаждением из ионных пучков…….. 33
Езерский А.С. Разработка компактного устройства термостабилизации на основе эффекта Пельтье……. 37
Ермак О.К., Тишкова Я.И. Исследование триботехнических характеристик материалов, используемых при разработке состава смазки для литья под давлением алюминиевых сплавов 40
Зайцев А.А. Анализ композиционных слоев на основе кремнийорганической смолы К42 и углеводородов…….. 43

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Зеленко А.В. Получение фиксаторов арматуры на основе регенерированного полипропилена……..……... 46
Кацубо П.А. Анализ материаловедческих основ термопласткомпозитов для использования в качестве материалов для строительства и ремонта автомобильных дорог..... 49
Кисель О.В. Анализ отказов автобусов МАЗ-107 на примере ОАО «Автобусный парк г. Гродно»…….. 51
Клакевич М.С. Анализ процессов плазмохимической обработки материалов в проточных туннельных реакторах при среднем вакууме…… 53
Клочко П.В. , Капцевич И.В. , Ковалевский Ю.С. Нанокомпозиционные полимерные материалы для изделий специального назначения……... 56
Коваленко М.А., Гарбарук В.Ю. Электретный эффект в нанокомпозитах на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и полиэтилена высокого давления……..... 59
Коваленко М.А. Методологические особенности формирования электретного заряда в полимерных плёнках, содержащих нанодисперсный наполнитель……..... 62
Ковалёва Я.А., Федосенко Н.Н Определение температуры кратера в угленаполненном политетрафторэтилене при лазерной абляции……... 64
Ковш А.А. Применение атомно-силовой микроскопии для исследования морфологических особенностей вакуумных покрытий……. 67
Корольков А.С., Макаревич А.К. Анализ неисправностей легкового автомобиля марки GEELY SC7 в период гарантийного обслуживания…… 70
Корольков А.С., Манцевич В.Г. Анализ неисправностей легкового автомобиля марки Geely Engrand X7 в период гарантийного обслуживания…….. 73
Кравченко А.Ю. Моделирование частотно-селективных свойств планарных двухвитковых спиралей……..... 76
Кривенкова А.А. Микротвердость защитных порошковых покрытий…….. 79
Кривоус А.И. , Гапчинский В.А. Исследование теплофизических процессов в плате из алюминия с нанопористым оксидом алюминия……... 82
Крупинская А.С. , Мисюкевич Д.Н. , Звежевич В.В. Рециклирование отходов электроэрозионной обработки инструмен-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

тальных сталей…… 85
Кулеш Е.А. , Гузовец А.А. Определение физико-механических свойств поляризационных покрытий на основе слоев двуокисей циркония и кремния……... 88
Кулеш Е.А. Влияние отжига на коррозионную стойкость градиентных металл-углеродных покрытий……..... 91
Леоненко А.И. Изучение свойств покрытий при плакировании прошивкой…….. 93
Маркевич Я.Я., Войтович М.М. Изучение влияния галита на величину износа протекторов автомобильных шин…….... 96
Матвеенков А.С. Влияние геометрии инструмента на напряженность и распределение магнитных полей при магнитно-абразивной обработке……... 99
Мендибай А. О преимуществах покрытия из наночастиц..... 102
Михальченко А.А. Оценка дальности движения электромобиля от ёмкости зарядки аккумуляторной батареи…... 104
Науменко Е.Н. Влияние молекулярного строения на триботехнические и оптические свойства жидких кристаллов холестерина……. 107
Осипенко С.Д. Методика и программные средства локализации жировых клеток на изображениях, полученных с помощью конфокальной лазерной микроскопии……..... 110
Осипенко С.Д. Архитектура нейронной сети и соответствующего программного средства для выявления жировой ткани на изображениях, полученных с помощью конфокальной лазерной микроскопии……..... 112
Петрусевич В.В. Анализ варианта продления межремонтного периода асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог составами на основе полиуретановых каучуков…….. 115
Пискунова Е.Д. Экологически чистые смазочные материалы на основе растительных масел…….. 118
Пуровский М.П. Рециклинг отходов производства пищевых пленочных материалов……... 121
Русыкин А.С., Слепенков Д.В. Сравнительный анализ химических методов получения порошков YAGG для использования в области солнечной энергетики……. 123
Саламатов А. Новые технологии в энергетике……. 126
Сердюков Д.Г. Резистивный способ формирования прозрачных токопроводящих покрытий……... 128
Солдатенко А.В. Низкочастотный генератор для ионно-плазменной модификации материалов в плазме импульсного

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

тлеющего разряда…… 131
Тихон О.И. Исследование электрических режимов работы СВЧ магнетрона в составе плазменного технологического оборудования……... 134
Тишкова Я.И., Ермак О.К., Божко Е.И. Получение состава смазки для литья под давлением алюминиевых сплавов с высокой седиментационной устойчивостью……. 137
Тишкова Я.И., Ермак О.К. Исследование смазывающей способности материалов, используемых при разработке состава смазки для литья под давлением алюминиевых сплавов и полимерных изделий…….. 140
Тонко Ю.Ю., Войтович М.М. Исследование износа грузовых автомобильных шин в летний период ……..... 142
Укас Н. Новые технологии в нефтегазовой отрасли…… 145
Филимонов Н.С., Романович Я.Г. Исследование механических характеристик пленок нитрида углерода, полученных прямым осаждением из ионных пучков……. 147
Хмурчик О.И., Сакович А.Л., Вань Сюеминь Материаловедческие и технологические аспекты повышения эксплуатационного ресурса элементов технологического оборудования тепловых электростанций…..... 150
Шавловская О.А. Влияние высокого давления на фазовый переход сегнетоэлектрик-параэлектрик керамик на основе титаната-цирконата свинца……... 153
Юник А.Д. Способы формирования нормально-закрытых GaN/AlGaN транзисторов с высокой подвижностью электронов.. 156
Яночкин П.С., Русыкин А.С. Исследование оптических свойств ZrO_2-Ti золь-гель покрытий, легированных церием…... 159

Секция 2 «Моделирование физических процессов»

Астрейко А.В. Силовой анализ рычажного механизма……. 162
Бенько О.Н. Цилиндрически симметричные решения спинорных уравнений Максвелла в гиперболическом пространстве Лобачевского……... 165
Бужан М.А. Прототипирование как способ разработки эффективного пользовательского интерфейса……..... 169
Герасименко М.Д. Вычисление петлевых интегралов…….. 171

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Гришечкина А.А. Поведение в релятивистском конфигурационном представлении различных функций Грина... 174
Гузовец А.А., Слепенков Д.В. Создание экспериментального образца на основе прямоугольных омега-элементов из нихромовой проволоки…….... 178
Гузовец А.А. Исследования свойств «идеального» двустороннего поглотителя на основе прямоугольных омега-элементов из нихромовой проволоки……. 182
Давидовский Д.А. Статическая устойчивость узлов нагрузки электроэнергетических систем…… 185
Доломанюк Р.Ю. Прогнозирование коррозийных повреждений стальной арматуры железобетонных пролетных строений в условиях открытой атмосферы…… 188
Евреинова М.В. Моделирование движения заряженной частицы в электромагнитном поле…….. 192
Ивашкевич А.В. Цилиндрически симметричные решения спинорных уравнений Максвелла в сферическом пространстве Римана……. 194
Ивашкевич А.В. О решениях спинорных уравнений Максвелла в пространстве-времени Шварцшильда……. 197
Каленчак Е.В. Подходы к моделированию магнитного транспорта лекарств…… 200
Климович В.А. Формирование волн при воздействии пространственно-неоднородного источника энергии…….. 202
Лепик А. Построение математических моделей и исследование физических явлений…….. 205
Максименко Д.А. Оценка необходимости большого количества звездочек в цепной передаче велосипеда…….. 208
Миткевич В.В. Компьютерное моделирование отказов основного электрооборудования и линий электропередач в сельских распределительных сетях…….. 210
Невмержицкая А.С. Уравнение состояния Исикавы-Чанга-Лу вида $\tilde{V} = \tilde{V}(\tilde{P}, \tilde{T})$…… 213
Павленко А.В. Релятивистская задача о связанных состояниях двухчастичных систем в случае потенциала Гаусса в импульсном представлении……. 215
Парахневич А.С. Извлечение численных данных о деформации ядра свинца $_{82}Pb^{206}$ с помощью БД «Карта параметров формы и размеров ядер»……. 218
Ревенок М.А. Параметры размера и формы изотопов магиче-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ского ядра кальция……. 222
Ритарева М.В. Моделирование энергетических спектров частиц…… 226
Стельмашонок С.В. Неизотермическое течение вязкой жидкости между коаксиальными цилиндрами……. 228
Толкачёв А.И. Матричный метод решения задачи об отражении электромагнитной волны от двухслойной биизотропной структуры на отражающей подложке…… 232
Толкачёв А.И. Два метода решения задачи об отражении электромагнитной волны от двухслойной биизотропной структуры на отражающей подложке…… 235
Чугунов А.С. Численное моделирование P-I-N фотодиодов….. 238
Шарай В.С. Исследование базовых элементов цифровых устройств с использованием пакета расширения Simulink среды Matlab……... 241

Секция 3 «Автоматизация исследований»

Акулич В.С. Кинематическое исследование замкнутых дифференциальных механизмов……. 244
Алексеенкова Н.В. Создание игры «Maze» посредством языка C# и библиотеки OpenGL…… 247
Амралиев Д. Необходимость новых технологий в современной жизни…… 250
Андреев В.А. Модуль подозрительных событий в ERP-системе управления автомойками……. 252
Андриенко Н.С. Разработка мобильного приложения для платформы iOS на языке Swift…….……. 253
Антоненко Д.В. Применение нейронных сетей для распознавания цифр……. 254
Бартновская А.В. Приложение, реализующее игру «Линейные гонки» с использованием WPF и графики DirectX…… 256
Березовский М.С. Разработка игрового приложения «Spaceship» с использованием среды разработки Unity…….. 259
Буйновец Н.С. Разработка Web-приложения для управления задачами проекта…… 260
Вакулина А.В. Игровое приложение «Клад» с использованием графики OpenGL…… 261
Василевский В.В. Получение актуальной информации о бело-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

русской футбольной лиге с использованием Android-приложения. 264
Вергейчик А.П. Программные средства распознавания и классификации растений Беларуси……. 266
Виноградов П.Д. Разработка персональной метеостанции……. 268
Гавриленко М.Н. Автоматизация получения и обработки большого объема данных с использованием технологий Java и Apache Kafka…… 270
Городков А.С. Разработка клиентской части проекта «Автоматизированная система управления банком по работе с клиентами» 273
Гуменников Е.Д. Методика генерации эквивалентных текстов 274
Домасканов Д.В. Радиообследование зоны покрытия Wi-Fi точки доступа в жилом здании с использованием программных средств мониторинга……... 276
Дроздов П.Ю. Разработка Web-приложения продажи билетов для пользователей с ограниченными возможностями…… 278
Еременко В.В. Разработка Token аутентификации для приложения «Социальная сеть»…….. 279
Закревская В.С. Создание программного обеспечения для скрутенёрской работы судейской коллегии…… .. 280
Зезюлин В.М. Автоматизация работы агропромышленного комплекса с помощью «Интерент вещей»……..... 281
Иванова Ю.А. Разработка адаптивного Web-приложения «Книги» на платформе ASP.NET CORE……. 282
Ильджанова М. Автоматизация эксперимента научных исследований…… 283
Караваева М.А. Характеристика клиентской части интернет-магазина парфюмерии…….. 287
Католикова А.С. Использование облачных технологий в сервисе для создания приложений…… 288
Ковальчук А.Д. Разработка навигационно-коммуникационного модуля на Android……... 289
Козлов А.В. Описание клиентской части Web-приложения для заказа билетов на футбольные матчи…… 290
Козлов Г.В., Заяц Т.А. Разработка интернет-витрины……. 291
Кончиц А.А. Разработка мобильного приложения функциональной диагностики автомобиля на основе использования OBD-II сканера……... 293
Костерев А.Е. Разработка мобильного приложения с применением микросервисной архитектуры…… 296
Крылов А.С. Компьютерное моделирование электрических по-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

терь в многоабонентских сетях напряжением 0,4 кВ……..... 299
Куркай А.М. Разработка электронной системы инвентаризации 302
Кучин Д.С. Разработка виртуальной экспозиции с элементами дополненной реальности…….. 306
Ленденкова С.И. Разработка приложения дискретизации 2D объекта……... 308
Леонов Д.В. Разработка мобильного приложения автоматизированного селектирования одежды……... 311
Лубочкин Е.А. Разработка игрового приложения на платформе Unity…… 314
Лянная Е.В. Разработка веб-приложения «Органайзер»…….. 315
Мамичев И.С. Структура Web-приложения покупки, продажи и обмена товарами……... 316
Маслов И.А. Разработка мобильного приложения «Bookcrossing» на платформе iOS…….. 317
Мельников И.Н. Разработка автоматизированной системы контроля естественного освещения с помощью Android-приложения 318
Мохорев Э.В. Разработка мобильного приложения для работы с носимым кардиографом……320
Никонович А.Ю. Паттерны проектирования…….. 322
Панов Д.А. Разработка Android-приложения для сайта «Исторический журнал»…….. 325
Петушков А.А. Об особенностях системы по передаче информации посредством ИК-излучений…… 326
Пинчук И.Г. Создание мобильного приложения «Поиск» на платформе IBM Mobilefirst…… 327
Прохоренко В.А. Применение эволюционного подхода к построению модели нейрорегулятора при адаптивном управлении технологическим циклом…… 328
Рубанов М.И. Создание Веб-приложения ведения проектов SCRUM-методологиями……... 330
Рубин В.А. Метод распределенных главных компонент с использованием Tensor Flow Extended…… 331
Рудько О.С. Построение технологического комплекса интеграционного взаимодействия распределенных систем…….. 333
Серченя П.А. Система дистанционной проверки лабораторных и контрольных работ студентов……..… 334
Сувалов Н.Н., Приходько А.П. Испытания оборудования на воздействие внешних механических факторов……... 335
Сыч Е.В. Разработка Веб-приложения «Домашние финансы»….. 338

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Тикаев В.Р. Создание клиент-серверного приложения «Student assistant»……. 339
Трубчик А.С., Заяц Т.А. Разработка приложения для смартфонов……..…….. 340
Филинский С.А. Разработка приложения для документооборота банков и строительных компаний. Архитектура серверной части.. 343
Хобня А.В. Кроссплатформенные компоненты для управления неоднородностью мобильных устройств…… 344
Шаповал Е.Ю. Методика и программные средства оптимизации распределенной обработки жизненного цикла заявок на ремонт оборудования предприятия ООО «ИВА-Гомель-Парк»…… 345
Шаховский А.В. Описание серверной части Web-приложения для заказа такси…… 348
Шевцов Е.В. Использование информационных технологий для автоматизации рекламной деятельности производственного унитарного предприятия «Гомельский завод металлоконструкций»…… 349
Шевчук Д.П. Определение напряженно-деформированного состояния и физико-механических характеристик труб с ППУ-ОЦМ изоляцией…….. 352
Яцковец М.В. Применение методов нейросетевого моделирования при оценке надёжности функционирования объектов в IT-сфере…… 354

Секция 4 «Методика преподавания физики»

Верещагина Е.П. Использование элементов мнемотехники при обучении физики…… 356
Верещагина Е.П., Костров Н.С. Тестирование как обучающая технология на уроках астрономии……... 358
Верещагина Е.П. Игровые технологии на уроках физики как средство активизации познавательного интереса учащихся…… 361
Войтова Е.А. Разработка комплекса заданий, направленных на развитие мыслительной деятельности и повышение уровня усвоения материала…… 364
Горошко Н.С. Электронная версия эколого-математического состязания для школьников…….. 367
Дедина А.В., Ахрамейко П.Д., Герус А.Е., Зенькевич И.Н. Технологии эвристического обучения, как средство повышения

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

мотивации к изучению физики студентами в ВУЗе…….. 370
Краменская А.С. Особенности мышления учащихся седьмого класса при изучении физики……. 373
Морозов Н.С. Проблемное обучение в свете современных образовательных технологий…… 376
Нарижный Е.В. Создание проблемных ситуаций при обучении физике…… 377
Нарижный Е.В., Кохно Д.А. Методика обучения учащихся решению физических задач…….. 378
Попкова Т.А. Разработка средств мониторинга образовательной деятельности в рамках СМК университета…….. 379
Романова Т.Г. О разработке учебно-методического комплекса по техническим измерениям…….. 381
Цвирко Е.А. Разработка лабораторного стенда по измерению сопротивления методом вольтметра-амперметра……. 382
Шукурова Р.Н. Интерактивный тренинг как средство активизации познавательной деятельности…… 383

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Электронное научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

IX Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 23 апреля 2020 года)

Материалы

В двух частях

Часть 1

Подписано к использованию 20.04.2020.

Объём издания 12,5 Мб.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1452 о т 17.04.2017 .
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель
http://www.gsu.by

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ