

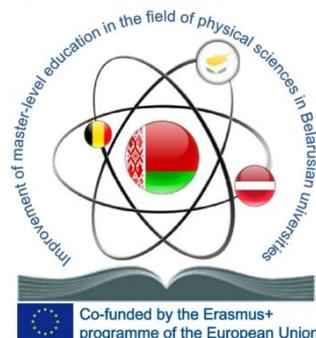
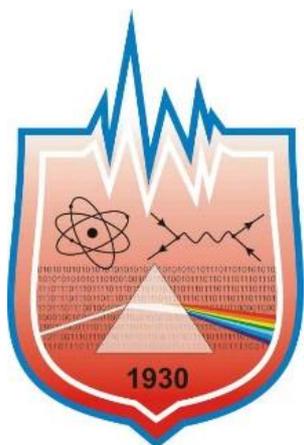
Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

Материалы VII Республиканской
научной конференции
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 25 апреля 2018 года)

В трех частях



Гомель
2018

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

Материалы VII Республиканской
научной конференции
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 25 апреля 2018 г.)

В 3 частях

Часть 1

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2018

ISBN 978-985-577-419-9
ISBN 978-985-577-420-5 (Ч. 1)

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени
Франциска Скорины», 2018

Актуальные вопросы физики и техники [Электронный ресурс]: VII Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 25 апреля 2018 г.): материалы: в 3 ч. Ч. 1. – Электронные тестовые данные (9,54 МБ). – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2018. – Системные требования: IE от 11 версии и выше или любой актуальный браузер, скорость доступа от 56 кбит. – Режим доступа: [http:// conference.gsu.by](http://conference.gsu.by). – Заглавие с экрана.

В материалах республиканской конференции рассматриваются актуальные общетеоретические и прикладные проблемы физики и техники; 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 в школе и вузе, в частности, особое внимание уделяется использованию мультимедийных и компьютерных технологий, проектному обучению; обсуждаются вопросы использования информационных технологий, в том числе сетевых технологий и СУБД в научных исследованиях, процессах и системах передачи, хранения и защиты информации.

Издание состоит из трёх частей. В первой части содержатся материалы по секциям: «Новые материалы и технологии», «Моделирование физических процессов». В каждой секции статьи участников конференции размещены в алфавитном порядке.

Предназначено для студентов, учителей школ, гимназий, колледжей, преподавателей вузов.

Редакционная коллегия:

Д.Л. Коваленко (главный редактор),
А.Л. Самофалов (зам. главного редактора),
А.А. Середа (ответственный секретарь),
В.Н. Мышковец, В.Е. Гайшун, В.В. Андреев, Е.А. Дей, В.Д. Левчук,
А.В. Воруев, Е.Б. Шершнев, Т.П. Желонкина

УО «ГГУ имени Ф. Скорины»
246019, Гомель, ул. Советская, 104,
тел. (232) 57-16-73, 57-75-20
<http://www.gsu.by>

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Хахомов С. А. – ректор ГГУ имени Ф. Скорины

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, член-корреспондент НАН Беларуси, д-р хим. наук, профессор

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

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

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

- Андреев В.В.** – заведующий кафедрой теоретической физики
ГГУ имени Ф. Скорины, д-р физ.-мат. наук, доцент
- Левчук В.Д.** – заведующий кафедрой АСОИ ГГУ имени
Ф. Скорины, канд. техн. наук, доцент
- Мышковец В.Н.** – заведующий кафедрой радиофизики
и электроники ГГУ имени Ф. Скорины,
канд. физ.-мат. наук, доцент
- Шершнев Е.Б.** – заведующий кафедрой общей физики
ГГУ имени Ф. Скорины, канд. техн. наук, доцент

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

- Середа А.А.** – заместитель декана факультета физики
и информационных технологий ГГУ имени
Ф. Скорины по НИРС

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

1. «Новые материалы и технологии»

Председатели:

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

2. «Моделирование физических процессов»

Председатели:

- Андреев Виктор Васильевич, д-р физ.-мат. наук, доцент.
Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

3. «Автоматизация исследований»

Председатели:

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

4. «Методика преподавания физики»

Председатели:

- Шершнев Евгений Борисович, канд. техн. наук, доцент.
Желонкина Тамара Петровна, ст. преподаватель.

ПОРЯДОК РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

25 апреля 2018г.

9⁰⁰ – 11⁰⁰ – регистрация участников – корпус 5, фойе второго этажа (ул. Советская, 102).

11⁰⁰ – 13⁰⁰ – открытие конференции, пленарное заседание – корпус 5, ауд. 2-25 (ул. Советская, 102).

13¹⁵ – 16⁰⁰ – работа секций.

МЕСТА РАБОТЫ СЕКЦИЙ

1. **«Новые материалы и технологии»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 2-11.
2. **«Моделирование физических процессов»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 2-25.
3. **«Автоматизация исследований»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 4-16.
4. **«Методика преподавания физики»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 4-28.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

1. Хахомов С. А., д-р физ.-мат. наук, доцент, ректор учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Открытие конференции

2. Самофалов А.Л., канд. физ.-мат. наук, заместитель декана факультета физики и информационных технологий

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Результат участия факультета физики и информационных технологий в программе Erasmus+. Проект «Совершенствование магистерского образования в области физических наук в белорусских университетах

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

3. 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»

Карпинский Д.В., канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению»

TRANSFERR: переход к ферромагнетикам с суперсвойствами

4. Сидский В.В., канд. техн. наук, научный сотрудник ПНИЛ ПМ, ассистент кафедры радиофизики и электроники,

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Применение золь-гель метода для синтеза сегнетоэлектриков

5. Русыкин А.С., аспирант

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Оптические и структурные характеристики золь-гель TiO_2 и SiO_2 покрытий, легированных редкоземельными элементами.

6. Москвичёв М.И., аспирант

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Золь-гель метод формирования нанодисперсных порошков на основе соединений кремния и переходных элементов.

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

**A. Lukoviak¹, W. Streck¹, O. Ignatenko², D. Karpinsky²,
V. Gaishun³, D. Kovalenko³, A. Semchenko³**

TRANSFERR: THE WAY TO THE SUPERFERROIC MATERIALS

¹Institute of Low Temperature and Structures Research PAN, Okolna st. 2,
Wroclaw, Poland

²Scientific-Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus,
P. Brovki str, 19, 220072, Minsk, Belarus

³F. Skorina Gomel State University, Sovetskaya 104, Gomel, 246019, Belarus

At present Francisk Skaryna Gomel State University together with colleagues from other organizations participates in the international project of HORIZON 2020 Maria Sklodowska-Curie Rise. The main goal of the project is development of complex oxides systems with superior functional properties by creating the novel class of materials by introducing structurally metastable states. Controllability of the functional parameters will be achieved using different chemical substituting schemes favoring the superior properties via modification of chemical bond character, variation of the structural parameters and controlling the defectiveness/stoichiometry of the compounds.

A need of efficient materials having outstanding functional properties with controllable characteristics and those which meet demanding ecological restrictions motives researchers to look at complex transition metal oxides with perovskite-like structure [1-3]. It is well known that manganites and ferrites possess several unique properties such as magnetization/magnetotransport and magnetoelectric coupling being enhanced near the structural phase boundaries.

Clarification of the exact structure and magnetic properties of nanoscale clusters is a tough technological and scientific challenge as the size of the nanoscale regions is smaller than the typical spot size for conventional X-ray diffractometers. Therefore, the diffraction patterns of different phases are overlapped making a determination of crystal structure to be extremely complicated. Moreover, local structural defects can significantly modify diffraction patterns and hamper structural analysis.

To overcome the declared difficulties the participants of the Project combine the macroscopic (X-ray, synchrotron and neutron diffraction) and local-scale (scanning probe and transmission electron microscopy, EXAFS/XANES) measurements. Investigations of magnetization, magnetoelectric coupling, dielectric and magnetotransport properties are also very important. Analysis of the crystal structure and physical properties under the external stimuli will extend the information about the phase stability and industrial perspectives of the samples. It is very important to bind data about the crystal structure and physicochemical properties of complex oxides with metastable state.

Particularly the three-phase coexistence region has been observed for the Pr-doped bismuth ferrite ceramics upon temperature increase by the participants from Ukraine and Belarus [4-6] using diffraction methods as well as HR-TEM microscopy (Figures 1, 2). The structural data analysis has confirmed the transformation of the anti-polar orthorhombic phase with temperature increase into the non-polar orthorhombic one (space group $Pnma$) via the phase coexistence state. This transformation is accompanied by a decrease of the unit cell volume of about 1%. It should be noted that this transition is in accordance with the group-subgroup relation between the appropriate space groups $Pbam$ and $Pnma$. Recently the participants from SPMRC have specified the temperature-driven structural transition in the RE (rare-earth)-doped compounds into the non-polar orthorhombic phase. The structural data obtained for the compounds with single phase rhombohedral structure stable at room testify a revival of the anti-polar orthorhombic phase with increasing temperature prior to the formation of the non-polar orthorhombic phase (Figure 2).

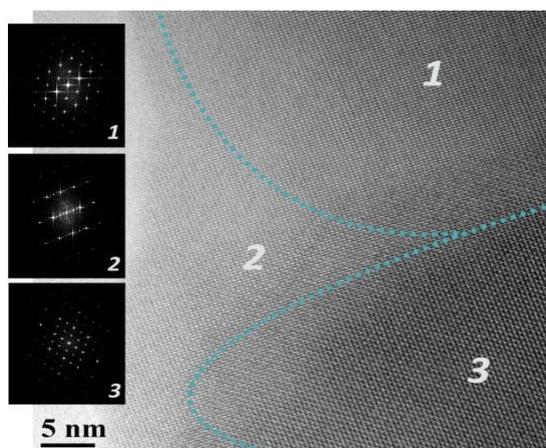


Figure 1 – HRTEM image of the $\text{Bi}_{0.875}\text{Pr}_{0.125}\text{FeO}_3$ at the phase boundary. The regions with different structural symmetry are marked by dot lines. Insets show FFT images of different structural phases

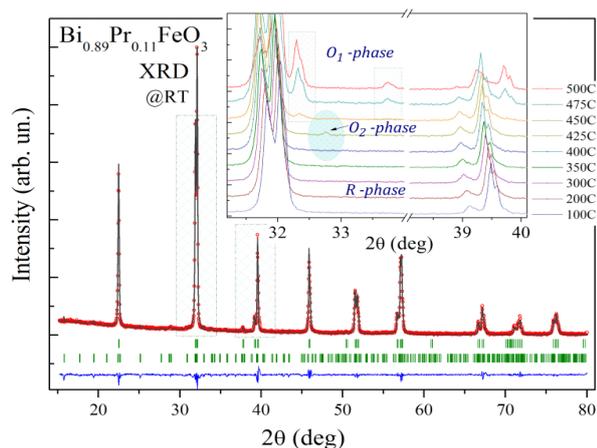


Figure 2 – The XRD pattern of the $\text{Bi}_{0.89}\text{Pr}_{0.11}\text{FeO}_3$ compound obtained at room temperature. The inset shows an evolution of the structural peaks, tiny peak attributed to the anti-polar phase is highlighted

This fact highlights intriguing phase evolution and related physical properties attributed to the compounds near the phase boundary regions. The participants consider a specific role of the anti-polar phase acting as a mediator between the polar rhombohedral and the non-polar orthorhombic phases across the temperature- and composition driven phase transition.

Taking these features into account one can suggest that the ionic size effect is not the only factor influencing the structural transitions. Preliminary investigations of the oxides doped with different rare-earth ions have revealed an ambiguous background underlying the observed phase transitions (chemical bond character, defects, structural peculiarities etc.).

The triple point appearance is a general feature of the Pr-doped compounds and the issues concerning their structural stability near the triple point are of particular interest. It should be noted that the triple-point-type morphotropic phase boundary was recently observed in ferroelectric solid solutions based on BiFeO_3 - PbTiO_3 and $\text{Ba}(\text{Ti}_{0.8}\text{Hf}_{0.2})\text{O}_3$ - $(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3$ systems. The detailed study of the structural parameters (unit cell parameters, bond lengths and angles) of the lead-free compounds with compositions near the phase boundary has fundamental significance and practical perspectives and will be implemented during the project realization.

Francisk Skaryna Gomel State University one of the largest scientific research and studying centre in Belarus which has rightfully received the recognition of national and international scientific society. High qualified specialists working in the field of technology of processing of materials, optimisation of technological processes, theoretical investigations of materials properties. Francisk Skaryna Gomel State University has accumulated extensive experience in the synthesis of ferroelectric structures by sol-gel method, and the achieved parameters are comparable with the parameters of samples obtained by vacuum methods. The original version of the sol-gel method is patented in the Eurasian Economic Union. The developed techniques can be used to synthesize other systems, such as ferromagnets.

The laboratories of the FSGSU are equipped with unique modern high technology equipment that will be used for powders and thin films preparation and their physical characterization. The staff of the university works in close cooperation with various leading research and educational institutions and has the experience of participation in the mobility and training programs as well as in introduction of the developed products to the international market.

The efficient knowledge transfer is a crucial issue for a multidisciplinary consortium (Figure 3) which has been formed in the frames of TRANSFERR project. Within the consortium the teams own the complementary knowledge which can be exchanged in a synergistic way mutually enriching the expertise and consequently the competitive advantages of all the involved partners. Each partner of the consortium will actively contribute to the planned objectives

along with knowledge exchange. The contribution of partners to the knowledge, the available experimental facilities, and expertise transfer are specified in other sections. The contributions of different partners will be based on their strongest expertise thus forming complementary competences.

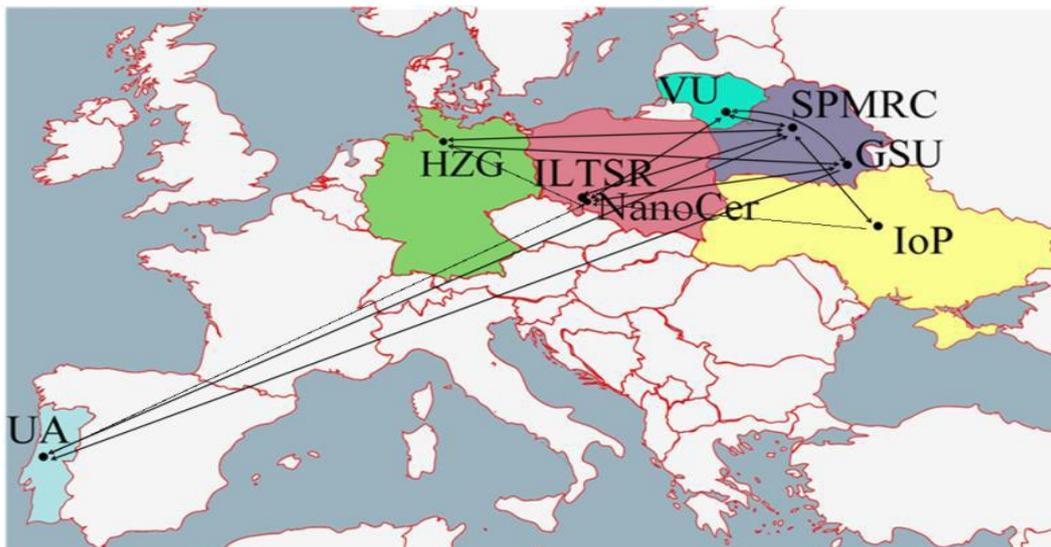


Figure 3 – Scheme of the researchers exchange between the participants

Bibliography

1. D. A. Rusakov, A. M. Abakumov, K. Yamaura, A. A. Belik, G. Van Tendeloo, E. Takayama-Muromachi, Structural Evolution of the BiFeO₃–LaFeO₃ System, *Chem. Mater.*, 23 (2010) 285.
2. S. Karimi, I. Reaney, Y. Han, J. Pokorny, I. Sterianou, Crystal chemistry and domain structure of rare-earth doped BiFeO₃ ceramics, *J Mater Sci*, 44 (2009) 5102-5112.
3. C. Zhou, W. Liu, D. Xue, X. Ren, H. Bao, J. Gao, L. Zhang, Triple-point-type morphotropic phase boundary based large piezoelectric Pb-free material–Ba(Ti_{0.8}Hf_{0.2})O₃–(Ba_{0.7}Ca_{0.3})TiO₃, *Appl. Phys. Lett.*, 100 (2012) 222910–222915.
4. D.V. Karpinsky, I.O. Troyanchuk, V. Sikolenko, V. Efimov, E. Efimova, M. Willinger, A.N. Salak, A.L. Kholkin, Phase coexistence in Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ ceramics, *J Mater Sci*, 49 (2014) 6937-6943.
5. D. V. Karpinsky, I. O. Troyanchuk, M. Tovar, V. Sikolenko, V. Efimov, E. Efimova, V.Ya. Shur, A.L. Kholkin, Temperature and Composition-Induced Structural Transitions in Bi_{1-x}La(Pr)_xFeO₃ Ceramics, *J. Am. Ceram. Soc.*, 97 (2014) 2631-2638.
6. D.V. Karpinsky, I.O. Troyanchuk, M. Tovar, V. Sikolenko, V. Efimov, A.L. Kholkin, Evolution of crystal structure and ferroic properties of La-doped BiFeO₃ ceramics near the rhombohedral-orthorhombic phase boundary, *J. Alloys Compd.*, 555 (2013) 101-107.

**В.В. Сидский¹, А.В. Семченко¹, А.Н. Морозовская²,
Н.В. Морозовский², А.Н. Петлицкий³, В.А. Солодуха**

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА ДЛЯ СИНТЕЗА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

¹УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,
246019, РБ, г. Гомель, ул. Советская, 104, sidsky@gsu.by

²Институт физики Национальной академии наук Украины, 46,
пр. Науки, 03028 Киев, Украина

³ОАО «ИНТЕГРАЛ», 220108, РБ, Минск, ул. Корженевского, 14

В учреждении образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» в Проблемной научно-исследовательской лаборатории перспективных материалов (ПНИЛ ПМ ГГУ) в течение ряда лет успешно используется золь-гель метод синтеза материалов с различными свойствами. Особое внимание уделяется получению функциональных покрытий для применения в микро- и наноэлектронике, исследованию их физико-химических свойств.

Порошки SBT, полученные из различных золь, представляет собой легко разрушаемую волокнистую структуру, характеризуются средним размером кристаллитов 13–29 нм. Все порошки SBT характеризуются наличием фазы перовскита. По причине текстурирования (ориентации зерен) в SBT-пленке интенсивность пиков (006) и (117) на углах 2θ , 21, 35° и 35,8° не соответствует интенсивности эталона стандартной фазы SBT. Из таблицы видно, что золи состава SBT2 и SBT4 обеспечивают максимальное содержание фазы перовскита в материале.

С целью отработки технологии изготовления золь-гель методом наноструктурированного танталата висмута-стронция для последующего формирования конденсаторных структур в дальнейшем применили раздельный гидролиз исходных компонентов SBT1 (этоксиды тантала, нитратов висмута и стронция), SBT2 (пентахлорида тантала, нитратов висмута и стронция). Из статистических данных для SBT-плёнок на поверхности монокристаллического кремния видно, что состав плёнообразующего раствора существенно влияет на размер зерен. На поверхности SBT-плёнок наблюдается образование зерен размером 100–140 нм.

При использовании золя состава SBT1 в плёнке наблюдается разброс зерен по размерам (от 80 до 140 нм). По результатам предварительных исследований, в качестве рабочего плёнообразующего раствора (золя) был взят золь SBT2.

При исследовании АСМ – изображений SBT пленок с использованием пентахлорида тантала, отожженных при различных температурах,

можно проследить изменение топографии поверхности, а также процесс образования зерен на поверхности SBT-плёнок в зависимости от температуры обработки. В результате термообработки при 800 °С размер зерен уменьшается до 80 нм по сравнению с температурой обработки 600 °С (110 нм). При увеличении температуры отжига до 750–800 °С, в результате поликристаллизации (рисунок) SBT- плёнок, наблюдаются образование довольно однородных по размерам зерен порядка 80–82 нм.

Эти данные согласуются с ростом остаточной поляризации и фазы перовскита в SBT-пленках, отожженной при температуре 750 °С. Также установлено, что размер кристаллитов с увеличением температуры растет.

Увеличение остаточной поляризации ($P_{ост}$), и коэрцитивной силы ($E_{коэр}$) в полученных золь-гель методом SBT-плёнках происходит при приближении стехиометрического соотношения между компонентами к расчетному, что ведёт к формированию структуры перовскита со сферической формой зерен. «Рабочим» ионом, обеспечивающим поляризационные свойства SBT-структур, является ион стронция.

При снижении его содержания ниже теоретически рассчитанного значение остаточной поляризации $P_{ост}$ резко падает, а размер зерна увеличивается до 116 нм (образец №5), что делает неэффективным использование SBT-структур данного состава в качестве конденсаторных пленок в энергонезависимой памяти. Образец с небольшим избытком висмута (1:2,3:2,0 Sr/Bi=0.52) имеет минимальную субшероховатость, по сравнению с остальными образцами, обладает небольшой коэрцитивной силой $E_{коэр} = 3,3 \text{ кВ/см}$, $P_{ост} = 2,4 \text{ мкКл/см}^2$. Зерно имеет квазисферическую форму с размером 103 нм, размер кристаллитов 13 нм. Учитывая вышесказанное, использование образца №4 (1:2,3:2,0 Sr/Bi=0.52) в качестве элемента энергонезависимой памяти более эффективно, чем образцов № 1, 2, 3, 5.

Теоретическое моделирование вольт-зарядных характеристик (ВЗХ) и вольтамперных характеристик (ВАХ) в сегнетоэлектриках-полупроводниках с подвижными заряженными донорами было проведено совместно с авторами в рамках континуальной феноменологической теории Гинзбурга-Ландау-Девоншира.

Граничные условия соответствовали идеальному омическому контакту пленки с электродами. Между электродами создавали переменное электрическое поле, которое изменялось по синусоидальному закону. Для этого к одному из электродов (верхний) прикладывали переменное напряжение $U(t) = U \sin(\omega t)$, второй электрод (нижний) оставался заземленным.

Таким образом, теоретическое моделирование показало, что увеличение концентрации подвижных доноров, в пленке сегнетоэлектрика приводит к увеличению коэрцитивного напряжения и росту проводимости.

В УО «ГГУ им. Ф. Скорины» совместно с ОАО «ИНТЕГРАЛ» предложена схема технических условий (рисунок) получения наноструктурированных сегнетоэлектрических пленок танталата ниобата висмута-стронция (технические условия 400011099.010-2011)

Полученная золь-гель методом сегнетоэлектрическая пленка соответствует требованиям, предъявляемым к ее использованию в качестве конденсаторного слоя для FRAM Проведены испытания золь-гель композиции Sr-Bi-Ta в производственных условиях ОАО «ИНТЕГРАЛ». Структуры обладали остаточной поляризацией до 8 мкКл/см^2 , что соответствует требованиям аналогов. С использованием указанной золь-гель композиции были изготовлены тестовые структуры типового представителя запоминающих устройств типа FeRAM.

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

ОПТИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ TiO_2 И SiO_2 ПОКРЫТИЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В последние годы достаточно активно развивается новое научное направление, связанное с синтезом и исследованием наноматериалов и тонких покрытий, к которым можно отнести наносистемы на основе редкоземельных металлов и флуоресцентных элементов. В Беларуси в последние годы резко повысился интерес к этой проблеме. Среди тонкопленочных и дисперсных систем перспективными являются материалы, полученные на основе редких окислов оксидов (TiO_2 , ZrO_2 , SiO_2 и др.) [1].

Функциональные материалы, синтезируемые золь-гель методом, получили широкое распространение в современной оптике и микроэлектронике. Использование золь-гель метода позволяет получать не только простые системы, но и сложные многокомпонентные системы, легированные частицами металлов, редкоземельных элементов. Пленки на основе диоксида титана имеют высокий потенциал применения в оптоэлектронике, в качестве просветляющих покрытий и прозрачных контактов при изготовлении солнечных элементов, в том числе за счет прозрачности в видимой области спектра и высокого коэффициента преломления. В связи с этим достаточно актуальным направлением сейчас является исследование оптических и структурных свойств тонких TiO_2 пленок, легированных некоторыми редкоземельными металлами [2].

Как известно, химические и некоторые другие свойства элементов определяются преимущественно строением внешних электронных уровней. Близость свойств редкоземельных металлов объясняется особенностями их электронного строения. По мере увеличения заряда ядра (увеличения порядкового номера) структура двух внешних электронных уровней (оболочки O и P) у атомов лантаноидов почти не изменяется, так как дополнительные электроны заполняют более глубоко лежащий 4f-уровень [3].

TiO₂ золь-гель пленки были получены из этоксида титана [Titan (IV) etoxide Ti(OC₂H₅)₄]. Частицы Ce и Ag вводили в золь в виде солей до концентрации частиц Ce – 1% и Ag – 1%. Пленки были сформированы на стеклянных и кремниевых подложках методом центрифугирования.

Отжиг полученных пленок производили в печи на воздухе при температурах от 200 °C до 800 °C в течении 60 минут.

Результаты исследования показателя преломления и толщины в зависимости от температуры отжига свидетельствуют об уменьшении показателя преломления (от 2.11 до 1.97) и толщины (от 160 нм до 90 нм) с повышением температуры, что обусловлено уплотнением пленочного покрытия и формированием кристаллической структуры. Добавление Ag приводит к увеличению показателя преломления до n = 2.24.

Исследование оптических характеристик полученных TiO₂ (Ce1%) и TiO₂ (Ce1%+Ag0.5%) показывает, что полученные пленки обладают высоким коэффициентом пропускания в видимой области спектра. Использование Ce позволяет получить коэффициент пропускания в области 430 нм близкий к 96%. Добавление серебра (Ag) приводит к смещению данного пика в область 400 нм (рисунок 1).

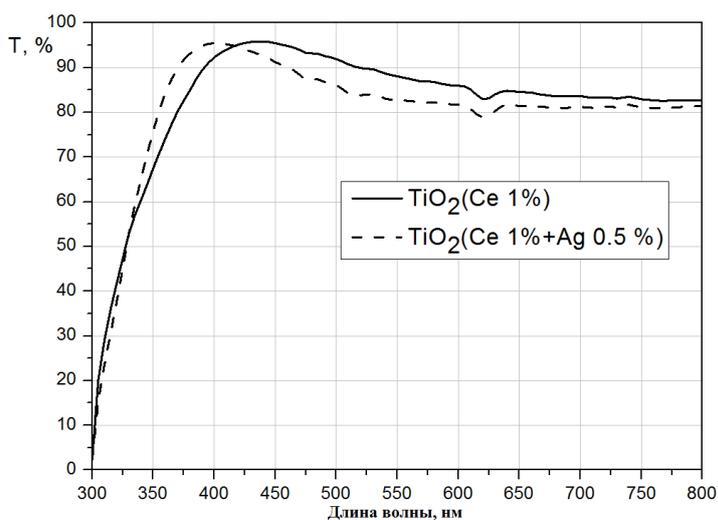


Рисунок 1 – Спектр пропускания легированных TiO₂ плёнок

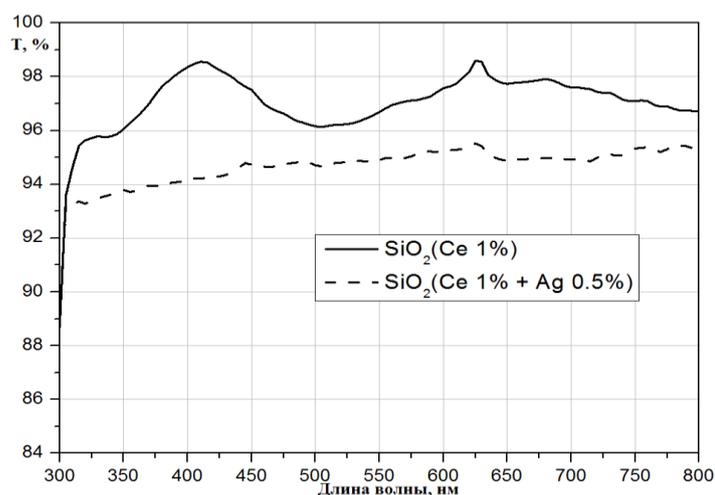


Рисунок 2 – Спектр пропускания легированных SiO₂ плёнок

Методом АСМ проведены исследования морфологии поверхности полученных легированных TiO₂ золь-гель покрытий. Поверхность образцов гладкая без видимых включений, имеет низкую шероховатость – 4–10 нм, что свидетельствует об оптической однородности полученных материалов.

Литература

1. Основы золь-гель технологии нанокompозитов / А.И. Максимов, В.А. Мошников, Ю.М. Таиров, О.А. Шилова. – СПб.: ООО «Техномедиа», изд-во «Элмор», 2008. – С.255.
2. Sumio Sakka, Hiromitsu Kosuka. Sol-gel science and technology // Processing characterization and applications. – Vol. 1: Sol-Gel processing. – P. 59-65, 331-334.
3. Haxel G., Hedrick J., Orris J. (2006). "Rare earth elements critical resources for high technology". Reston (VA): United States Geological Survey. USGS Fact Sheet: 087-02. Retrieved 2012-03-13.

М.И. Москвичёв (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
 Науч. рук. **В.Е. Гайшун**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ И ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Быстрое развитие в сфере высокотехнологичных керамических изделий с новыми и многообещающими применениями в широких областях привело к созданию различных способов и технологий получения порошков с новыми функциональными возможностями.

Золь-гель метод позволяет получать мелкодисперсные порошки при более низких температурах, в сравнении с традиционными методами получения порошков из твердой фазы. Для получения мелкодисперсных порошков различных соединений посредством золь-гель метода был разработан образец экспериментальной установки, схема которого, представлена на рисунке 1.

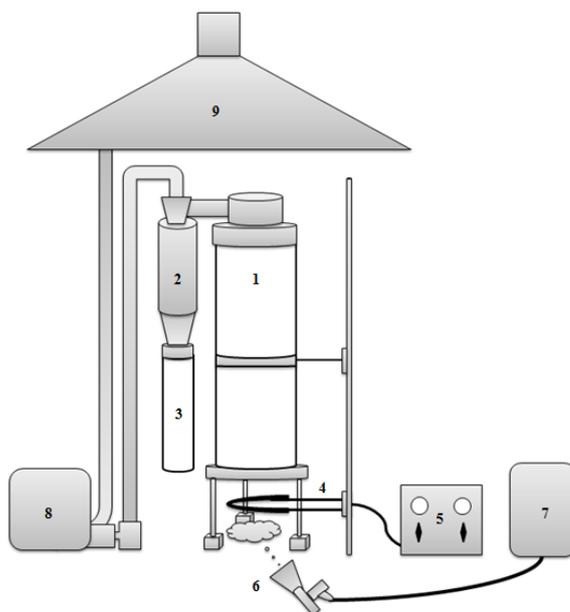


Рисунок 1 – Схема установки для получения мелкодисперсных порошков посредством золь-гель метода (1 – кварцевая труба; 2 – улавливатель-циклон; 3 – емкость для накопления порошка; 4 – спираль нагрева; 5 – лабораторный автотрансформатор; 6 – пистолет распылителя; 7 – компрессор распылителя; 8 – компрессор улавливателя; 9 – вытяжка)

Для получения золь, содержащих соединения церия, использовался хлорид церия (III). Хлорид церия представляет собой бинарное неорганическое соединение, соль металла церия и соляной кислоты с формулой CeCl_3 , бесцветные кристаллы, растворимые в воде. Требуемое количество хлорида церия смешивали с безводным изопропиловым спиртом и водным раствором соляной кислоты и перемешивали. Приготовленный золь выдерживали при комнатной температуре в течение нескольких суток.

Для получения золь, содержащих соединения титана, был использован этоксид титана. Требуемое количество этоксида титана смешивали с безводным изопропиловым спиртом, добавляли в полученную смесь водный раствор соляной кислоты и перемешивали. Так как протекание реакции гидролиза в системах на основе алкоксидов титана требует много времени, приготовленный раствор выдерживали при

комнатной температуре в течение 5-7 суток. После созревания в полученный раствор вводили соли хлорида цинка от 1 масс.% до 5 масс.% и выдерживали раствор еще сутки для стабилизации кислотно-щелочного баланса [1].

Получение мелкодисперсных порошков осуществлялось следующим образом: приготовленный золь распыляется в ручном режиме на раскаленную докрасна спираль нагрева установки, где происходит воспламенение и выгорание спирта. В результате образуются частицы, имеющие сферическую форму. Улавливание частиц, выносимых тепловым потоком вверх, осуществляется с помощью воздухоочистителя циклонного типа, расположенного над трубой.

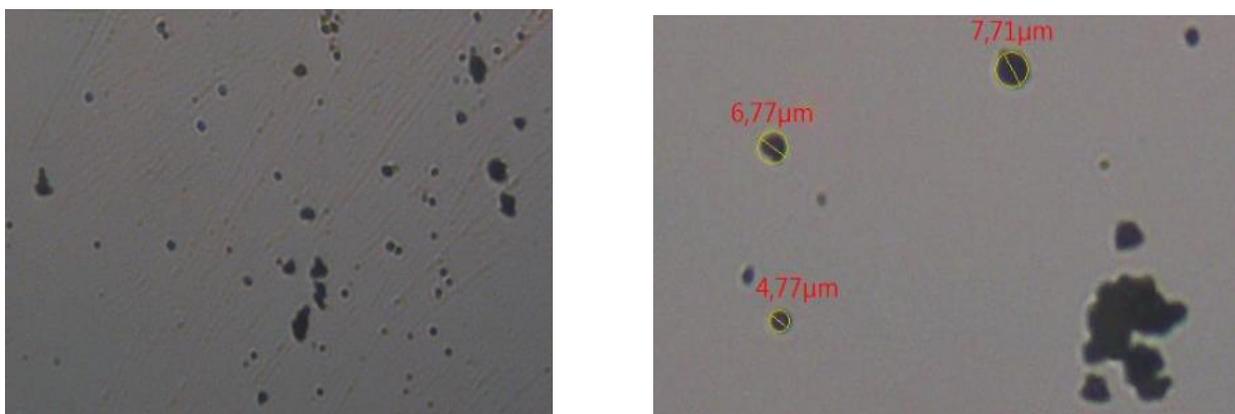


Рисунок 2 – Изображение мелкодисперсных частиц на основе соединений титана, полученное с помощью металлографического микроскопа XJM500B

Используя разработанную установку, становится возможным получение мелкодисперсных порошков различных соединений, в том числе и переходных металлов. Процесс получения сферических мелкодисперсных порошков с помощью данной установки не требует больших энергозатрат и не имеет сложных технологических операций.

Литература

1. Наноструктурированные фотокаталитические золь-гель покрытия на основе титана / В.В.Васькевич [и др.] // Проблемы физики, математики и техники 2015. – № 4 (25). – С. 7–10.

Секция 1. Новые материалы и технологии

Председатели:

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

М.Ф.С.Х. Аль-Камали (ГГТУ имени П.О.Сухого, Гомель)

Науч. рук. **А.А. Алексеенко**, канд. техн. наук, вед. науч. сотр. НИЧ,
заведующий (научный руководитель) НИЛ «Техническая керамика
и наноматериалы»

ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ИХ СТРУКТУРИРУЮЩЕЙ ТЕРМООБРАБОТКИ В КОНТРОЛИРУЕМЫХ ГАЗОВЫХ СРЕДАХ

Наноструктурированные материалы типа металл-диэлектрик и полупроводник-диэлектрик в последнее время интенсивно исследуются благодаря своим уникальным характеристикам, обусловленным присутствием частиц сверхмалого размера и связанными с ними оптическими и нелинейно-оптическими свойствам. Химически инертные силикатные (кварцевые) и алюмосиликатные стекла позволяют формировать в своей структуре наночастицы металлов или полупроводников и интересны с точки зрения последующих оптических приложений.

Получение стеклообразных силикатных матриц (стекло, порошков и пленок), содержащих наночастицы неорганических соединений традиционным методом сплавления компонентов, представляет собой сложную технологическую задачу. Формирование наноразмерной фазы таким способом происходит обычно в процессе температурной наводки, т.е. при вторичных физико-химических процессах после получения основной стеклянной матрицы. Размер и стехиометрический состав активных кристаллических центров в сложных стеклах в этом случае (т.е. сам процесс их формирования), непосредственно определяется химическим составом основной матрицы. Одной из важных проблем этой технологии является необходимость применения в некоторых случаях высокотемпературной обработки шихты (до 1400–700 °С) в контролируемой газовой среде, что сужает круг возможных соединений, которые могут быть введены в конечную матрицу-носитель.

Для получения наноструктурированных силикатных материалов (кварцевых пленок и стекол) применялся золь-гель метод (см. рисунок 1), позволяющий осуществлять локальное формирование наночастиц

различной химической природы, включающий стадии термообработки в контролируемой газовой среде и завершающийся получением материала высокого оптического качества или имеющего упорядоченную структурированную поверхность (для пленок). В нашем случае, основой матрицы получаемых материалов является химически инертная аморфная фаза диоксида кремния, сформированная гидролизом и поликонденсацией кремнийорганических соединений, выгодно отличающаяся от традиционных стекол со щелочными компонентами и другими элементами, изменяющими ее свойства.

Формирование золя (гидролиз ТЭОС): $\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$	
СТЕКЛА	ПЛЕНКИ
Добавление твердого наполнителя	Формирование пленкообразующего золя
Отделение крупных агломератов частиц	Легирование золя
Легирование	Фильтрация золя
Гелирование	Нанесение золя на подложку
Термообработка в контролируемой газовой среде	Сушка
Спекание ксерогелей до монолитных стекол, содержащих наночастицы различного фазового состава ($T \approx 1200^\circ\text{C}$)	Термообработка в контролируемой газовой среде (получение наночастиц на поверхности пленок)

Рисунок 1 – Блок-схема последовательности этапов получения наноструктурированных материалов с применением золь-гель метода

В виде веществ-допантов брались растворимые соли благородных металлов (меди и серебра), которые вводились в золь-гель матрицу либо на стадии формирования золя-прекурсора, либо в получаемые пористые среды из диоксида кремния (ксерогели) – посредством их пропитки в спиртовом растворе. Последующая термообработка на воздухе приводила к формированию матриц, содержащих оксокомплексы металлов, которые в результате восстановления в водороде переходили в состояние отдельно локализованных металлических наночастиц. Дополнительная обработка материалов состава $\text{Cu}^0(\text{Ag}^0):\text{SiO}_2$ в среде сероводорода или парах серы (селена) вызывала формирование наночастиц сульфидов (селенидов) указанных металлов сложного стехиометрического состава. В течение процесса формирования таких частиц также происходят дальнейшие изменения в самих матрицах, которые остаются

аморфными (стеклообразными), но их развитая пористая структура оказывает значительное влияние на локализацию и конечное состояние «выращиваемых» наночастиц.

Концентрация наночастиц в стеклах составляла порядка 10^{12} – 10^{13} м⁻³, а в пленках она была увеличена на 1–2 порядка. Во всех случаях могли быть созданы условия синтеза отдельно локализованных микро- и наночастиц, фазовый и элементный состав которых определялся методами рентгеновской дифракции и РЭМ (микроанализом состава поверхности исследуемого материала).

А.В. Астрейко (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)

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

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОЧИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ТОЛЩИНУ ФОРМИРУЕМОГО ПОКРЫТИЯ

При волочении проволоки применяются волокнистые инструменты, которые могут иметь одну из следующих форм рабочей зоны: коническую, радиальную выпуклую, радиальную вогнутую и сигмоидальную форму.

В настоящее время по рекомендации большинства специалистов наибольшее распространение получили волокнистые инструменты с конической формой рабочей зоны.

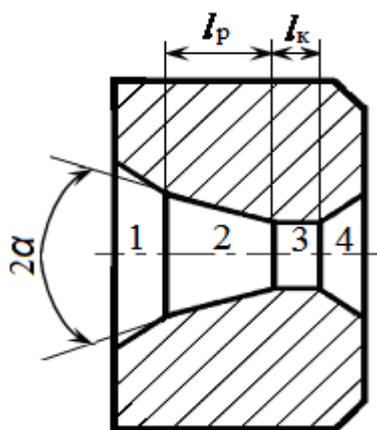


Рисунок 1

Согласно [1], канал волоки (рисунок 1) в направлении волочения делится на четыре зоны: входная зона 1, рабочая зона 2, калибрующая зона 3 и выходная зона 4.

Анализируя назначения этих зон, можно прийти к выводу, что существенное влияние на процесс формирования покрытия из металлического порошка на проволоке будет оказывать рабочая зона, которая характеризуется углом 2α и длиной l_p .

Для установления влияния угла рабочего конуса волокни 2α на толщину формируемого покрытия были изготовлены три партии волок из стали X12, которые имели длину рабочей зоны $l_p = 8,5$ мм.

Первая партия волочильного инструмента характеризовалась тем, что угол рабочей зоны волок изменялся от угла $2\alpha = 6^\circ$ до угла $2\alpha = 22^\circ$, а диаметр калибрующей зоны составлял $d_k = 3,8$ мм.

Вторая партия волочильного инструмента отличалась от первой тем, что был увеличен диаметр калибрующей зоны волокни с $d_k = 3,8$ мм до $d_k = 5,0$ мм и был увеличен диапазон углов рабочей зоны волокни от угла $2\alpha = 4^\circ$ до угла $2\alpha = 30^\circ$.

При проведении экспериментов осуществляли формирование покрытий из порошка марки ПО2 на проволоку марки М1, у которой ее исходный диаметр d был равен диаметру калибрующей зоны волокни d_k . Используя волокни первой партии, осуществляли формирование покрытия на проволоку с исходным диаметром $d = 3,8$ мм. Скорость волочения проволоки в данном эксперименте поддерживалась постоянной и была равна $V = 0,074$ м/с.

В результате замеров толщины покрытия на микрошлифах, изготовленных из образцов при использовании первой партии волок, были получены результаты, которые приведены на рисунке 2.

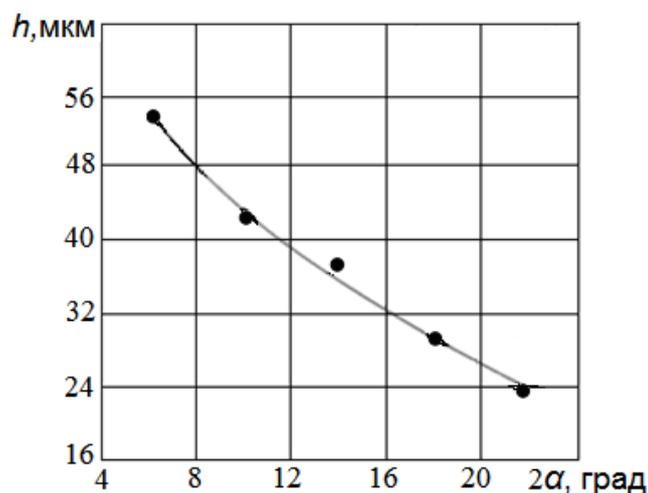


Рисунок 2

Из приведенного графика видно, что с увеличением угла рабочей зоны волокни толщина покрытия уменьшается.

При использовании волочильного инструмента второй партии осуществляли формирования покрытий на проволоку с исходным диаметром $d = 5$ мм при различных скоростях волочения.

При обработке результатов экспериментов были получены результаты, которые представлены на рисунке 3.

Характер изменения толщин покрытия имеет аналогичный вид, что и в первом случае. Однако толщина порошкового покрытия при скорости волочения $V = 0,03$ м/с (кривая 1) больше, чем при скорости волочения $V = 0,134$ м/с (кривая 2).

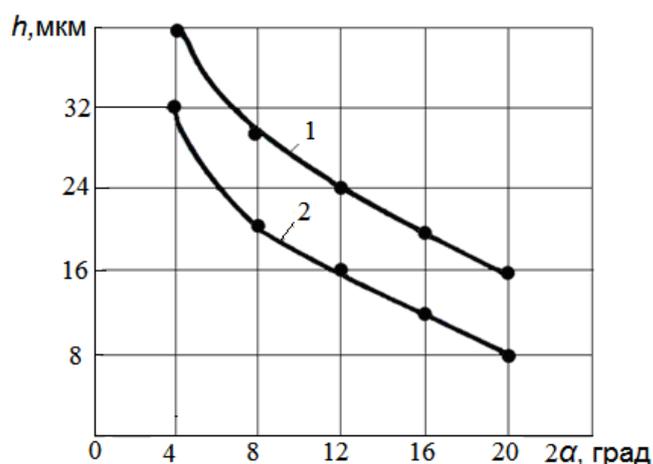


Рисунок 3

С целью определения влияния длины рабочей зоны l_p волокна на толщину формируемого покрытия были изготовлены волокна с углом рабочей зоны $2\alpha = 8^\circ$, с диаметром калибрующей зоны волокна $d_k = 5,0$ мм, но с различной длиной рабочей зоны.

Скорость волочения при формировании покрытий поддерживалась постоянной и была равна $V = 0,106$ м/с. В результате обработки экспериментальных данных были получены результаты, представленные на рисунке 4.

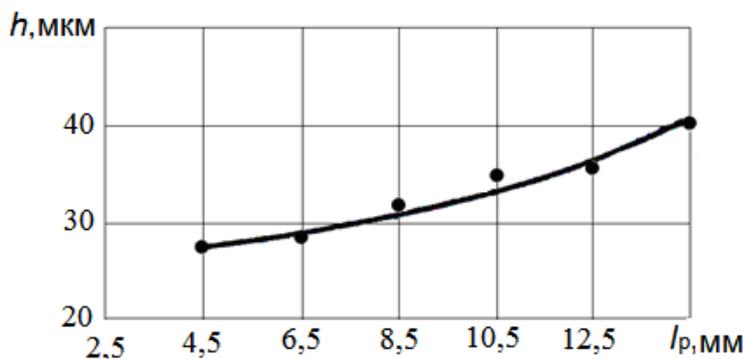


Рисунок 4

В результате проведенных экспериментов было установлено, что увеличение угла рабочей зоны волокна и скорости волочения, приводит к уменьшению толщины формируемого покрытия. Применение волоочильного инструмента с удлиненной рабочей зоной позволяет увеличить толщину слоя покрытия на проволоке.

Литература

1. Перлин И.Л. Теория волочения / И.Л. Перлин, М.З. Ерманок. – Изд. 2-е. – М.: Металлургия, 1971. – 448 с.

Ю.В. Аутко (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

Важнейшим компонентом композиционного материала, определяющим параметры его эксплуатационных и технологических характеристик, является полимерная матрица или связующее. В машиностроении для формирования функциональных покрытий тяжело нагруженных узлов трения в качестве матричного компонента широко применяют алифатические полиамиды, обладающие благоприятным сочетанием адгезионно-прочностных, триботехнических и реологических характеристик [1, 2]. Для улучшения эксплуатационных, в том числе триботехнических, характеристик композиционных материалов для полимерных покрытий наибольшее распространение получили наночастицы меди. Вместе с тем, сфера практического применения наноматериалов на промышленных предприятиях машиностроительного профиля достаточно ограничена в связи с существующими сложностями введения и распределения наночастиц в матричном полимерном компоненте, предполагающими использование сложного технологического оборудования. Особый научный и практический интерес представляет метод диффузионной обработки полимерных матриц в растворах солей металлов, характеризующийся высокой технологичностью и простотой его реализации [3].

Целью исследований являлась разработка составов композиционных материалов на основе алифатических полиамидов с применением технологии диффузионного насыщения наночастицами металлов.

Объектами исследований выступали функциональные покрытия из алифатических полиамидов марок: ПА 6-210/310 низковязкий (Филиал «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот»), PA11 Rilsan (Arkema, Франция). Модифицирование матричного термопластичного компонента

наночастицами меди осуществляли диффузионным насыщением порошка полиамида ПА 6 10 %-ым раствором формиата меди при температуре 50 °С в течение 5 часов.

Дисперсные частицы полиамида 11 применяли в состоянии поставки в виде порошка с размером частиц до 80 мкм. Порошкообразные частицы полиамида ПА 6 получали криогенным измельчением в мельнице роторного типа при температурах жидкого азота (минус 198 °С). Необходимую фракцию полиамида ПА 6 (80–180 мкм) получали отсевом.

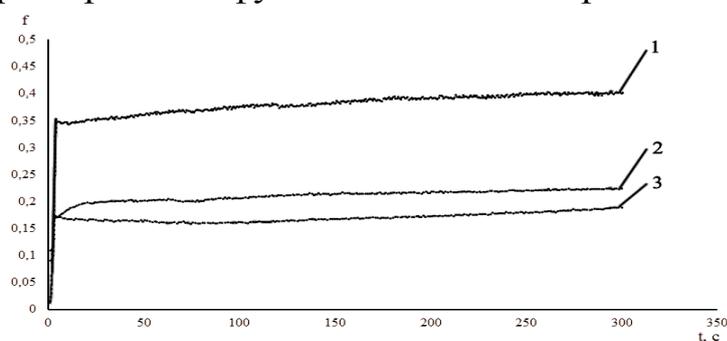
Функциональные покрытия формировали на поверхности твёрдого субстрата (сталь 45) в псевдооживленном слое порошка.

Параметры эксплуатационных характеристик разработанных функциональных материалов (адгезионно-прочностных, триботехнических и защитных) оценивали по стандартным методикам в соответствии с действующей нормативной документацией.

Предложенный диффузионный механизм введения наноразмерных частиц меди в полимерную матрицу имеет особую перспективу практического применения, т.к. характеризуется простотой и доступностью технических операций для достижения технически значимого эффекта по сравнению с другими технологиями, например, смешения.

Результаты коррозионных испытаний показали, что введение наночастиц меди в состав функциональных покрытий из разработанных композиционных материалов на основе полиамида ПА 6 повышает стойкость против коррозии металлических образцов (изделий). Исследование адгезионных характеристик полимерных покрытий свидетельствует об увеличении параметров адгезионной прочности при введении в состав композита наночастиц меди. Проведенные испытания на ударную прочность показали, что композиционные покрытия на основе полиамида ПА 6, модифицированного наночастицами меди в количестве 0,1 мас. %, обладают достаточно высокими параметрами прочностных характеристик.

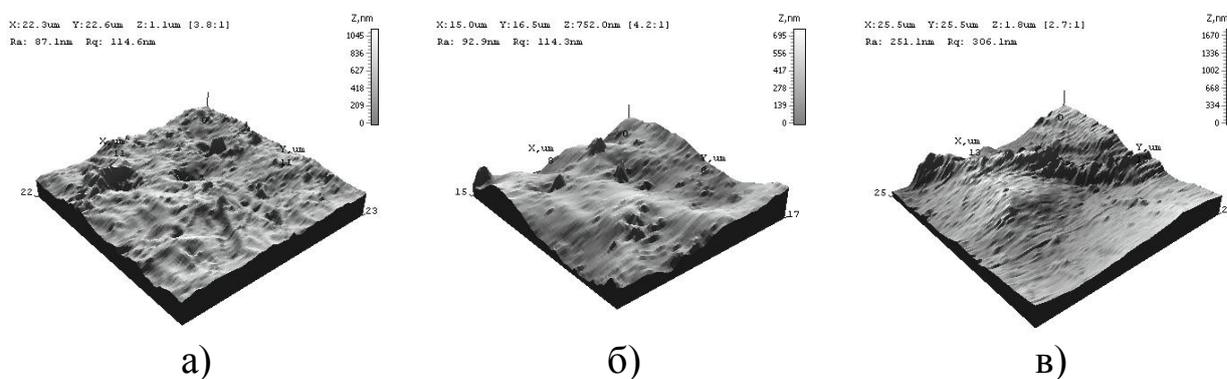
Триботехнические испытания функциональных покрытий (рисунок 1) свидетельствуют о благоприятном модифицирующем действии на триботехнические характеристики функциональных покрытий наночастиц меди.



1 – ПА6; 2 – ПА6+0,1 мас. % Cu; 3 – ПА11

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента трения от времени для покрытий из композиционных материалов на основе алифатических полиамидов

Наблюдается снижение коэффициента трения композиционных покрытий, модифицированных наночастицами меди, в 1,75 раз и увеличение износостойкости в 3 раза по сравнению с покрытиями, сформированными из полиамида ПА6. Морфологические особенности функциональных покрытий на основе алифатических полиамидов представлены на рисунке 2.



а) – ПА 6; б) – ПА 6+0,1 мас. % Cu; в) – ПА 11;

Рисунок 2 – АСМ-изображения морфологии поверхности полимерных покрытий из алифатических полиамидов

Таким образом, разработаны составы наноконпозиционных материалов на основе полиамида ПА 6 отечественного производства для функциональных покрытий автомобильных агрегатов с повышенным эксплуатационным ресурсом. Предложенная технология диффузионной обработки порошкообразного матричного компонента (полиамида) в 10 %-ном растворе формиата меди позволила достичь синергического эффекта повышения параметров адгезионно-прочностных, триботехнических и защитных характеристик функциональных покрытий. Разработанные составы и технологию формирования функциональных покрытий для автомобильных агрегатов можно рекомендовать в качестве альтернативы импортного аналога на основе полиамида ПА 11 под торговой маркой Rilsan.

Литература

1. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение: монография / В.И. Кравченко, Г.А. Костюкович, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. – Минск : Технопринт, 2006. – 410 с.
2. Струк, В. А. Трибохимическая концепция создания антифрикционных материалов на основе многотоннажно выпускаемых полимерных связующих: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01 / В.А. Струк. – Минск, 1988. – 325 л.
3. Мачюлис, А.Н. Диффузионная стабилизация полимеров / А. Н. Мачюлис, Э.Э. Торнау. – Вильнюс : Минтис, 1974. – 256 с.

А.В. Береснева (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **В.А. Струк**, д-р техн. наук, профессор

СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Современное машиностроение характеризуется повышенными параметрами эксплуатационного ресурса машин, механизмов, транспортной техники при одновременном увеличении нагрузочно-скоростных режимов требований по безопасности. Поэтому в конструкциях функциональных элементов (конструкционных, триботехнических, адгезионных) всё большее применение находят изделия из композиционных материалов, содержащие функциональные модификаторы различного механизма действия, которые формируют структуру, устойчивую к действию эксплуатационных факторов – повышенных нагрузок, скоростей, температур, активных сред [1, 2].

В широкой номенклатуре функциональных композитов с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик особое место занимают смесевые материалы, полученные совмещением матричного и легирующего компонентов, которые различаются составом, строением, молекулярной массой. Широко распространены смесевые машиностроительные композиты на основе термопластичных матриц вследствие доступности сырьевых компонентов, технологичности изготовления и переработки и возможности регулирования параметров деформационно-прочностных, триботехнических, адгезионных и других характеристик в широком диапазоне значений.

Рассмотрены особенности структуры композиционных материалов на основе смесей термопластичных полимеров класса алифатических полиамидов, различающихся строением макромолекулярной цепи, теплофизическими и реологическими характеристиками – ПА6, ПА 6.6, ПА11, ПА12. Материалы для исследований использовали в состоянии промышленной поставки в виде порошков или гранул. При необходимости порошкообразные фракции получали механическим измельчением гранул, охлаждённых до температуры жидкого азота (минус 198 °С). Особенности фазового состава и структуры смесевых композитов исследовали методом дифференциально-термического анализа на приборе Termoflex при скорости нагрева (5÷10) град/мин. Образцы для исследования изготавливали методом осаждения порошкообразной смеси на твёрдую подложку с последующим статическим оплавлением при температурах $T_{\text{п}} = T_{\text{пл}} + (10-20) \text{ } ^\circ\text{C}$, где $T_{\text{пл}}$ – температура плавления более тугоплавкого (матричного) компонента (технология СО). Вторым вариантом технологии совмещения было перемешивание компонентов

в вязко-текучем состоянии в материальном цилиндре литьевой машины со шнековым пластикатором (технология ЛМ) при режимах, рекомендованных для переработки матричного полимера методом литья под давлением. Третьим вариантом получения смесевых композитов являлось смешивание компонентов в вязко-текучем состоянии в двухшнековом смесителе с последующей переработкой композита в литьевой машине со шнековым пластикатором (технология СМЛМ).

Оценку параметров смешивания оценивали по результатам исследования деформационно-прочностных характеристик композитов с использованием стандартных образцов. Анализ особенностей структуры смесевых композитов, полученных по различным технологиям свидетельствует о возможности эффективного управления параметрами эксплуатационных характеристик изделий различного функционального назначения.

При реализации технологии СО формируется характерная гетерофазная структура композита с выраженной локализацией легирующей фазы (ПА11, ПА12) в матричном полиамиде (ПА6, ПА6.6). При этом благодаря высокой термодинамической совместимости компонентов формируется структура с граничными слоями между фазами значительной толщины, что обусловлено межфазным взаимодействием расплавов с образованием совмещённой матрицы. Подобная структура композита сохраняет повышенные значения параметров эксплуатационных характеристик матричного полиамида (ПА6, ПА6.6) и придаёт покрытию повышенную износостойкость при фрикционном взаимодействии при отсутствии или ограничении смазки благодаря наличию легкоплавкого компонента (ПА11, ПА12).

Для изделий преимущественно конструкционного назначения целесообразно использование композитов, полученных по технологии ЛМ. В результате механохимических взаимодействий расплавов матричного и легирующего компонентов в материальном цилиндре термопластавтомата со шнековой пластикацией формируется гетерофазная структура с достаточной макрооднородностью вследствие взаимодиффузии макромолекул ПА6 (ПА6.6) и ПА11 (ПА12) и образования граничных слоёв из совмещённых смесей. Благодаря этому обстоятельству формируется малодефектная структура с повышенной устойчивостью к воздействию динамических напряжений и повышенных температур эксплуатации. Благодаря широкому распространению технологии литья под давлением возможно изготовление широкого марочного ассортимента изделий из смесевых композитов на основе алифатических полиамидов.

Реализация технологии СМЛМ позволяет получить смесевые композиты с повышенной структурной однородностью, в которых легирующий компонент (ПА11, ПА12) заполняет дефекты структуры матричного

компонента (ПА6, ПА6.6), способствует формированию гетерофазного композита с повышенными параметрами деформационно-прочностных, триботехнических характеристик и стойкости к тепловому старению.

Эффект совместимости при реализации различных технологий (СО, ЛМ, СМЛМ) усиливается при введении в межфазные слои наноразмерных модификаторов различного состава, строения и технологии получения.

Проведенные исследования позволили разработать рекомендации по использованию технологии совмещения для получения изделий заданного функционального назначения с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик.

Литература

1. Полимерные смеси: в 2 т. / пер. с англ.; под ред. Д.Р. Пола, К.Б. Бакнелла. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – Т. 1: Систематика. – 616 с., Т. 2: Функциональные свойства. – 605 с.

2. Струк, В.А. Трибохимическая концепция создания антифрикционных материалов на основе многотоннажно выпускаемых полимерных связующих: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01 / В.А. Струк; Белорусский политехнический институт. – Минск, 1988. – 325 с.

М.В. Бобкова (БГУ, Минск)

Науч. рук. **Е.А. Мельникова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ С ЗАДАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ ФАЗОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННО СТРУКТУРИРОВАННЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В настоящее время анизотропные жидкокристаллические (ЖК) элементы широко используются для отображения оптической информации, а также для управления световыми пучками и их преобразования. Актуальным является получение управляемых ЖК элементов, позволяющих преобразовывать линейно поляризованный световой пучок в пучок с азимутальной или радиальной поляризацией. Такие световые поля находят применение при лазерной обработке материалов, например, при лазерной резке, когда имеет место существенная зависимость эффективности воздействия лазерного излучения на материалы от поляризационной структуры светового поля [1].

При выполнении представленной работы разработан, изготовлен и исследован электрически управляемый ЖК элемент для формирования радиальной и азимутальной поляризации светового пучка. Как известно, направление оптической оси в планарно ориентированном слое нематического жидкого кристалла определяется направлением директора молекул ЖК и может изменяться путем воздействия внешнего электрического поля [2]. Разработанный элемент представляет собой электрически управляемую двулучепреломляющую ЖК пластину с неоднородным структурированным распределением локальной оптической оси. Топология ориентации директора ЖК в плоскости пластинки определена таким образом (рисунок 1, а), что при значениях набега фазы между обыкновенным и необыкновенным лучами равным $\Delta\Phi = \pi(2n+1)$ элемент функционирует как полуволновая пластинка, формирующая радиальную поляризацию светового пучка (рисунок 1, б). Значение фазового набега контролируется внешним напряжением. В качестве ориентирующего покрытия в работе использовался азокраситель Ata-2 [3], в тонкой пленке которого при воздействии линейно поляризованного света длиной волны 440 нм формируется поверхностная анизотропия. Данный азокраситель имеет высокую энергию сцепления с молекулами ЖК, обладает термо- и фотостабильностью.

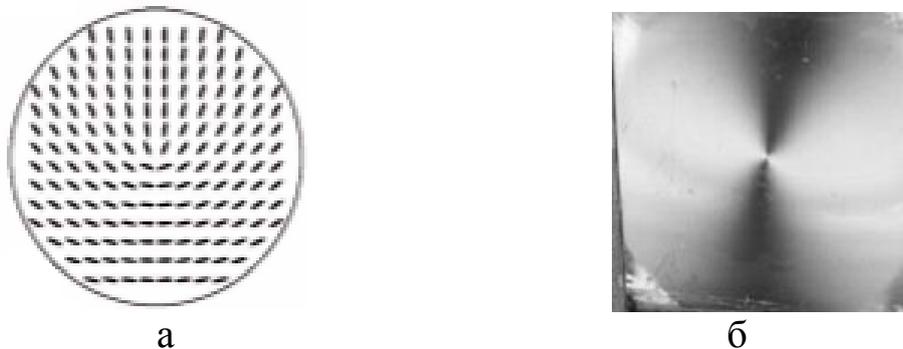


Рисунок 1 – Пространственное распределение директора жидкого кристалла и фотография прошедшего через ЖК ячейку излучения в скрещенных поляризаторах

Для создания ЖК элемента с топологией директора, обеспечивающей радиальное преобразование поляризации пучка, была создана установка, которая состоит из светодиода, двух компьютерно управляемых вращателей (с поляризатором и образцом) и щели в виде сектора в два градуса, через который происходила однородная засветка ячейки. Экспонирование одного сектора проводилось в течение 20 секунд линейно поляризованным излучением с длиной волны 440 нм и интенсивностью 15 мВт/см^2 , при этом угловая скорость вращения поляризатора была в два раза меньше, чем угловая скорость вращения образца.

Экспериментальные результаты преобразования пространственной структуры светового пучка на выходе ЖК элемента приведены на рисунке 2.

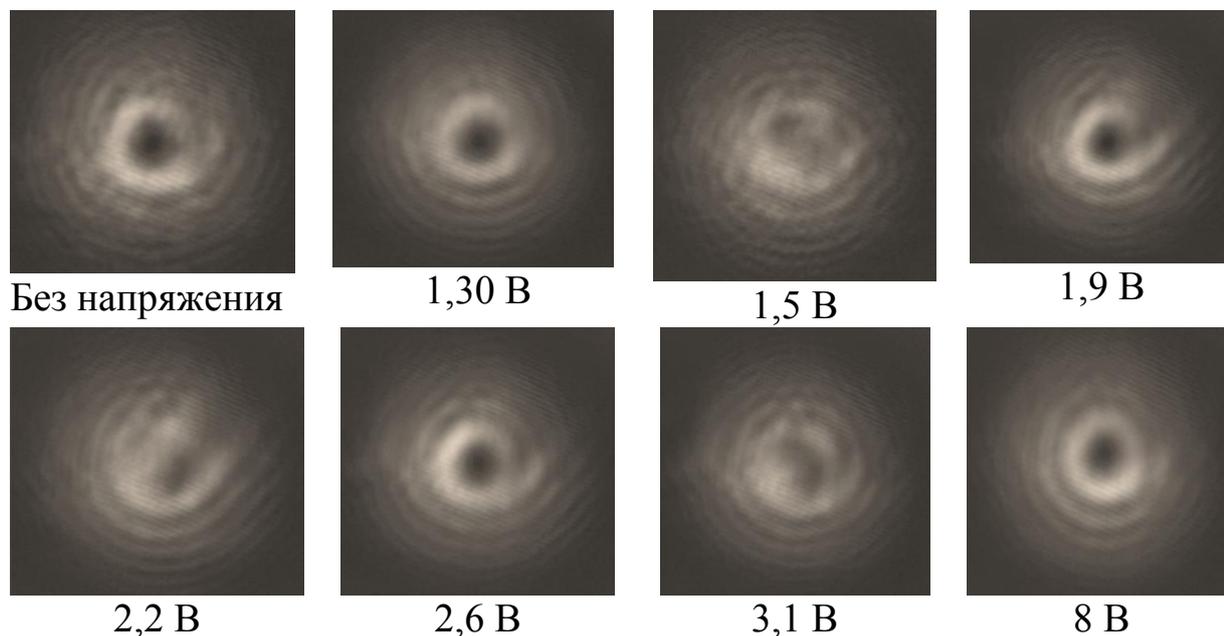


Рисунок 2 – Сечение профиля гауссова светового пучка после прохождения через жидкокристаллический анизотропный элемент при различных значениях приложенного к ЖК ячейке напряжения

На жидкокристаллический элемент направлялось излучение гелий-неонового лазера на длине волны 632,8 нм. Для управления анизотропией на ЖК ячейку подавалось внешнее напряжение, величина которого изменялось от 0 до 8 В, что отвечало значениям напряженности электрического поля до 4 кВ/см при толщине слоя жидкого кристалла 17 мкм.

Как видно из представленных на рисунке 2 результатов, линейно поляризованной лазерный пучок с гауссовым распределением интенсивности, пройдя через ЖК элемент, может иметь различную картину распределения интенсивности в сечении пучка в зависимости от приложенного напряжения. Наличие провала интенсивности в центральной части сечения пучка, свидетельствует о радиальной поляризации светового поля. Как видно из рисунка 2, формирование пучка с радиальной поляризацией соответствует определенным значениям внешнего электрического напряжения. Как показали экспериментальные исследования зависимости величины двулучепреломления от приложенного на ЖК ячейку напряжения, эти значения совпадают со значениями напряжений, которые соответствуют фазовому набегу между обыкновенным и необыкновенным лучами $\Delta\Phi = \pi(2n+1)$.

Таким образом, разработанный ЖК- элемент со сложной топологией начальной ориентации директора ЖК позволяет осуществлять электрически контролируемое преобразование поляризации лазерного излучения.

Литература

1. Niziev, V. G. Influence of beam polarization on laser cutting efficiency / A. V. Nesterov, V. G Niziev. – J. Phys. – 1999. – Vol. 32. – pp 1455–1461.
2. Блинов, Л. М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. – М.: Наука, 1928 – 384 с.
3. Mikulich, V.S. Influence of Methyl Substituents on Azo-Dye Photoalignment in Thin Films / V.S Mikulich. An.A. Murauski, Al.A. Muravsky, V.E. Agabekov. – J. Appl. Spectr. – 2016. – Vol. 83, No. 1. – pp. 115–120.

А.И. Бобров (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.В. Бабкин**, директор ООО «Айтибо»

РАЗРАБОТКА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЗАПОЛНЕННОСТИ ПАРКОВОК

В современном мире, в большинстве развитых стран, у каждой семьи имеется автомобиль, поэтому крайне остро стоит вопрос о месте стоянки автомобиля. Возле крупных компаний существует определенное количество стоянок для автомобилей, однако из-за отсутствия какого-либо бронирования мест, а также, зачастую, отсутствия достаточного количества мест возникает проблема нахождения свободного места. В результате, на поиски парковочного места теряется время, которое могло бы быть использовано продуктивно. Оптимально было бы заранее оповещать водителей о том, есть ли свободные места на выбранной парковке. Для этого необходима система, которая с помощью камеры бы фиксировала парковки, и основываясь на полученных данных, распознавала бы свободные места.

Целью работы является создание программного продукта, реализующего модель нейронной сети, предназначенного для определения свободных парковочных мест. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить предметную область задачи.
2. Изучить теоретические основы применения нейронных сетей, типы нейронных сетей для решения различных классов задач.
3. Изучить методы построения и применения интеллектуальных систем поиска и классификации на основе нейронных сетей.

4. Спроектировать архитектуру нейронных сетей для классификации по определенным признакам

5. Провести обучение спроектированных сетей.

6. Выполнить анализ результатов работы созданных сетей на тестовых наборах данных.

7. Спроектировать и реализовать программный продукт, оценить его эффективность в задачах поиска свободных парковочных мест.

Одним из основных методов решения поставленной задачи является распознавание образов. Распознавание образов (объектов, сигналов, ситуаций, явлений или процессов) – задача идентификации объекта или определения каких-либо его свойств по его изображению (оптическое распознавание) или аудиозаписи (акустическое распознавание) и другим характеристикам. Образ – классификационная группировка в системе классификации, объединяющая (выделяющая) определенную группу объектов по некоторому признаку.

Напрямую с распознаванием образов связано компьютерное зрение. Компьютерное зрение – теория и технология создания машин, которые могут производить обнаружение, отслеживание и классификацию объектов. Как технологическая дисциплина, компьютерное зрение стремится применить теории и модели компьютерного зрения к созданию систем компьютерного зрения. Примерами применения таких систем могут быть:

1. Системы управления процессами (промышленные роботы, автономные транспортные средства).

2. Системы видеонаблюдения.

3. Системы организации информации (например, для индексации баз данных изображений).

4. Системы моделирования объектов или окружающей среды (анализ медицинских изображений, топографическое моделирование).

5. Системы взаимодействия (например, устройства ввода для системы человеко-машинного взаимодействия).

6. Системы дополненной реальности.

7. Вычислительная фотография, например для мобильных устройств с камерами.

В качестве нейронной сети, которая будет обрабатывать полученные изображения удобнее всего взять сверточную сеть. В обычной сети, каждый нейрон связан со всеми нейронами предыдущего слоя, причем каждая связь имеет свой персональный весовой коэффициент. В сверточной нейронной сети в операции свёртки используется лишь ограниченная матрица весов небольшого размера, которую «двигают» по всему обрабатываемому слою (в самом начале – непосредственно по входному изображению), формируя после каждого сдвига сигнал активации для нейрона следующего слоя с аналогичной позицией. То есть

для различных нейронов выходного слоя используются одна и та же матрица весов, которую также называют *ядром свёртки*. Её интерпретируют как графическое кодирование какого-либо признака, например, наличие наклонной линии под определённым углом. Тогда следующий слой, получившийся в результате операции свёртки такой матрицей весов, показывает наличие данного признака в обрабатываемом слое и её координаты, формируя так называемую карту признаков. Естественно, в свёрточной нейронной сети набор весов не один, а целая гамма, кодирующая элементы изображения (например, линии и дуги под разными углами). При этом такие ядра свёртки не закладываются исследователем заранее, а формируются самостоятельно путём обучения сети.

П.Р. Бубешко (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

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

ВОДОЭМУЛЬСИОННЫЕ СМАЗКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕСЧАНО-СМОЛЯНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПО НАГРЕВАЕМОЙ ОСНАСТКЕ

На сегодняшний день предъявляются достаточно высокие требования к качеству стержней, изготавливаемых из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке. Основными преимуществами процесса изготовления стержней по нагреваемой оснастке являются отсутствие сушки стержней в сушилах; высокая прочность получаемых стержней (120–500 МПа), малая осыпаемость и возможность получения отливок с чистой поверхностью и высокой размерной точностью. Однако стержневые смеси на основе различных терморезистивных связующих обладают способностью прилипать к рабочей поверхности стержневого ящика, что ухудшает качество поверхности стержней, их размерную точность, увеличивает брак, а в некоторых случаях при съёме высокая прилипаемость может быть причиной полного разрушения стержней, при их извлечении. Наибольшей прилипаемостью к поверхности стержневого ящика обладают стержневые смеси, при изготовлении которых в качестве связующего используют феноло-формальдегидные смолы [1–2]. С целью устранения прилипания стержневой смеси к поверхности стержневого ящика неотъемлемой частью технологии получения песчано-смоляных стержней является использование смазки, которая существенно снижает действие сил адгезии между стержнем и литейной оснасткой (соответственно между стержнем и стержневым ящиком) в процессе его изготовления и как следствие уменьшают прилипаемость смеси к технологической оснастке [1–4]. Данная работа направлена на создание импорт замещающей продукции, вследствие разработки отече-

ственного состава водоэмульсионной смазки, используемой при изготовлении песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке, применение которого позволит уменьшить брак изготавливаемых стержней. Целью данной работы является разработка состава водоэмульсионной смазки для изготовления песчано-смоляных стержней, его исследование и совершенствование.

В качестве основы разрабатываемой смазки была выбрана полиметилсилоксановая жидкость марки ПМС 300. Данный полимер обладает высокой разделяющей способностью, относительно высокой термостойкостью (до 305 °С), низкой газотворностью при температурах до 573 К (15 см³/г) а также является экологически безопасным продуктом. В качестве наполнителя использовали масляную растительную субстанцию (МРС), полученную в результате переработки растительных масел и жиров, состоящую из стеариновой кислоты (12 %), олеиновой кислоты (72 %), пальмитиновой (14 %) и фосфолипидов (4 %). В качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ), необходимого для получения водоэмульсионной смазки с высокой седиментационной устойчивостью, использовали неионогенное моющее средство. В качестве разбавителя при изготовлении смазки выступала вода.

Таблица 1 – Составы исследуемых смазок на основе выбранных компонентов

Наименование компонента	Массовая доля основных компонентов в составе исследуемой смазки, %				
	1	2	3	4	5
ПМС 300	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
МРС	3,0	5,0	8,0	10,0	15,0
ПАВ	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Вода	Ост.	Ост.	Ост.	Ост.	Ост.

Перед нанесением смазки на поверхность стержневого ящика исследуемые составы водоэмульсионных смазок разбавляли водой в соотношении от 1:25, в зависимости от сложности изготавливаемых стержней. Смазку наносили при помощи пистолета-распылителя с расстояния 0,5 м при давлении воздуха в сети 0,25 МПа. Время распыления смазки на поверхность стержневого ящика составляло 2–3 с.

При проведении исследований по определению технологических свойств исследуемых смазок визуально контролировалась возможность налипания стержневой смеси на формообразующую поверхность стержневого ящика.

Установлено, что при использовании составов с номерами 1 и 2 наблюдается налипание стержневой смеси на формообразующей поверх-

ности стержневого ящика. По-видимому, это происходит вследствие низкой смазывающей способности исследуемых составов из-за низкого количества добавки МРС (3 и 5 % соответственно), и их сравнительно невысокой адгезионной способности к поверхности стержневого ящика, и как следствие низкой эрозионной устойчивости смазочного слоя при вдувании стержневой смеси в формообразующую полость стержневого ящика. Установлено, что при использовании состава смазки 3 (количество добавки МРС к основе смазки более 8 %) налипание стержневой смеси на поверхности стержневого ящика отсутствует.

При использовании исследуемых составов смазок 4 и 5 наблюдается брак стержней по качеству их покраски, а именно некоторая часть поверхности стержня местами не окрашивается. По-видимому, это происходит вследствие накопления смазки на формообразующей поверхности стержневого ящика, ввиду высокой адгезионной и эрозионной способности смазки, обусловленной повышенным содержанием МРС добавки, и как следствие попадания значительного количества смазки на поверхность стержня.

В ходе проведения исследований установлено, что при изготовлении стержней из песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке в качестве водоэмульсионной смазки целесообразно использовать состав на основе полиметилсилоксановой жидкости марки ПМС 300 с добавкой МРС. При этом оптимальное количество МРС в составе смазки должно составлять 8 %.

Литература

1. Кукуй, Д. М. Теория и технология литейного производства / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов, В. Н. Эктова. – Мн: Дизайн ПРО, 2010. – 416 с.

2. Болдин, А. Н. Литейные формовочные материалы. Формовочные и стержневые смеси и покрытия: Справочник / А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Семенов. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.

3. Жуковский, С.С. Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: справочник / С.С. Жуковский. – М.: Машиностроение, 2010. – 256 с.

4. Кукуй, Д.М. Теория и технология литейного производства: формовочные материалы и смеси / Д.М. Кукуй, Н.В. Андрианов. – Мн.: БНТУ, 2005. – 361 с.

5. Михальцов, А. М. Водоэмульсионные разделительные покрытия для изготовления стержней по нагреваемой оснастке / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик, А. Г. Курьян // Литье и металлургия. – 2007. – № 2. – С. 178–179.

6. Пивоварчик, А. А. Новые водоэмульсионные разделительные покрытия для изготовления стержней по нагреваемой оснастке /

А. А. Пивоварчик, А. Н. Карась, А. Г. Курьян // Труды восьмого съезда литейщиков России, Ростов-на-Дону, 23–27 апреля 2007 г.: в 2 т. / ОАО «Ростовский литейный завод». – Ростов-на-Дону, 2007. – Т. 2. – С. 185–187.

Я.О. Бурматов (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **М.А. Ярмоленко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Введение

Лазерная обработка высокомолекулярных соединений является эффективным способом придания им заданного комплекса свойств (биосовместимость, антитромбогенность, гидрофобность). Использование УФ лазерного излучения сопровождается нанесением покрытия, характеризующегося заметными отличиями молекулярной структуры от молекулярной структуры исходного полимера. Лазерное диспергирование позволяет осуществлять направленное модифицирование структуры тонкого слоя непосредственно в процессе его осаждения.

Методика эксперимента

Полимерные композиционные покрытия формировали из активной газовой фазы, генерируемой электронно-лучевым диспергированием органического соединения в вакууме.

В ряде случаев диспергируемая потоком электронов мишень подвергалась воздействию наносекундного УФ лазерного излучения ($\lambda=266\text{нм}$). При осаждении покрытий в условиях лазерного ассистирующего воздействия использовали мишени диаметром, соответствующим пятну лазерного излучения (7 мм).

В качестве материала мишени использовали порошок поливинилхлорида (ПВХ, ГОСТ 14039-78), а также порошок, полученный в процессе предварительного нанесения покрытия на стеклянные подложки с последующим соскабливанием органического слоя. Полученный таким способом порошок использовался в качестве материала мишени для осаждения покрытий на основе «вторичного ПВХ».

Толщина осаждаемых покрытий контролировали с помощью кварцевого измерителя толщины. Анализировались только покрытия одинаковой эффективной толщины.

Исследование молекулярной структуры сформированных полимерных покрытий, осуществляли на ИК-Фурье спектрофотометре с использованием стандартной приставки на пропускание. Электронные спектры получали с помощью спектрофотометра.

Результаты исследования

В ИК спектре порошка ПВХ, подвергнутого воздействию потока электронов, фиксируются интенсивные полосы. Присутствие отмеченных полос поглощения указывает на формирование в полимере под действием потока электронов ароматических структур. Данные полосы обусловлены внеплоскостными деформационными колебаниями С–Н связей для монозамещенных соединений бензола.

Воздействие потока электронов на полимер приводит к образованию полисопряженных структур. Таким образом, воздействие электронного потока инициирует реакции дегидрохлорирования ПВХ. Возникновение кислородсодержащих групп возможно при взаимодействии молекул кислорода воздуха со свободными радикалами и ненасыщенными связями материала мишени. Реакции окисления протекают при разгерметизации вакуумной камеры.

Следует отметить, что способ электронно-лучевого диспергирования не позволяет формировать покрытия, молекулярная структура которых содержит бензольные кольца. Ароматические фрагменты под действием потока электронов легко отщепляются от диспергируемых химических соединений и откачиваются вакуумной системой откачки. Таким образом, формирование ароматических структур в тонком слое протекает непосредственно на подложке.

Установлено, что непродолжительный высокотемпературный отжиг в вакууме порошка «вторичного ПВХ» сопровождается снижением содержания двойных связей и ароматических фрагментов. При отжиге процесс отщепления фрагментов макромолекул с последующим переходом их в газовую фазу идет одновременно с процессом формирования сшитых ненасыщенных структур. Увеличение температуры отжига сопровождается заметным снижением оптической плотности полос, ответственных за ароматические структуры. При этом влияние высокотемпературного вакуумного отжига (500°С) на молекулярную структуру тонкого осажденного слоя противоположно.

Термообработка на воздухе сопровождается заметным окислением тонкого слоя. На это указывает рост оптической плотности полосы валентных колебаний С = О связей. В процессе окисления происходит разрушение углеводородных цепочек, образование свободных радикалов.

Взаимодействие свободных радикалов друг с другом способствует образованию, как межмолекулярных сшивок, так и ненасыщенных связей. Следует отметить, что независимо от среды отжига, термообработка приводит к отщеплению бензольных колец.

Лазерное УФ ассистирующее воздействие не приводит к видимому изменению молекулярной структуры органического покрытия. Результат обусловлен тем, что генерируемые потоком электронов продукты

деструкции являются химически высокоактивными. Дополнительная лазерная активация ненасыщенных связей не заметна в общей картине химических взаимодействий.

Заключение

Воздействие низкоэнергетичного потока электронов на порошок ПВХ инициирует реакции дегидрохлорирования, они сопровождаются образованием полисопряженных цепочек. Термически инициируемая циклизация ненасыщенных фрагментов макромолекул приводит к возникновению ароматических структур.

Показано, что тонкий слой на основе «вторичного» ПВХ образован полиеновыми фрагментами с длиной равной 3–4.

Лазерное наносекундное УФ ассистирующее воздействие не приводит к заметному изменению молекулярной структуры покрытия на основе вторичного ПВХ. Влияние проявляется в увеличении количества и уменьшении размера поверхностных капельных образований, формирующих тонкий слой. Изменения морфологии осаждаемого органического слоя обусловлены влиянием термической составляющей лазерного излучения.

Литература

1. Saravana Kumar Jaganathan, Arunpandian Balaji, Muthu Vignesh Velayappan, Aruna Priyadarshni Subramanian, Agnes Aruna John, Manjeesh Kumar Asokan Eko Supriyanto Radiation-induced surface modification of polymers for biomaterial application // *J Mater Sci.* – 2014. – DOI 10.1007/s10853-014-8718-x

2. Gastón A. Primo, Cecilia I. Alvarez Igarzabal, Gustavo A. Pino, Juan C. Ferrero, Maximiliano Rossa Surface morphological modification of cross-linked hydrophilicco-polymers by nanosecond pulsed laser irradiation // *Applied Surface Science.* – 2016. – 369. – P. 422 – 429

3. Rebollar, E., Castillejo, M., Ezquerro, T.A., Laser Induced Periodic Surface Structures on Polymer Films: From Fundamentals to Applications, *European Polymer Journal* (2015), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.10.012>

4. Akimichi Shibata, Shuhei Yada, Mitsuhiro Terakawa Biodegradability of poly (lactic-co-glycolic acid) after femtosecond laser irradiation // *Sci Rep.* – 2016; 6: 27884.

5. K. Moraczewski, P. Rytlewski, R. Malinowski, M. Zenkiewicz, Comparison of some effects of modification of a polylactide surface layer by chemical, plasma, and laser methods, *Applied Surface Science.* – 2015. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.03.202>

6. M. Naddaf, A. Alkhawwam, Characterization of superhydrophobic a-C:F thin film deposited on porous silicon via laser ablation of a PTFE target, *Diamond & Related Materials*. – 2016, doi: 10.1016/j.diamond.2016.01.010

7. D. B. Chrisey, A. Pique, R. A. McGill, J. S. Horwitz, B. R. Ringeisen, D. M. Bubb, P. K. Wu Laser Deposition of Polymer and Biomaterial Films // *Chem. Rev.* – 2003. – 103. – P. 553–576.

Е.С. Бычков (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **П.В. Бычков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТСКАНИРОВАННОГО ПОЧЕРКА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ПСЕВДОРУКОПИСНОГО ТЕКСТА

В связи с развитием технологий машинного обучения, глубокого обучения и нейросетей, задача распознавания рукописного текста становится все более тривиальной и дешёвой. На данный момент, существует большое количество веб сервисов и десктопных приложений, которые позволяют распознать печатный или рукописный текст, например, «Support Vector Machine». Однако, обратная задача, то есть перевод из электронного формата в псевдо рукописный, также способна решить целый ряд задач, например:

1. Создание псевдо рукописных открыток или писем;
2. Создание email сообщений в рукописном стиле;
3. Создание конспектов.

Создание псевдо рукописного сообщения происходит в три стадии:

1. Анализ оригинального текста, используя одну из популярных сетей рекуррентного машинного обучения;
2. Фильтрация, обработка, нормирование, разделение и хранение полученных данных при помощи связки Python3 + MSSQL;
3. Обработка электронных документов библиотекой ReportLab на основании полученной базы рукописных символов.

Было создано WEB приложение для генерации псевдо рукописных документов на основании технологий Python, Django, Amazon C2, APACHE, MsSQL и Reportlab.

Веб приложение использует фреймворк bootstrap для фронтенда, а полученные документы хранит в сетевом хранилище Amazon S3. Все сгенерированные документы хранятся в Amazon S3 в течении года.

Она несла в руках отбратительные, тревожные желтые цветы. Черт их знает, как их зовут, но они первые почему-то появляются в Москве. И эти цветы очень отчетливо выделялись на черном ее весеннем пальто. Она несла желтые цветы! Нехороший цвет. Она повернула с Тверской в переулок и тут обернулась. Ну, Тверскую вы знаете? По Тверской шли тысячи людей, но я вам ругаюсь, что увидела она меня одного и поглядела не то что тревожно, а даже как будто болезненно. И меня поразила не столько ее красота, сколько необыкновенное, никем не выданное одиночество в глазах!

Литература

1. Гудфеллоу, Я., Бенджио, И., Курвилль А. Глубокое Обучение. – Издательство ДМК Пресс 2018. – 651 с.

В.Г. Василевич (БГУ, Минск)

Науч. рук. **О.Ю. Смирнова**, ст. преподаватель

РЕЛАКСАЦИИ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ SiGe

Спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС) является экспрессной, информативной и неразрушающей методикой для определения оптических свойств и анализа состава твердых растворов $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ [1]. Однако на положение пиков КРС существенное влияние оказывают механические напряжения, связанные с несоответствием ковалентных радиусов атомов германия и кремния [2, 3]. В настоящей работе исследуется механизм релаксации напряжений. Исследования проводились на объемных монокристаллических образцах твердых растворов $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ ($x = 0 - 0.123$), выращенных методом электронно-лучевой плавки. Спектры КРС записывались при комнатной температуре с помощью Nanofinder High End (Lotis ТП) – микрорамановского спектрометра, совмещенного с 3D сканирующим конфокальным микроскопом. Регистрация спектров осуществлялась по схеме обратного рассеяния, разрешение спектрометра составляло 0.3 см^{-1} . Подводимая к образцу мощность составляла 2 мВт, а диаметр возбуждающего пучка – около 1 мкм. Использовалось возбуждение излучением твердотельного лазера с длиной волны 532 нм.

На рисунке 1 представлен спектр комбинационного рассеяния света практически в чистом кремнии с небольшой долей ($x=0.012$) примеси германия. Видно, что в этом случае доминирует однофононный пик, обусловленный колебаниями связи Si = Si вблизи 520 см^{-1} . Однако следует отметить, что по мере увеличения доли X однофононный пик Si = Si плавно смещаются в область более низких частот, а пик Ge = Si в область более высоких частот. Действительно на рисунке 2 представлена эта зависимость для пика Si = Si, из которой видно, что по мере увеличения доли X однофононный пик Si = Si плавно смещаются в область более низких частот. Частота пика уменьшается от $519,64 \text{ см}^{-1}$ до $512,36 \text{ см}^{-1}$ в диапазоне изменения $X = (0,0058-0,123)$.

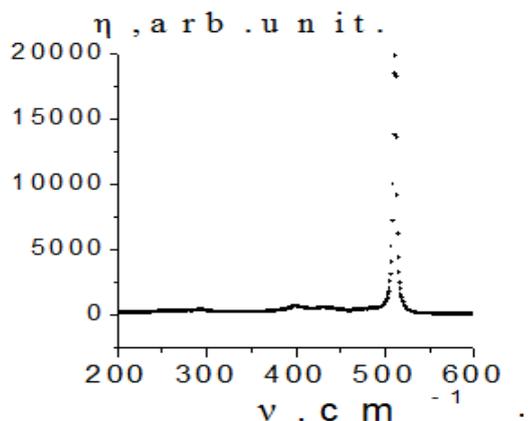


Рисунок 1 – Спектры КРС в твердом растворе $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$, $x = 0.012$

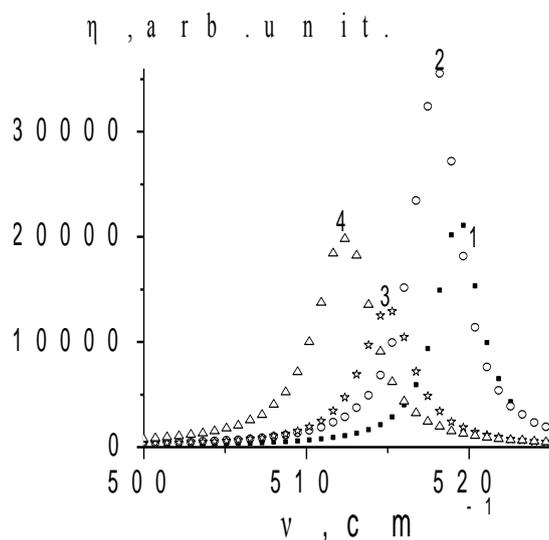


Рисунок 2 – Смещение пика Si = Si в зависимости от содержания германия X в твердом растворе $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$.
X: 1 – 0.0058, 2 – 0,029, 3 – 0.076, 4 – 0,123.

Зависимость частоты пика от X может быть объяснена в модели ангармонического кристалла за счет изменения длины связи между атомами при релаксации решетки в процессе образования твердого раствора [2].

Литература

1. Володин В.А., Ефремов М.Д., Дерябин А.С., Соколов Л.В. Определение состава и механических деформаций в $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ – гетероструктурах из данных спектроскопии комбинационного рассеяния света: уточнение параметров модели // Физика и техника полупроводников. – 2006. – Т. 40. - № 11. – С. 1349.

2. Васин А.С., Вихров О.В., Василевский М.И. Расчет спектров комбинационного рассеяния света сплава $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ // Вестник Нижегородского университета им Н.И.Лобачевского. – 2011. – №5. –62 с.

Е.В. Виноградов (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **В.А. Лиопо**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕГИДРАТАЦИЯ КРИСТАЛЛОВ ДИ – И ТРИОКТАЭДРИЧЕСКИХ СЛОИСТЫХ СИЛИКАТОВ

Исследованы изменения структуры слюд при нагревании до 800°C . Установлено, что основные изменения связаны с выходом воды из кристаллов при их прокаливании. Выявлена зависимость $\Delta d_{00.12}/d$ при нагревании и охлаждении кристаллов флогопита с различной степенью гидратации G .

Объектами исследований стали типичные представители слоистых силикатов диоктаэдрический мусковит $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ и триоктаэдрический флогопит $\text{KMg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$, так как они получили наибольшее промышленное применение.

Важнейшей общей особенностью структуры слоистых силикатов является характер их межатомного взаимодействия. В пределах атомных сеток, в основе которых лежат ионно-кислородные и силикат-кислородные слои, в которых межатомное взаимодействие определяется валентными силами.

Блоки (слои) связаны друг с другом более слабыми ван-дер-ваальсовыми силами. В эти межблочные (межслоевые) промежутки проникают молекулы воды, количество которой влияет на степень гидратации. Согласно современным представлениям, вода в кристаллах слюд различной степени гидратации встречается в трёх различных формах:

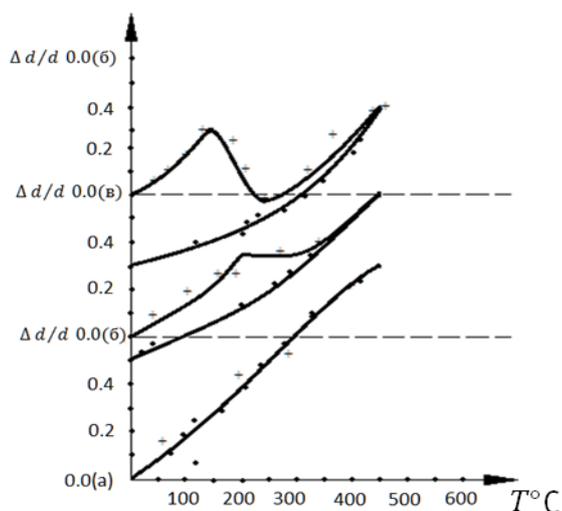
1. Молекулы воды заполняют участки между слоями, формируют водные включения – водяные линзы. Такая вода называется примесной. Эти включения примесной воды могут быть удалены путём прогрева кристаллов при температурах $150^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}$.

2. Вода, образующая монослой или бислой, находящаяся в межслоевых промежутках в гидротированных слюдах. Межслоевая вода может

быть удалена из слюды путём её прокаливания при температурах 400 °С – 450 °С.

3. Следующая форма вхождения воды в слюды относится к структурному элементу октаэдрической сетки к группе $(OH)^-$. Как составная часть молекулы H_2O , поэтому традиционно рассматривают его как фактор структурной гидратации, более точно, говорят о гидратации в форме гидроксилации.

Исследования показали, что существует три типа кривых изменений межплоскостного расстояния d_{00l} при нагревании и охлаждении кристаллов флогопита (рисунок 1). [1].



Верхняя, средняя и нижняя кривые соответствуют:
 $G = 12\%$; $G = 6\%$; $G = 2\%$. “+” – нагревание, “•” - охлаждение

Рисунок 1 – относительные изменения $\Delta d_{00.12}/d$ при нагревании и охлаждении кристаллов флогопита с различной степенью гидратации G

Исследования образцов сильно гидратированного флогопита с $d_{00.12} = 0,8413 \text{ \AA}$ при нагревании показали, что необратимые изменения базальных межплоскостных расстояний происходят при температурах выше 160 °С (рисунок 2).

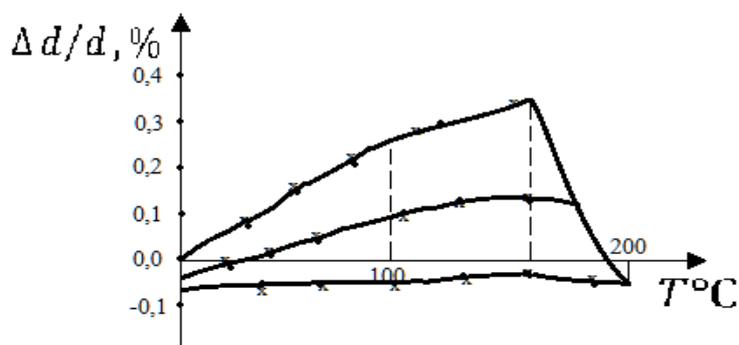
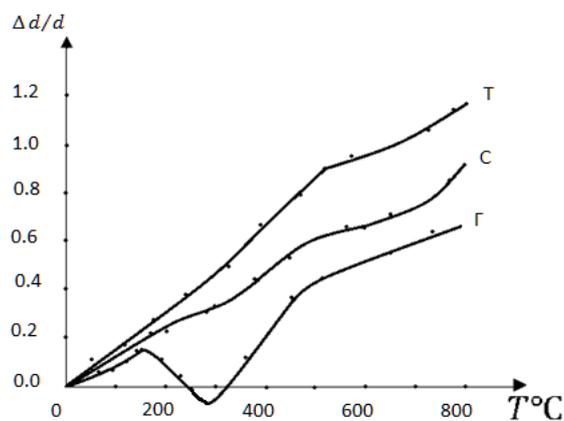


Рисунок 2 – Изменения $\Delta d_{00.12}/d$ с температурой при нагревании до температур 100°, 160°, 180°, 200°, (все в °С). $G = 12\%$

В более широком температурном интервале (до 800 °С) на термических кривых наблюдается перегиб в области температур 400–600 °С. Для некоторых образцов между 500–600 °С на кривой обнаруживается плато (рисунок 3).



Т – твёрдый слабогидратированный флогопит;
С – флогопит средней твёрдости; Г – гидратированный флогопит

Рисунок 3 – Примеры изменений $\Delta d_{00.12}/d$ флогопитов с различной степенью гидратации в температурном интервале 20–800 °С

Чем больше $d_{00.12}$, тем сильнее гидратирован кристалл, т.е. тем сильнее он будет терять воду при нагревании.

При температурах выше 500 °С коэффициент расширения для мягких разновидностей флогопита уменьшается в 1,5–2,0 раза по сравнению со средним значением в температурном интервале 20–100°С. Необратимая усадка $d_{00.12}$ может стать меньше чем при низкотемпературном прогреве.

Прогревание кристаллов мусковита вызывает необратимое увеличение межплоскостных расстояний $d_{00.12}$, что обусловлено искажением октаэдрической сетки кристалла мусковита.

Таким образом, существуют кристаллохимические предпосылки к разрушению слоистых минералов типа слюд под действием различных факторов – механического, температурного и др [2].

Очевидно, что наличие в структуре слюды гидроксидов в различной форме обуславливает специфическое поведение слюд при термическом воздействии. следовательно процессы дегидратации могут быть целенаправленно использованы для диспергирования макроблоков слюды и получения дисперсных фрагментов в активном состоянии.

Литература

1. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А.Струка, В.Я. Щербы. – Минск: Технология, 2007. – 431 с., [8] л. ил.: ил.

2. Калихман В.М., Лиопо В.А., Мецик М.С. Изучение структурных изменений кристаллов мусковита при нагревании // Матер. 8-й физ. науч. конф. Хабаровск, 1974. – С.139–142.

Г.А. Воробьев (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В.П. Сергиенко**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Фрикционные композиты предназначены для диссипации или передачи механической энергии. Эти материалы применяются в тормозных узлах и трансмиссиях транспортных и технологических машин. Актуальной задачей фрикционного материаловедения является поиск заменителей традиционного для фрикционных композитов асбестового волокнистого наполнителя, признанного мировым сообществом канцерогенным веществом.

Цель работы заключалась в определении триботехнических характеристик композиционных материалов, к числу которых отнесены коэффициент трения (f) и линейная интенсивность изнашивания (I_h), и определении влияния типа волокнистого наполнителя на триботехнические характеристики при заданных условиях эксплуатации.

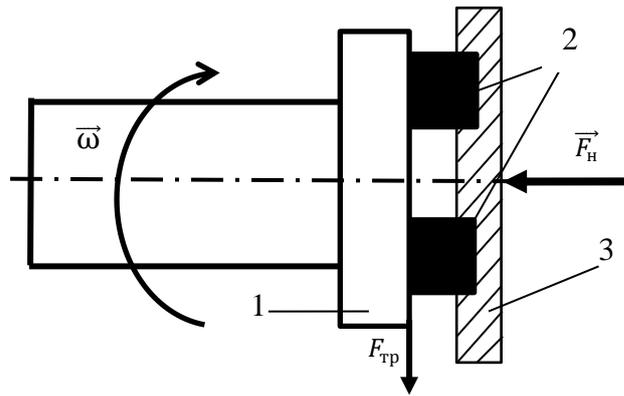
Исследовали модельные составы фрикционных композитов на основе фенолформальдегидных смол, минеральных и металлических наполнителей. Первый образец материала в качестве минерального наполнителя содержал базальтовые волокна, второй – стеклянные волокна.

Фрикционно-износные испытания проводили на машине трения И-32М. Материал металлического контртела – чугун марки СЧ-20 с твёрдостью до 255 МПа. Перед началом испытаний осуществляли приработку пары трения при удельной нагрузке $P = 0.272$ МПа и скорости скольжения $v = 7,2$ м/с. Приработка проводилась до достижения фактической площади фрикционного контакта не менее 90% от контурной площади. Размер образцов 23x27мм. Температура окружающей среды во время испытаний находилась в пределах $T = 18 - 23$ °С. После приработки и каждого испытания поверхность металлического контртела очищалась от продуктов износа и плёнок переноса с помощью шлифовальной шкурки. Схема испытаний показана на рисунке 1.

Коэффициент трения вычисляли по формуле:

$$f = \frac{F_{\text{тр}}}{F_{\text{н}}},$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения, $F_{\text{н}}$ – нормальная нагрузка.



1 – вращающееся металлическое контртело,
2 – испытываемый образец композита, 3 – держатель образцов

Рисунок 1 – Схема испытаний фрикционных композитов на машине трения И-32М

Линейную интенсивность изнашивания:

$$I_h = \frac{\Delta m}{\rho * A_k * L},$$

где Δ – суммарная масса износа двух образцов, ρ – плотность испытуемых образцов, A_k – суммарная площадь поверхности трения, L – путь трения образцов за время испытаний τ .

Результаты испытаний приведены на рисунках 2–5.

На рисунках 2 и 3 показано изменение коэффициента трения и температуры в зоне трения базальтонаполненного композита в зависимости от времени испытаний.

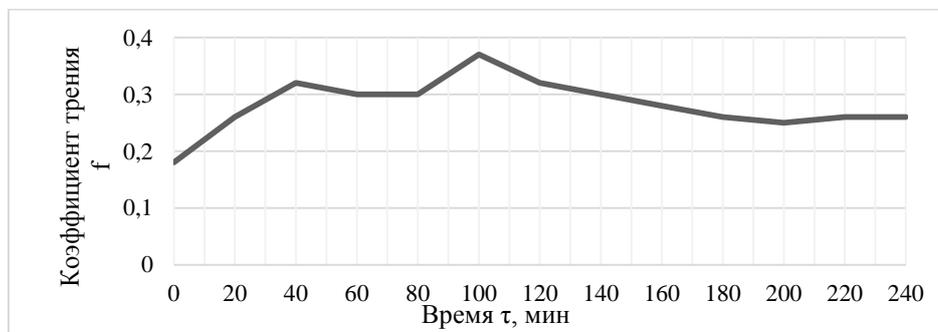


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения от времени

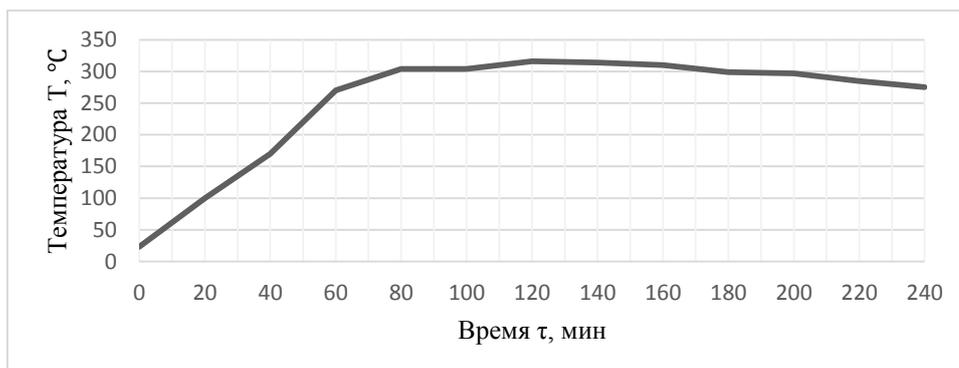


Рисунок 3 – Зависимость температуры трения от времени

На рисунках 4 и 5 приведены кинетические зависимости коэффициента трения и температуры трения стеклонаполненного композита.

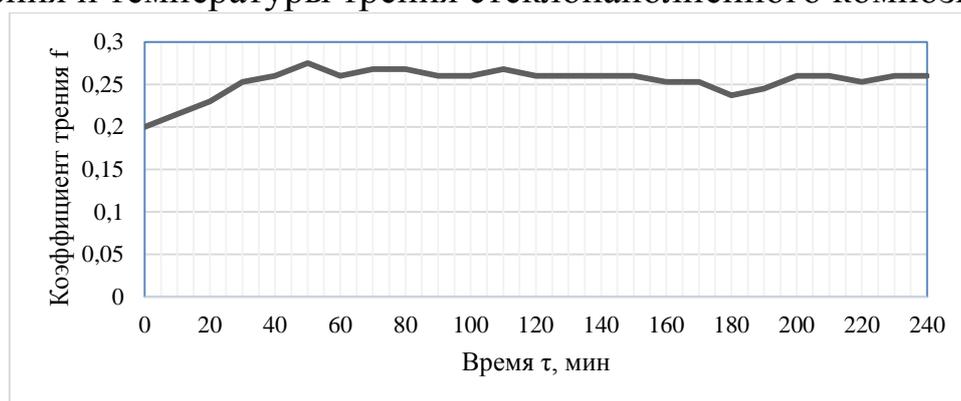


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента трения от времени

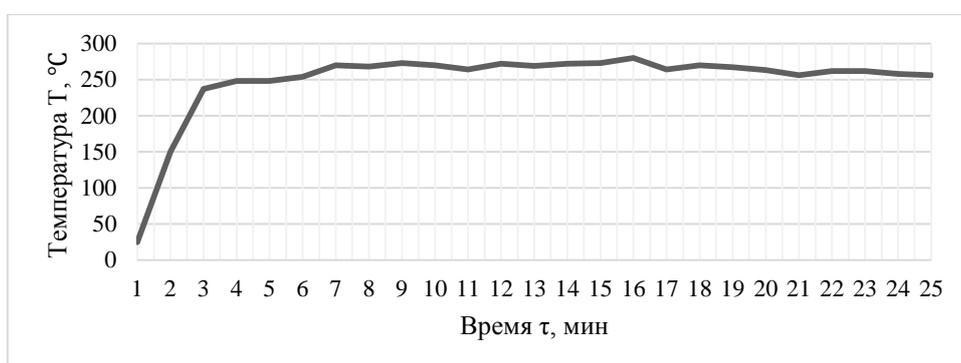


Рисунок 5 – Зависимость температуры трения от времени

Как следует из представленных данных стеклонаполненный композит имеет более стабильный коэффициент трения, однако у базальтонаполненного композиционного материала значение f несколько выше. Относительная интенсивность изнашивания первого образца $I_{h1} = 1,81 \cdot 10^{-8}$, второго – $I_{h2} = 2,10 \cdot 10^{-8}$. Температура трения для испытанных составов композитов не превышает температуру термодеструкции полимерной матрицы (320 °C).

Таким образом, в результате исследований установлено, что композиты с базальтовым волокнистым наполнителем обладают более высоким коэффициентом трения и лучшей износостойкостью в сравнении со стеклонаполненными композитами.

Д.С. Вороно (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

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

КАЛЬЦИЙ-СТРОНЦИЕВАЯ СМЕСЬ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Важное место в развитии современного машиностроения принадлежит производству отливок из алюминиевых сплавов, которые обладают

высокими механическими свойствами, малой плотностью и высокой коррозионной стойкостью. Вместе с тем при плавке и рафинировании силуминов выделяется много выбросов, содержащих хлориды, фториды, оксиды серы. В настоящее время во всех странах наблюдается тенденция к ужесточению предельно допустимых выбросов в атмосферу [1–3]. Решение проблемы оздоровления экологической ситуации в цехах алюминиевого литья может быть реализовано использованием низко-токсичных, экологически чистых препаратов при плавке, рафинировании и модифицировании алюминиевых сплавов. Такими перспективными материалами представляются карбонаты кальция и стронция.

Интенсивность газообразования при взаимодействии порошкообразных карбонатов с компонентами расплава силумина в значительной степени зависит от поверхности контакта частиц и жидкости т.к. реакция диссоциации будет протекать на поверхности кусков CaCO_3 и SrCO_3 . По мере увеличения степени дисперсности карбоната, газовыделение будет возрастать. С физико-химической точки зрения важнейшим следствием увеличения дисперсности является возрастание удельной реакционной способности твердых тел, называемой также активностью, что связано с увеличением доли молекул или атомов вещества, находящихся на поверхности раздела фаз и имеющих избыточную свободную энергию из-за некомпенсированных связей при стремлении любой системы к минимизации общей энергии. Расчетным путем в работах [4, 5], показано, что диспергирование карбонатной составляющей системы $\text{CaCO}_3\text{-Al-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}$ повлечет за собой увеличение реакционной способности или физико-химической активности карбоната кальция, что выразится в изменении кинетических характеристик реакций $\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$ и $\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$ и таким образом по мере увеличения степени дисперсности карбонатов, газовыделение будет возрастать.

Эффективность дисперсных карбонатных смесей исследовали в промышленных условиях при использовании дегазирующей смеси на основе кальций-стронциевых карбонатов (далее – КСК). Дегазатор КСК представляет смесевую композицию на основе порошков карбонатов кальция и стронция с высокой дисперсностью частиц, позволяющей увеличить реакционную способность смеси. Специально подобранный гранулометрический состав создает оптимальный газовый режим и обеспечивает ярко выраженный классический адсорбционно-флотационный механизм рафинирования. Испытания проводились при изготовлении отливки «Головка цилиндров» из сплава АК6М2. Обработка расплава проводилась в раздаточном ковше емкостью 900 кг при температуре 750 °С. Вначале проводили подшихтовку расплава металлическим магнием. Затем жидкий расплав обрабатывали сухим флюсом

«Crystal 2000» в количестве 0,1 % от массы расплава, после чего расплав дегазировали смесью КСК последовательно, двумя дегазаторами, в каждый из которых помещались пакеты с КСК в количестве 200 г. Количество КСК составляло 0,08 % от массы расплава в раздаточном ковше. Бурление на поверхности расплава после добавления КСК наблюдалось в течение 4 мин. Использование разработанного состава КСК проводилось взамен используемой на предприятии таблетки на основе гексахлорэтана.

Результаты микроструктурного анализа показали, что размер пор, образующихся в отливке после кристаллизации сплава, при обработке жидкого расплава смесью КСК уменьшился в среднем в 1,2–1,6 раза. Кроме того, при использовании смеси КСК наблюдается измельчение микроструктуры в сплаве. Также установлено, что длительность эффекта модифицирования при обработке смесью КСК составила от 50 до 70 мин. По действующей технологии при обработке жидким флюсом эффект модифицирования сохраняется до 40 мин.

Установлено, что после обработки расплава индекс плотности сплава снизился в среднем в 3 раза. Механические свойства сплава, обработанного смесью, соответствовали требованиям СТП 37.304.787-2009 и находились на уровне свойств, получаемых по действующей технологии модифицирования. Окончательный внешний и внутренний брак отливок, залитых в ходе проведения исследований, отсутствовал.

Установлено, что места возникновения ситовидной пористости в изготавливаемых отливках и характер дефектов исправимого брака не изменился, но отмечено, что размер и количество дефектов значительно уменьшились по сравнению с действующей технологией. Экспериментально установлено, что площадь поверхности отливки пораженной ситовидной пористостью при обработке смесью КСК меньше в среднем на 32 %, чем в случае, когда жидкий расплав обрабатывали универсальным флюсом. Результаты испытаний смеси дегазирующей КСК с модифицирующим эффектом на предприятии были признаны положительными.

Дегазирующая смесь КСК с рафинирующим эффектом внедрена в ОАО «Теплоконтроль» г. Сафоново взамен токсичных покровно-рафинирующего флюса и дегазирующей таблетки производства ОДО «Эвтектика». КСК применяется на всей номенклатуре отливок получаемых литьем под давлением, в кокиль и песчано-глинистые формы. Наряду с оздоровлением экологии на плавильном участке получен экономический эффект 567 рублей на одну тонну жидкого расплава.

Карбонатные универсальные препараты серии КСК на основе кальций-стронциевых карбонатов являются высокоэффективными, экологически безвредными, недорогостоящими материалами рафинирующе-дегазирующего и рафинирующе-модифицирующего действия. Принцип их работы основан на протекании в системе КСК-расплав химических

реакций с выделением рафинирующей газовой фазы и переходом элемента-модификатора в расплав. Разработанная серия препаратов не уступает по эффективности распространенным флюсовым и таблетированным материалам аналогичного зарубежного и отечественного производства.

Литература

1. Румянцева, Г. А. Низкотоксичные флюсы и препараты, обеспечивающие экологическую безопасность процессов плавки и рафинирования силуминов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16. 04 / Г. А. Румянцева; Бел. нац. техн. ун-т. – Минск, 2012. – 23 с.

2. Проблемы пористости при модифицировании силуминов стронцием / Б.М. Немененок [и др.] // Литьё Украины. – 2014. – № 3. – С. 13–17.

3. Бежок, А. П. Совершенствование технологии модифицирования силуминов стронцием: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / А. П. Бежок; Бел. гос. политехн. акад. – Минск, 1999. – 19 с.

4. Задруцкий, С.П. Технология модифицирования силуминов дисперсным карбонатом стронция / С.П. Задруцкий [и др.] // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2017. – Т. 7. – № 1. – С. 15–23.

5. Карбонаты – перспективные материалы для изготовления рафинирующих присадок для силуминов / Н. В. Чайкина [и др.] // Литье и металлургия. – 2010. – № 3 (57). – С. 33–39.

Е.Б. Галабурда (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

СМЕСИТЕЛЬ КОРМОСМЕСИ ДЛЯ МАЛОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Введение. В сельскохозяйственной отрасли, связанной с ведением животноводческого хозяйства, используются корма, качество и питательные параметры которых напрямую зависят от способа введения биологически активных добавок и аминокислот. Одним из важнейших критериев приготовления кормового премикса является однородность кормосмеси.

Известны такие виды смесителей как барабанный, вертикальный, горизонтальный, диагональный, смесители с мешалками и др. Но большинство конструкций подобных смесителей рассчитаны на крупное производство и предполагают смешивание непосредственно кормов с добавлением готового премикса в объёме не менее одной тонны.

Техническим решением задачи является повышение однородности приготовленной кормосмеси при низких требованиях к устройствам, подающим компоненты смеси. Поставленная задача решается тем, что смеситель кормов, содержит разделенные между собой пирамидоподобные части, разделенные между собой перегородками, при вращении которых обеспечивается рациональное смешение и минимизируется просыпание перемешиваемых компонентов.

Новизна предложения заключается в том, что элементы конструкции (разделители) разграничивают области смешивания компонентов кормосмеси, а в качестве загрузочного устройства выступают быстросъемная пирамида. Кроме того, обеспечивается одновременное пропускание небольшой части приготавливаемого комбикорма в загрузочное устройство для полного подмешивания различных микродобавок.

Результаты и их обсуждение. Разработана конструкция смесителя биологических добавок и аминокислот для малого сельскохозяйственного предприятия. Предлагаемая конструкция смесителя состоит из станины, пирамидального барабана со съёмной пирамидой, электродвигателя с редуктором, цепной передачи (рисунок 1). Съёмная пирамида крепится к основному барабану посредством замка и снимается с целью добавления и извлечения смешиваемого порошка. Основным преимуществом исполнения смесителя в таком виде является то, что смешивание компонентов происходит слоями посредством пересыпания из более узкой части пирамиды в широкую, тем самым обеспечивая максимально равномерное смешивание компонентов.



Рисунок 1 – Конструкция смесителя биологических добавок и аминокислот

Барабан выполнен из листовой стали толщиной 1 мм, который подвергали резке на треугольные пластины и соединяли посредством электродуговой сварки. Станина выполнена из профилированной трубы сечением профиля 30х60 мм. Для достижения низкой скорости вращения использовали электродвигатель с частотой вращения 1 500 об/мин., понижающий редуктор с передаточным числом 1:3, а также цепная передача

с соотношением передаточных чисел 1:4. В конечном итоге частота вращения барабана составляет около одного оборота в минуту. При таком вращении компоненты пересыпаются по секциям не создавая пыли. Также на ротор двигателя установлен эксцентрик для придания вибрационных воздействий, которые исключают зависание материала на стенках секций и тем самым увеличивают качество пересыпания.

Эксплуатационные испытания предлагаемой конструкции смесителя осуществлялись на фермерском хозяйстве Галабурды Б.И. и представленное решение для нужд сельскохозяйственного назначения оправдано ввиду отсутствия необходимости в приобретении дорогостоящего крупнотоннажного смесительного оборудования. Система рассчитана на смешивание добавок массой не более 50 кг.

Из практики применения смесителей известно, что образуется «застойная» зона между рабочими органами смесителя и его внутренней поверхностью, особенно по углам корпуса (или в торцах). Разделители четырехзонного смесителя позволяют просыпаться всем компонентам смеси равномерно и способствуют полному продвижению добавок в основную зону смешивания, что крайне важно при использовании современных препаратов – витаминов, антибиотиков, БМВД – с дозой внесения от 0,05%. Остаток указанных добавок в зоне их загрузки вызывает отклонение от рецептуры (соотношения компонентов) приготовленной кормосмеси.

Неоднородность кормосмеси может вызвать ряд причин, влекущих за собой неравномерную подачу остатка добавок из зоны их загрузки (например, вибрация или удары), применение же данной конструкции смесителя с разделителями зон полностью исключает застой добавок в зоне загрузки и, как следствие, способствует повышению однородности приготовленной кормосмеси и исключает отклонения от ее рецептуры.

Затраты на приобретение готовых промышленных премиксов выше в два раза в сравнении с затратами на производство премиксов в условиях ведения частного фермерского хозяйства. К тому же за счет химических реакций премикс имеет ограниченный срок хранения и поэтому нецелесообразно приобретение крупнотоннажной партии впрок.

Заключение. Животноводческое производство предполагает изготовление комбинированных кормов для животных с добавлением биологически активных добавок и аминокислот с целью обеспечения стабильного прироста и поддержания иммунитета животных. Изготовление биодобавок в условиях предприятия несет ощутимую экономическую выгоду и способствует обеспечению удобства рабочего процесса. Одной из важнейших задач при изготовлении добавок является качество смешивания компонентов, определяющее гомогенность кормовой смеси и эффективность ее потребления сельскохозяйственными животными. Предлагаемое конструктивное исполнение смесителя биологических до-

бавок и аминокислот для малого сельскохозяйственного предприятия соответствует этим требованиям и обладает рядом экономических, эксплуатационных и производственных преимуществ. Положительный эффект предлагаемого смесителя кормов проявляется в повышении однородности приготовленной кормосмеси при минимальных требованиях к подающим устройствам и возможности ручного внесения различных добавок.

Литература

1. Передаточные механизмы: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/7-robot/46.htm/> – Дата доступа 15.02.2017.
2. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский [и др.]. – СПб: Профессия, 2004. – 464 с.
3. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: учебно-справочное руководство / В.А. Струк [и др.]. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2010. – 536 с.
4. Инновационные фторопластовые технологии: [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://raflon.ru/ru/> – Дата доступа: 03.01.2017.

Е.В. Гармилин (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А.В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СИНТЕЗ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Практическая значимость синтеза покрытий на основе оксида цинка (ZnO) обуславливается тем, что оксид цинка – это прямозонный полупроводник, с запрещенной зоной, равной 3,36 эВ [1]. Оксид цинка обладает оптоэлектронными свойствами, что открывает возможности для использования его в качестве функциональных элементов различных солнечных батарей, оптических приборов, прозрачных электродов [2] и т.д.

Золь-гель метод позволяет формировать покрытия на основе оксида цинка. При получении ZnO-, ZnO: Al-покрытий, существуют технологические особенности, которые требуют аккуратного и индивидуального подхода к получению на поверхности плёнки стабильного стехиометрического состава.

Легирование пленок на основе оксида цинка ионами металлов (алюминий, серебро) позволяет улучшить электрофизические свойства исследуемых материалов за счет возникновения примесной проводимости. Введение в матрицу иона редкоземельного элемента позволяет до-

полнительно преобразовать часть поглощенного излучения в электрический ток за счет собственной люминесценции иона РЗЭ.

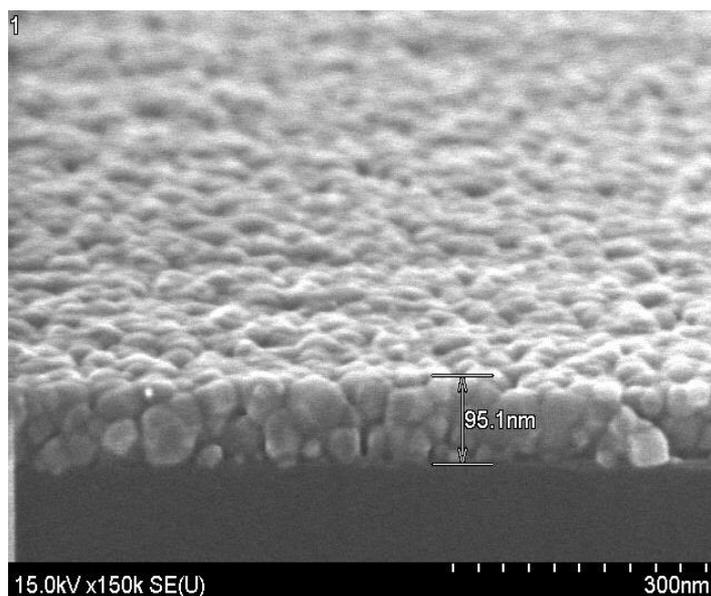


Рисунок 1 – СЭМ – изображения ZnO:Al/Er^{3+} - пленок, полученных золь-гель методом на поверхности монокристаллического кремния, на основе изопропилового спирта

На рисунке 1 приведено характерное СЭМ – изображение пленок ZnO:Al/Er^{3+} которые были получены золь-гель методом на поверхности монокристаллического кремния. Также были получены подобные изображения для пленок ZnO:Al/Er^{3+} из золь-гелей на основе 2-метоксиэтанола и диметилформаида. Полученные пленки характеризуются толщиной порядка (100 ± 6) нм, а также однородной мелкозернистой микроструктурой.

Статистика зерен представлена в таблице 1, которую получили на основе СЭМ – изображений ZnO:Al/Er^{3+} - плёнок, полученных золь-гель методом на основе различных растворителей на поверхности монокристаллического кремния.

Таблица 1 – Статистика зерен на поверхности ZnO:Al/Er^{3+} -пленок, полученных золь-гель методом на поверхности монокристаллического кремния: 1 – на основе изопропилового спирта; 2 – на основе 2-метоксиэтанола; 3 – на основе диметилформаида

Характеристика	ZnO:Al/Er^{3+}		
	1	2	3
Число зерен	495	291	406
Субшероховатость, R_a , нм	4,3	13,1	6,5
Средний размер зерна, нм	19,3	51,5	24,6

Литература

1. Anil Vithal Ghule, Simultaneous thermogravimetric analysis and in situ thermo-Raman spectroscopic investigation of thermal decomposition of zinc acetate dihydrate forming zinc oxide nanoparticles / Anil Vithal Ghule, Bertrand Lo, Shin-Hwa Tzing, Kalyani Ghule, Hua Chang, Yong Chien Ling // Chemical Physics Letters. – 2003. – Vol. 381. – P. 262–270.
2. Sreeja, R. Linear and nonlinear optical properties of luminescent ZnO nanoparticles embedded in PMMA matrix/ R. Sreeja, Jobina John, P.M. Aneesh, M.K. Jayaraj // Optics Communications. – 2010. – Vol. 283. – P. 2908–2913.

П.Д. Гвоздь (БГУИР, Минск)

Науч. рук. **А.Г. Черных**, канд. техн. наук, доцент,

В.В. Шульгов, ст. преподаватель

ПОРИСТОЕ АНОДИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ В ПРИСУТСТВИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ДОБАВОК

К настоящему времени процесс анодного окисления алюминия изучен достаточно глубоко. Одним из способов воздействия на процесс анодирования и на свойства окисла является использование в качестве добавок в традиционные электролиты поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1]. Введение в электролиты, слабо растворяющие окиси, ПАВ позволяет повысить электроизоляционные (пробивное напряжение), механические (прочность, микротвердость, устойчивость к истиранию), защитные характеристики и коррозионную стойкость анодных оксидных пленок (АОП) Al_2O_3 [2].

С целью получения сравнительных данных в качестве ПАВ использовали ряд органических соединений из класса спиртов: триэтанолламин – $(HOCH_2OH)_2$; глицерин – $(CH_2OH)_2$; этиленгликоль – $C_2H_4(OH)_2$; изопропиловый спирт – $(CH_3)CHOH$; этиловый спирт – C_2H_5OH .

Исследования проводили с использованием фоновых растворов 15% серной, 2% щавелевой, 4% ортофосфорной кислот.

Образцы для анодирования получали методом электронно-лучевого испарения алюминия марки А99(Al – 99,99%) на ситалловую подложку типа СТ 50-1, размерами 60 x 48 мм с последующей ее разрезкой на части с размерами 10 x 48 мм.

В результате исследований кинетики процесса анодного окисления алюминия в порообразующих электролитах с добавками ПАВ, изучения коррозионных и электроизоляционных свойств полученных пленок можно сделать следующие выводы:

- при введении добавок ПАВ в порообразующие электролиты существуют предельные концентрации органических соединений, превышение которых не вносит существенного изменения в процессе анодного окисления;

- добавки одного класса ПАВ обладают как катализирующими, так и ингибирующими свойствами в процессе анодирования, характер поведения при этом определяется молекулярным строением органической добавки;

- анодирование в электролитах с добавками, обладающими ингибирующими свойствами, приводит к значительному снижению плотности тока и повышению напряжения анодирования, изменению морфологии оксида;

- при анодировании в электролите с добавкой ПАВ изменяется структура и состав анодного оксида, что приводит к улучшению электроизоляционных свойств пленок оксида.

Наименьшее растворение оксида при анодировании и лучшие электрофизические свойства анодного оксида, в частности, электрическая прочность и удельное объемное сопротивление, получаются при последовательном анодировании вначале в 2% растворе щавелевой кислоты $(\text{COOH})_2$, затем в 4% растворе ортофосфорной кислоты H_3PO_4 с концентрацией триэаноламина 0,5 М. Незначительное уменьшение удельной емкости связано с увеличением толщины барьерного слоя у пористого анодного оксида алюминия.

Таблица 1 – Сравнительные диэлектрические параметры пористых АОП

Параметр	2% щавелево-кислый электролит	2% щавелевокислый электролит + 4% фосфорнокислый с добавкой 0,5 М триэаноламина
Толщина пленки, мкм	50	50
Электрическая прочность, В/мкм	20–22	25–26
Удельное сопротивление, Ом·см	$10^{11} - 10^{12}$	10^{13}
Удельная емкость, пФ/см ²	78–79	70
Диэлектрические потери, $\text{tg}\delta$	0,004	0,004

Литература

1. Щукин, Е.Д. Коллоидная химия / Е.Д. Щукин, А.В.Перцов, Е.А. Амелина – М.: Высш. шк., 2004.

2. Kaur, H., Sharma, L. and Kushwaha, M. Effect of Anionic Surfactant on the Growth of Anodic Nanoporous Aluminum Oxide ECS J. Solid State Sci. Technol. 2016 5(12): M154-M157

Г.С. Гиль, М.В. Дуксин, Н.С. Филимонов, С.А. Юшкевич
(БГУИР, Минск)

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

ИОННО-ЛУЧЕВОЙ СИНТЕЗ ПЛЕНОК SiOC

Уменьшение топологических размеров ИС сопровождается поиском новых конструктивных и технологических решений в процессах создания систем многоуровневой разводки СБИС. 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 ($\epsilon < 3,8$) и с ультранизкой ($\epsilon < 2,2$) диэлектрической проницаемостью для увеличения быстродействия и уменьшения энергопотребления СБИС. Актуальной проблемой является поиск новых материалов с низкой диэлектрической проницаемостью (low-k-диэлектрики) и разработка современных технологий формирования тонкопленочных слоев из этих материалов. Диоксид кремния (SiO_2), широко применяющийся в кремниевой технологии, является одним из перспективных материалов для получения диэлектрических low-k пленок, т.к. изменяя его структуру и состав, можно значительно понизить диэлектрическую проницаемость SiO_2 [1].

Диэлектрическая проницаемость плёнки SiOC уменьшается с ростом содержания углерода, что связано с уменьшением количества связей Si–O, которые имеют ярко выраженную ионную поляризацию [2]. Замещение связей Si–O связями Si–C приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости, т.к. связи Si–C имеют более слабую ионную поляризацию, чем связи Si–O. Углеродсодержащие диэлектрические покрытия чаще всего получают методом химического осаждения из газовой фазы, однако это связано с определёнными трудностями. Такие плёнки сильно адсорбируют воду, что является недопустимым для межуровневого диэлектрика. Поэтому в наших исследованиях мы использовали реактивное ионно-лучевое распыление, которое обеспечивает получение покрытий с плотной структурой [3].

Ионно-лучевой синтез пленок SiOC проводили на модернизированной установке УРМ 3.279.017. В качестве ионного источника использовался двухлучевой плазменный ускоритель с анодным слоем.

Он позволяет формировать два независимых пучка ионов: из верхней ступени в виде полого цилиндра и конусообразный из нижней ступени. Первый пучок предназначен для ионных очистки и бомбардировки, второй – для распыления мишени.

Распыляемая мишень представляла собой диск из кварца высокой чистоты (ТУ 0284409–108–85) диаметром 75 мм и толщиной 10 мм. Остаточный вакуум не превышал $3,3 \cdot 10^{-3}$ Па. Рабочими газами служили аргон и диоксид углерода (CO_2). В качестве подложек использовались чистые кремниевые пластины и кремниевые пластины с нанесёнными на них слоями из никеля. Температура подложки не превышала 343 К. Толщина покрытий определялась по цвету и с помощью микроскопа МИИ-4. Компенсация положительного заряда на мишени осуществлялась термоэлектронами.

Для измерения электрофизических параметров использовались МДМ структуры. Ёмкость, сопротивление и тангенс угла диэлектрических потерь измерялись на частоте 1 МГц с помощью прибора Е7-20.

Покрытия формировались при варьировании парциального давления диоксида углерода от 0 до $2,4 \cdot 10^{-2}$ Па. Ускоряющее напряжение составляло 3 кВ, ток разряда ~ 100 мА, ток термокомпенсатора –13 А. На рисунке 1 приведена зависимость скорости нанесения от парциального давления CO_2 в рабочем газе.

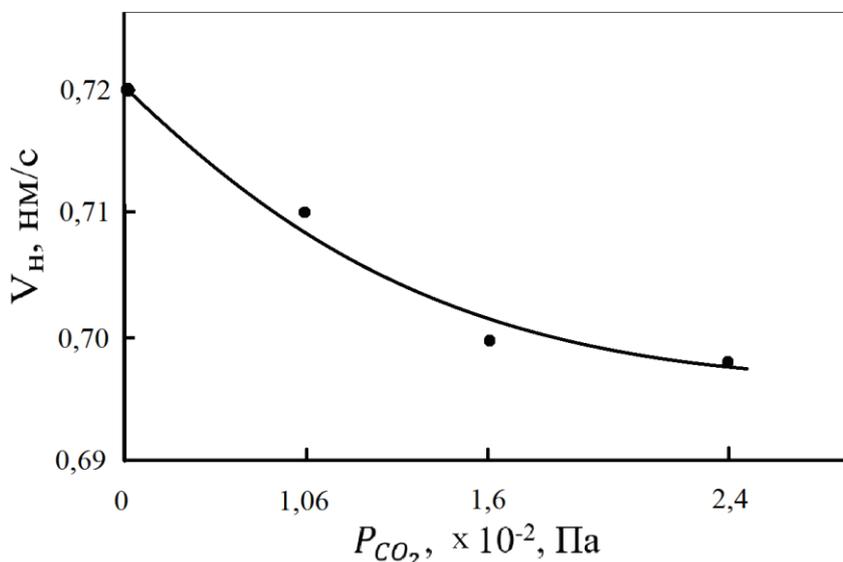


Рисунок 1 – Зависимость скорости нанесения от парциального давления CO_2 при распылении кварцевой мишени

Установлено, что скорость нанесения монотонно снижается с ростом содержания диоксида углерода в рабочем газе.

На рисунке 2 приведены зависимости тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ и удельного объемного сопротивления ρ_v пленок от парциального давления CO_2 .

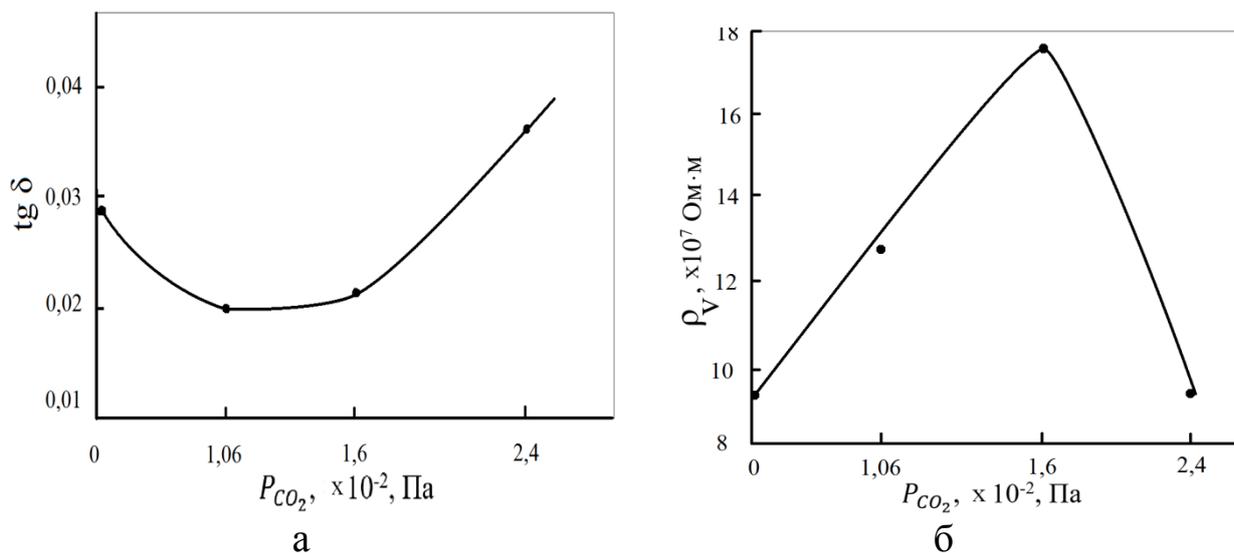


Рисунок 2 – Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь (а) и удельного объемного сопротивления (б) пленок SiOC от парциального давления диоксида углерода

Установлено, что с ростом парциального давления диоксида углерода происходит уменьшение диэлектрических потерь до 0,021. Повышение парциального давления CO_2 приводит к росту тангенса угла диэлектрических потерь до 0,038. Минимальное значение тангенса диэлектрических потерь было достигнуто при давлении диоксида углерода $1,06 \cdot 10^{-2}$ Па, а величина диэлектрической проницаемости при этом составила 3,5.

Увеличение парциального давления CO_2 до $1,1 \cdot 10^{-2}$ Па привело к росту электрического сопротивления пленок. Однако дальнейший рост давления диоксида углерода способствовал резкому снижению удельного объемного сопротивления.

Литература

1. Murarka, S.P. Low dielectric constant materials for interlayer dielectric application/ S.P. Murarka //Solid State Technology. –1996. – №3. – P.83–89.
2. Kim, Y.H. Infrared spectroscopy study of low – dielectric – constant fluorine – incorporated and carbon – incorporated silicon oxide films / Y.H. Kim, M.S. Sung, H.J. Kim // J. of Applied Physics. –2001. –V.90. – №7– P.3367 – 3370.
3. Достанко, А.П. Инфракрасный спектральный анализ SiO_x -пленок, полученных ионно-лучевым распылением кварцевых мишеней / А.П. Достанко, Е.С. Акулич, В.Я. Ширипов, С.А.Соболев // Журнал прикладной спектроскопии. – 1989. – Т.50. – 33. – С. 436–439.

С.О. Гоцко (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **С.А. Зайкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ

В настоящее время широко распространена система управления взаимоотношениями с клиентами [1]. Как известно, взаимоотношения с потребителями тем более ценны, чем дольше предприятие сотрудничает с наиболее выгодными для него потребителями [2].

КУПВКХ «Гроднооблводоканал» сталкивается с проблемой обслуживания потребителей, необходимостью обеспечения интерактивного обслуживания, что обуславливает актуальность выбранной темы в настоящее время.

При написании работы рассматриваются следующие цели:

- изучение современных подходов к управлению взаимоотношениями с потребителями;
- анализ информационных потоков, связанных с деятельностью КУПВКХ «Гроднооблводоканал» и их систематизация;
- разработка предложений по совершенствованию методов управления взаимоотношениями с потребителями на предприятии.

Основными задачами, решаемыми в процессе исследования, являются:

- изучение содержания принципа «ориентация на потребителя» в деятельности организации;
- изучение консультативной системы взаимодействия с потребителями;
- изучение перечня предоставляемых услуг КУПВКХ «Гроднооблводоканал»;
- проведение анализа взаимоотношениями с потребителями;
- моделирование улучшенного процесса рассмотрения обращений потребителей в филиале.

Результатом является консультативная система взаимодействия с потребителями (на примере КУПВКХ «Гроднооблводоканал»).

С целью обеспечения электроснабжения в КУПВКХ «Гроднооблводоканал» организован процесс приема обращений потребителей, так называемой Интернет-приёмной, по вопросам поставки некачественной электрической энергии или прекращения поставки электрической энергии, а также оповещения потребителей о причинах поставки некачественной электрической энергии или прекращения поставки электрической энергии и о планируемых сроках устранения таких нарушений.

От предприятия требуется своевременно и полно отвечать на запросы граждан, поэтому нужно создать хорошо налаженную систему сбора управленческой информации внутри предприятия. Интерактивное обслуживание будет базироваться на официальном сайте КУПВКХ

«Гроднооблводоканал». Это даст возможность интерактивного обслуживания потребителей с учетом развития технологий и пожеланий потребителей, разрабатывая программы мероприятий по повышению качества обслуживания потребителей.

Предлагаемая работа по развитию взаимодействия водоканала с его потребителями дают возможность оценивать удовлетворенность населения в ходе реализации определенных преобразований в водопроводно-канализационном хозяйстве города, а также по их окончании.

Для того чтобы предприятие в современных экономических условиях было успешным, оно должно активно взаимодействовать со своим окружением [3]. Практическая реализация мероприятий по улучшению взаимодействия с потребителями предприятия водопроводно-канализационного хозяйства позволит достичь положительных изменений в социальном аспекте.

Литература

1. Система управления взаимоотношениями с клиентами [Электронный ресурс] / Тата– Минск, 2017. – Режим доступа: <http://fb.ru/article/267761/sistema-upravleniya-vzaimootnosheniyami-s-klientami-osnovnyie-printsipyi>– Дата доступа: 24.09.2016.

2. litportal [Электронный ресурс] / Мартынов– 2003-2018 – Режим доступа: http://studbooks.net/826885/marketing/organizatsiya_protssesa_vzaimootnosheniy_potrebiteleyami– Дата доступа: 17.02.2018.

3. Развитие взаимоотношений с внешним окружением [Электронный ресурс] / Критовский – 2018. – Режим доступа: <http://www.keeresonomic.ru/coreqs-502-4.html>– Дата доступа: 24.10.2017.

Ф.А. Григорьев (БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **И.Н. Ковалёва**, канд. техн. наук, доцент

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

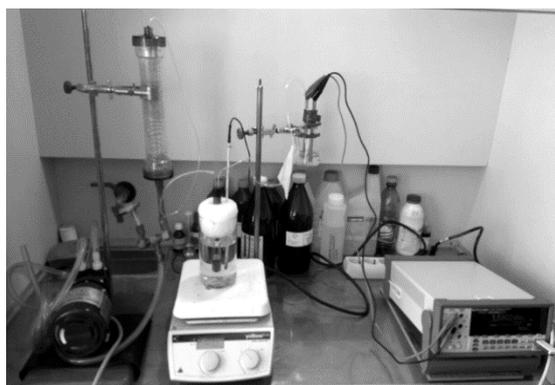
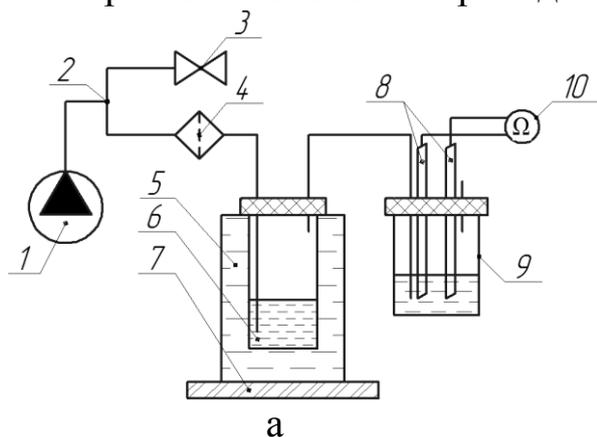
Индустриализация и урбанизация деятельности человека негативно сказываются на окружающей среде. Одним из путей уменьшения экологической нагрузки является применение биоразлагаемых материалов в машиностроении, в частности, использовании растительных масел в качестве смазочных материалов [1-4].

В сравнении с минеральными маслами смазочные материалы на основе растительного сырья дешевле, обладают лучшими триботехническими характеристиками, являются возобновляемым ресурсом и утилизируют-

ся за счет естественных природных факторов и активности биоты. Их основным недостатком является быстрое старение и полимеризация при воздействии эксплуатационных факторов (нагрев, воздействие ультрафиолета) [2, 3]. По этой причине весьма актуальным является изучение процессов окисления растительных масел с целью подбора необходимых присадок.

Целью данной работы является определение окислительной стабильности растительных масел из культур, культивируемых в Беларуси: льна, рапса, кукурузы и подсолнечника. Как показали предварительные исследования, масла из этого сырья характеризуются высокими триботехническими характеристиками и могут служить в качестве базовых [4, 6].

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 31758-2012 [5] по схеме, представленной на рисунке 1. Через нагретые до 110 °С образцы пропускали струю очищенного и осушенного воздуха. Продукты окисления попадали в дистиллированную воду, изменяя ее кислотность. Степень устойчивости масел к окислению оценивали по времени до начала резкого изменения проводимости дистиллированной воды.



- 1 – компрессор воздушный; 2 – тройник-распределитель; 3 – клапан регулировки скорости потока воздуха; 4 – воздушный фильтр-осушитель; 5 – масляная баня; 6 – аэрационный сосуд; 7 – нагревательный элемент; 8 – электроды; 9 – измерительная ячейка; 10 – измерительное и записывающее устройство

Рисунок 1 – Схема (а) установки для определения окисляемости масла по ГОСТ 31758-2012 и ее общий вид (б)

Для нагнетания воздуха через осушитель с силикагелем 4 использовался безмаслянный компрессор 1 модели 400-1902 (DPump, USA). Проба масла в колбе 7 нагревалась в бане 5 с полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-100 (ГОСТ 13032-77), установленной на контролируемый с точностью ± 1 °С нагреватель магнитной мешалки 7 Yellow MAG HS 7 (Mag, Литва). Воздух, пропущенный через нагретое масло, подавался в колбу с дистиллированной водой 9, в которой размещалась пара электродов 8 из нержавеющей стали. Измерение сопротивления между электродами осуществлялось с мультиметром 10 модели 8846А

(Fluke, USA). Пример полученных данных и способ определения окисляемости представлен на рисунке 2. На графике выделялись три области. Первая из них характеризуется падением проводимости, вызванным испарением воды при нагреве. Вторая область характеризуется незначительным увеличением проводимости, соответствующая т.н. индукционному периоду. Третий период (по ГОСТ 31758-2012 – период «неприятного запаха и вкуса») связан с резким возрастанием проводимости. Окислительная стабильность оценивалась по времени, окончанию индукционного периода.

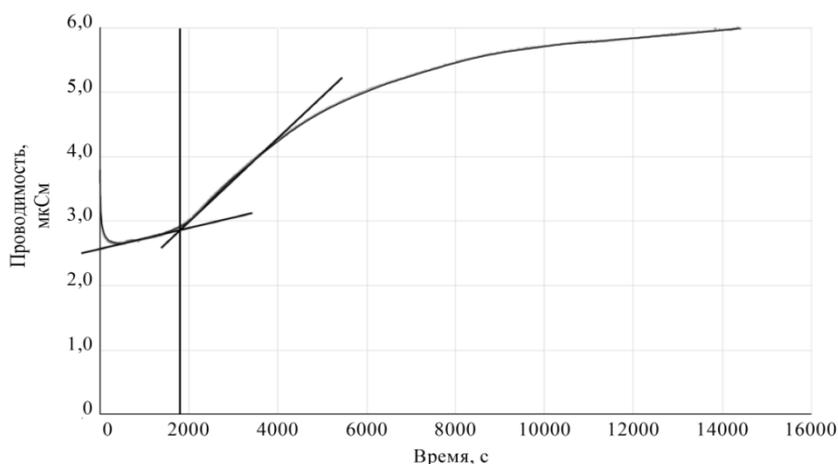


Рисунок 2 – График испытаний льняного масла

Таблица 1 – Физико-механические свойства растительных масел

Испытуемое масло	Плотность [6], кг/м ³	Температура вспышки[6], °С	Окисление, с
Льняное	930	>280	1708
Рапсовое	918–926	280	670
Подсолнечное	916–920	245	620
Кукурузное	917,7	232	500

По результатам исследований (таблица 1) установлена корреляция плотности и температуры вспышки растительных масел с их окислительной стабильностью. Обнаружено, что высокое содержание триглицеридов ненасыщенных жирных кислот способствует преимущественному протеканию процессов полимеризации, а не окисления масел. В совокупности с данными триботехнических испытаний [3] полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности использования в качестве базовых смазок масел из льна и рапса.

Литература

1. Войтов В., Кравцов А., Сысенко И. Перспективы использования растительных масел для изготовления смазочных материалов // Мотрол, 2013 (15), № 7, 56-63.

2. Крачун А.Т., Морарь В.У., Крачун С.В. Исследование смазочных составов некоторых растительных масел // Трение и износ. – 1991(11), № 5, 929–932.

3. Григорьев А. Я., Ковалева И. Н., Крейвайтис Р., Купчинскас А., Падгурскас Ю. Влияние жирнокислотного состава и структуры алкильных радикалов триглицеридов растительных масел на их триботехнические характеристики // Трение и износ. – 2016(37), №6, 755-759

4. N.K. Myshkin, A.Ya. Grigoriev, I.N. Kavaliova Influence of Composition of Plant Oils on Their Tribological Properties// Tribology in Industry, V.39, No 2, 2017, p. 207–210

5. ГОСТ 31758-2012 Жиры и масла животные и растительные. Определение устойчивости к окислению (ускоренное испытание на окисление).

6. Григорьев, Ф.А. Триботехнические свойства рафинированных растительных масел / Ф.А. Григорьев, И.Н. Ковалева // Сборник материалов научно-технической конференции молодых ученых : тез. конф., IV Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования» / ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2016. – 78 с.

A.A. Guji (Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno)
Scientific adviser **A.S. Vorontsov**, PHD, associate professor

INVESTIGATION OF THE FRACTIONAL COMPOSITION OF THE POLYMER POWDER AFTER CRYOGENIC GRINDING

Introduction. Corrosion is the destruction of metals due to their physico-chemical interaction with the environment (aggressive atmosphere, sea water, solutions of salts, acids, alkalis, various grooves, etc.). Under the influence of an aggressive environment in most cases, the occurrence of a corrosion process leads to deeper consequences than the loss of a metal that has thermodynamic instability in real conditions of operation can be self-destructively decomposed into an oxidized state.

This problem becomes one of the most important decisions humanity has been dealing with since ancient times.

The aim of the work is to develop a technology for obtaining and using compositions for protective coatings of automotive components based on polyamides.

Object of study and materials. The object of the research was polymeric materials based on granulated polyamide 6 and dispersed powders based on them, as well as dispersed particles of polyamide 11. The materials chosen as the object of study are the most promising binders and possess the optimal

combination of physicochemical and thermophysical characteristics for the use of the latter as materials for coatings of various functional purposes: protective, tribotechnical, decorative, etc.

Polymer coatings are applied to the working surface of products in order to increase the reliability for the work of parts and components of machines and mechanisms. Coatings from a thickness of a fraction of μm to several mm can provide the required performance characteristics of the parts.

As the object of the study, the commercially available materials polyamide 6 produced by JSC "Grodno Khimvolokno" and polyamide 11, supplied by ELF ATOCHEM (France) under the trademark "Rilsan", were chosen.

Polyamide 6 is a structural polymeric material with good strength and anti-friction properties; chemically resistant to oils, gasoline, alcohol, weak acids, dilute and concentrated alkalis; nontoxic, tropical resistant. Produced as a sheet, block, or core material. Material polyamide 6 perceives shock loads much easier than other rigid materials. The low coefficient of friction of the material polyamide 6 reduces friction wear on parts.

Applied powders of polyamide 6 were obtained by cryogenic grinding. A widely known method for cryogenic grinding of polymers is that the material is cooled by refrigerants, such as, for example, liquid nitrogen, to give it brittleness, after which it is easily crushed in grinders and mills of various designs. The peculiarity of the method of cryogenic grinding is that a fine powder of a polymer with a fragmented particle shape is obtained.

Sieve analysis of the dispersion of polyamide powder particles. For the screening of bulk materials, a screen analyzer was used for the fractions. A set of sieves with a pallet was installed on a vibrating plate. Powder of polyamide 6 was poured into the upper sieve, covered with a lid, the resulting set was fixed with the aid of a fastening device. The fastening device consists of a traverse and a set of studs with nuts and locknuts.

After switching on the vibrator, its plate, together with a set of screens, performs reciprocating screw vibrations; while the material moves along the screen from the center to the periphery in a spiral. Particles of a material smaller than the size of the holes in the screening surface of the screen are spilled through it and fall onto the sieve below, where the cycle is repeated. At the end of the sieving process, the contents of each sieve were weighed and the granulometric composition was determined.

Results and discussion. One of the most effective technological ways to improve the reliability of the work of machine parts and mechanisms is the application of various coatings to the working surface of the products.

A large selection of materials used to create coatings, allows you to provide the desired surface properties (or complex properties) for any details of modern engineering. Conventional construction materials are not always able to meet the requirements for parts of machines and mechanisms operating

under extreme operating conditions. Structural materials of high quality, if they meet such requirements, can be too expensive for their use in mass production.

The next aim of the work is the development of compositions and technology of protective coatings based on polymer - oligomeric matrices for automotive components.

To achieve this goal, it is necessary to solve a number of tasks: 1) to work out a technology for obtaining a homogeneous composition of a powder fraction of a polymer material for coatings based on domestic polymer-oligomeric components; 2) determine the service characteristics of disperse compositions and coatings based on them; 3) to investigate the nature of the change in the tribotechnical characteristics of coatings used on the objects of the real sector of machine-building production (cardan shafts and gears).

To assess the efficiency of the cryogenic grinding equipment of polyamide 6, a sample of 1 kg of material was sampled. The method of vibration shaker analysis was used to separate the particles obtained after cryogenic grinding by fractions.

From the data given (figure 1) it follows that when cryogenic grinding of PA 6 from granulate about 28% is a fraction of 280 ... 400 μm , about 32% is a fraction of 180 ... 280 μm , 10% is a fraction of 80 ... 180 μm , and the total amount of a fraction exceeding 400 μm and less than 80 μm is about 30 %.

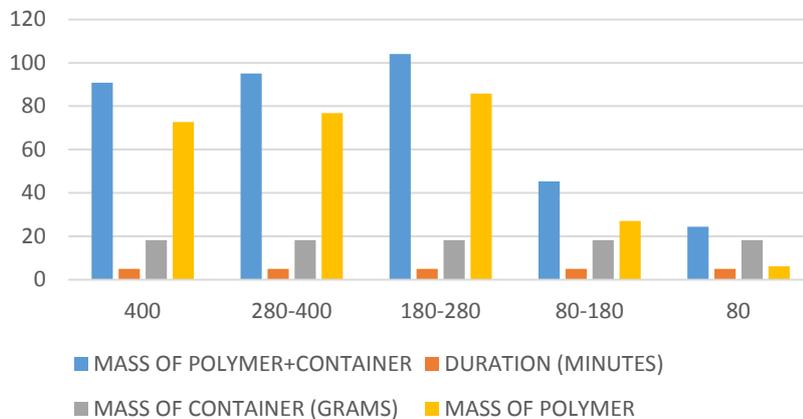


Figure 1 – Dependence for separation of polymer powder

Conclusion. It should be noted that for the production cycle the target fraction is the fraction 80 ... 180 μm , therefore it is recommended to make changes to the operating conditions of the cryogenic grinding line:

- 1) Increase the number of revolutions.
- 2) Reduce the supply of granulate to the zone of simultaneous crushing.
- 3) Increase the refrigerant supply for deeper cooling.
- 4) Reduce the gap between the beams of the crusher.

According to the results of the work, it should be noted that the investigated compositions of granulated and dispersed particles PA 6 and PA 11 can be used as protective and functional coatings for automotive components with the appropriate technology of preparation of materials by cryogenic grinding and coating technology.

Bibliography

1. Dovgyalo, V.A. Composite materials and coatings based on dispersed polymers. Dovgyalo, O.R. Yurkevich. – Minsk: Science and Technology, 1992.
2. Kravchenko, V.I. Cardan gears: structures, materials, application / V.I. Kravchenko, G.A. Kostyukovich, V.A. Struct; Ed. V.A. Struka. – Mn.: Tehnologiya, 2006.
3. Polymer composite materials: structure, properties, technology: training, manual, – cash. Pererab. / Ed. A.A. Berlin - SPb: Professions, 2009.
4. Vorobiev, V.A. Polymer technology: A textbook for high schools. 2 nd ed. / V.A. Vorobiev, R.A. Andrianov. – Pererab. – M.: Higher Education. school, 1980. - 303с.il.

Д.М. Дзагнидзе (БГУ, Минск)

Науч. рук. **Н.Н. Черенда**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЛЕГИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ АТОМАМИ МОЛИБДЕНА И ХРОМА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

Легирование поверхностного слоя материалов дополнительными элементами под воздействием концентрированных потоков частиц позволяет улучшить эксплуатационные свойства поверхности. На первом этапе легирования таким способом происходит нанесение покрытия легирующего материала на образец. Далее осуществляется перемешивание элементов нанесенного покрытия и поверхностного слоя образца под воздействием лазерных, электронных, плазменных, а также ионных потоков. При плавлении перемешивание обеспечивается благодаря конвективному массопереносу в жидкости. Воздействие на расплав большими энергиями ведет к проникновению легирующих элементов на большую глубину. Особый интерес в этом отношении представляют компрессионные плазменные потоки (КПП), генерируемые квазистационарными плазменными ускорителями, с относительно большой дли-

тельностью импульса ~ 100 мкс [1, 2]. Целью данной работы являлось исследование структурно-фазового состояния и трибологических свойств поверхностного слоя стали 3, одновременно легированного атомами хрома и молибдена под воздействием компрессионных плазменных потоков.

Объект исследования, сталь 3, имеет ферритно-перлитную структуру и следующую концентрацию легирующих элементов в вес. %: 0,2 С, 0,2 Si, 0,5 Mn. Нанесение покрытия Mo-Cr осуществлялось методом вакуумно-дугового осаждения одновременно с катодов молибдена и хрома. Осаждение происходило в течение 5 минут при напряжении смещения - 120 В. Толщина покрытия составила ~ 2 мкм, концентрация хрома в покрытии - 15 ат. %. Обработка образцов с покрытием одним импульсом осуществлялась на расстояниях от катода: 14, 12, 8 и 6 см. Тепловая составляющая плотности энергии, поглощенной поверхностью, соответственно имеет значения: 13, 15, 26, 34 и 32 Дж/см². Аномальное значение поглощенной образцом энергии на расстоянии 6 см от катода можно объяснить эрозией материала с поверхности образца под воздействием плазменного потока достаточно высокой энергии. Эксперименты проводили в режиме “остаточного газа”, при котором предварительно откачанную вакуумную камеру МПК заполняли рабочим газом – азотом до давления 400 Па.

Структурно-фазовое состояние поверхностного слоя исследовалось методом рентгеноструктурного анализа с помощью дифрактометра Rigaku Ultima IV в излучении CuK α в фокусировке параллельных пучков. Микроструктура поперечных шлифов образцов изучалась с использованием растрового электронного микроскопа LEO1455VP. Элементный состав поверхностного слоя исследовался с помощью энергодисперсионного микроанализатора Oxford Instruments, сопряженного с растровым электронным микроскопом. Относительная погрешность определения концентрации элементов не превышала 10 %. Измерения микротвердости по Виккерсу проводили на микротвердомере ПМТЗ при нагрузке 0,98 Н, время выдержки под нагрузкой 10 с.

Анализ поперечного сечения образцов, проведенный с помощью растровой электронной микроскопии, показал, что воздействие КПП на систему (Mo, Cr)/сталь 3 приводит к формированию поверхностного слоя стали, легированного атомами молибдена и хрома. Однородность распределения легирующих элементов в слоях увеличивается с увеличением энергии воздействия (рисунок 1).

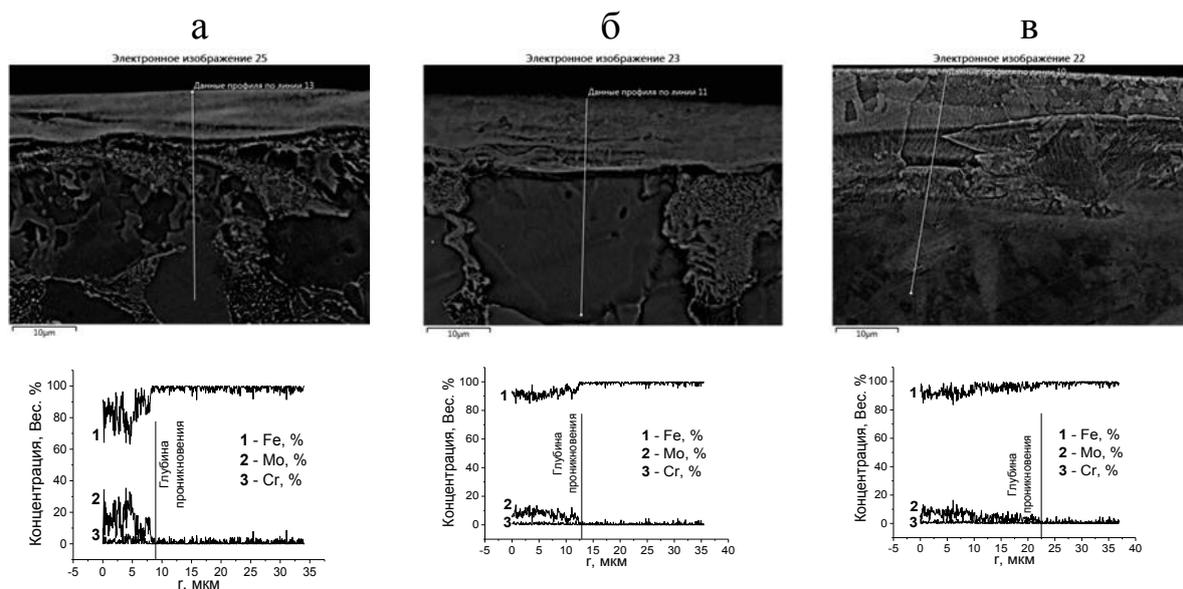


Рисунок 1 – Снимки участков поперечного сечения образцов, обработанных одним импульсом в следующих режимах: а) $l = 12$; б) $l = 8$ в) $l = 6$ и соответствующие им распределения элементов по линии

Толщина легированного слоя при воздействии одним импульсом на расстоянии от катода в 12 см составляет ~ 10 мкм. Сокращение расстояния от катода до 8 и 6 см позволяет добиться проникновения легирующих элементов соответственно на глубины ~ 13 и 20 мкм. Так же, уменьшением расстояния от катода происходит уменьшение концентрации Мо и Сг в легированном слое (рисунок 2).

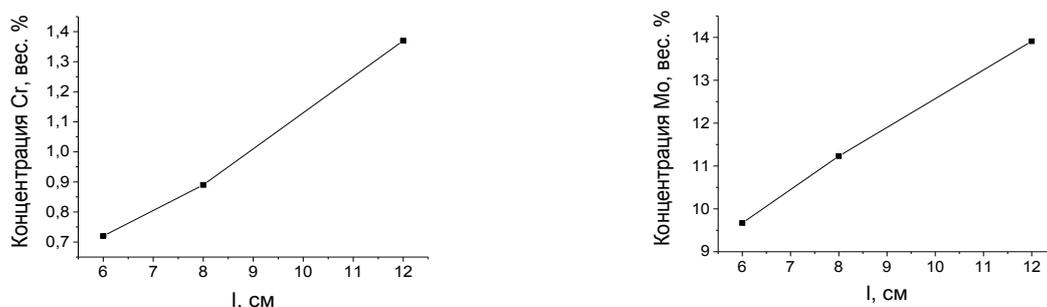


Рисунок 2 – Зависимость концентрации легирующих элементов в поверхностном слое стали от расстояния между катодом и образцом

Уменьшению концентрации легирующих элементов в поверхностном слое так же способствует эрозия поверхности при плазменном воздействии, основным механизмом которого является гидродинамическое течение расплава, под действием давления растекающегося вдоль поверхности плазменного потока [3]. Следует отметить, что соотношение концентраций Мо и Сг в легированном слое (в пределах погрешности) соответствует соотношению концентраций в покрытии. Таким образом, варьирование токов дуг при нанесении покрытия, определяющих в нем концентрацию

элементов, а также режимов плазменного воздействия позволяет добиться необходимой концентрации элементов в легированном слое.

Результаты фазового анализа образцов до и после воздействия представлены на рисунке 3. Как видно, после воздействия легированный слой содержит твердые растворы на основе α -Fe и γ -Fe.

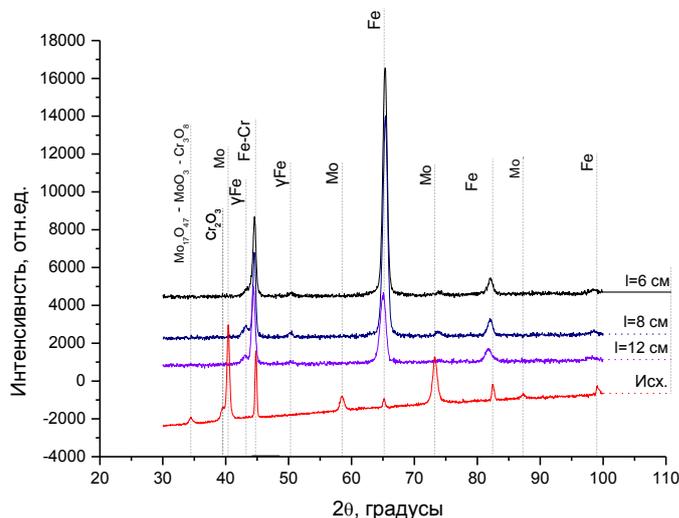


Рисунок 3 – Дифрактограммы исходного образца системы (Mo,Cr)/Сталь 3 (Исх.) и образцов, обработанных одним импульсом КПП на различных расстояниях (l, см) от катода

Уменьшение расстояния от катода так же способствует увеличению значения постоянной решетки α -Fe (рисунок 4), свидетельствует об образовании твердых растворов замещения α -Fe(Mo, Cr).

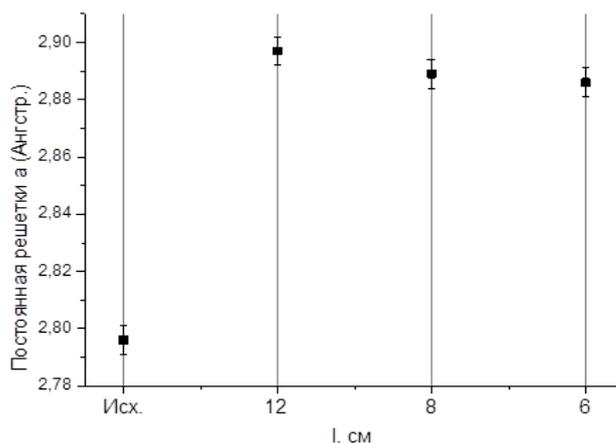


Рисунок 4 – Зависимость величины постоянной решетки α -Fe от расстояния до катода при облучении одним импульсом

Атомы молибдена могут входить как в состав твердого раствора α -фазы, так и формировать интерметаллид Fe_2Mo , однако дифракционные линии этого интерметаллида обнаружены не были.

Согласно равновесным бинарным диаграммам состояния Fe-Cr и Fe-Mo можно предположить, что все атомы Cr могут войти в твердый раствор на основе α -Fe. Существование же γ -Fe, как было показано ранее, обусловлено диффузией азота из остаточной атмосферы вакуумной камеры в поверхностный слой и формированием азотистого аустенита в поверхностном слое.

Структурно-фазовые изменения в поверхностном слое обуславливают модификацию свойств поверхности, в частности, прочностных (рисунок 3). Увеличение значения плотности поглощенной энергии ведет к росту микротвердости. При сокращении расстояния до катода с 12 до 6 см наблюдается увеличение микротвердости с 325 до 395 HV, в то время, как микротвердость исходного образца имеет значение 189.15 HV.

Изменение плотности поглощенной энергии так же сказывается на трибологических свойствах поверхностного слоя обработанного образца. Результаты трибологических испытаний выявили зависимость длины участка приработки от расстояния от катода до образца (рисунок 5).

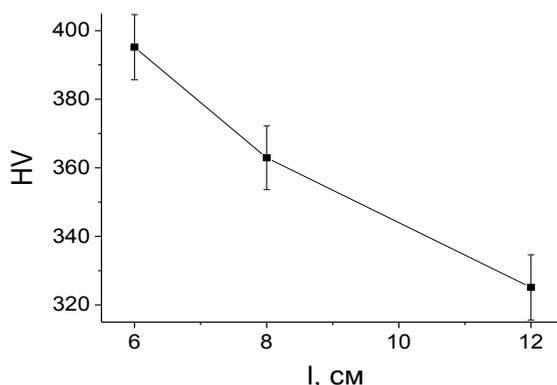


Рисунок 5 – Зависимость микротвердости поверхностного слоя стали от расстояния между катодом и образцом

Уменьшение расстояния с 12 до 6 см позволяет увеличить путь приработки, что свидетельствует об увеличении износостойкости поверхностного слоя.

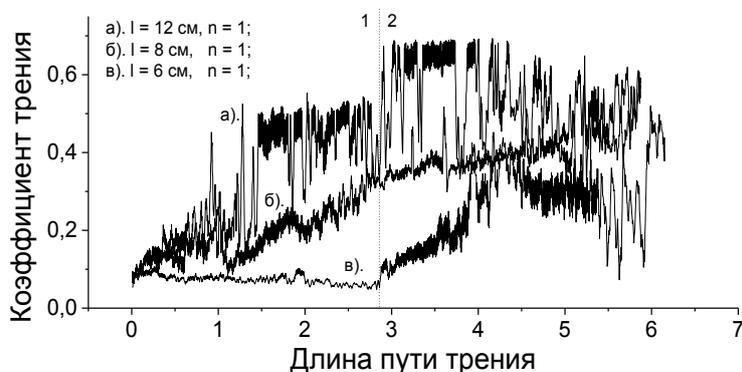


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента трения от длины пути трения для образцов, обработанных одним импульсом на различных расстояниях от катода

Таким образом, воздействие компрессионных плазменных потоков на систему покрытие/подложка позволяет легировать поверхностный слой подложки элементами покрытия. Увеличение плотности энергии, поглощенной поверхностью обеспечивает более глубокое и равномерное распределение легирующих элементов. Кроме того, увеличение плотности энергии приводит к увеличению микротвердости и износостойкости поверхностного слоя стали.

Литература

1. B.A. Kalin, V.L. Yakushin, V.I. Vasiliev, S.S. Tserevitinov. Surface and Coatings Technology, vol. 96, 1997, 110-116.
2. В.В.Углов, Н.Н.Черенда, В.М.Анищик, В.М.Асташинский, Н.Т.Квасов, Модификация материалов компрессионными плазменными потоками, Минск: БГУ, 2013, 248 с.
3. V.I. Tereshin, I.E. Garkusha, A.N. Bandura, et.al. J. Nucl. Mater., vol. 313–316, 2003, 685–689.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА РЕСУРС РАБОТЫ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Введение. В настоящее время в мебельной промышленности и столярном производстве широко используются облицованные ДСП и плиты МДФ. Эти древесные плитные материалы относятся к труднообрабатываемым, так как содержат абразивосодержащие частицы, древесные элементы разной плотности, смолы, клей и т.д. У алмазного деревообрабатывающего инструмента есть и недостаток: высокая скорость резания, которая требует оптимально подобранных режимов резания и качества обрабатываемых плитных материалов. Ввиду этого могут появляться эксплуатационные дефекты: сколы, налипание смол и древесной пыли, нагар.

Так как инструмент имеет сложное геометрическое исполнение, механическая очистка поверхности не представляется возможной. Поэтому наиболее перспективным способом очистки можно назвать ультразвуковую очистку инструмента. Однако среди недостатков метода – невозможность удаления нагара, скапливающегося на инструменте в процессе работы.

Поэтому в работе определена цель – разработка технологических режимов ультразвуковой обработки деревообрабатывающего инструмента.

Материалы и методы исследования. Традиционно очистка инструмента подразумевает использование химических средств – хлорированных или фторированных растворителей, щелочей, кислот, обезжиривателей, спиртов, либо механическую очистку с помощью абразивов или щеток.

В ультразвуковых ваннах в качестве рабочей среды выступает вода, которая справляется с налипшей стружкой и смолами, однако избавиться от нагара не удастся.

Было принято решение создать более активную рабочую среду за счет добавления мелкодисперсного абразива, который, в сочетании с ультразвуковой кавитацией, позволит добиться полной очистки поверхности инструмента от нагара. В качестве наполнителя выступил кварцевый песок с фракцией ($d \leq 0.5$ мм.), применяемый в пескоструйных установках. Для процесса обработки были подобраны следующие технологические режимы: температура рабочей среды – 35 °С; время обработки – 15 минут; частота генератора – 35 кГц.

Объектом исследований в представленной работе является высокопроизводительная алмазная фреза Leuco Diamax Z2+2 (рисунок 1).

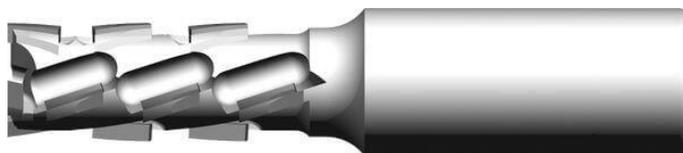


Рисунок 1 – Фреза Leuco Diamax Z2+2

Исследование было проведено на базе предприятия ООО «АРКалмаз» (г. Гродно), которое занимается сервисным обслуживанием деревообрабатывающего инструмента. В ультразвуковую ванну «Сапфир» ТТЦ была помещена дополнительная емкость, дабы избежать повреждения пьезоэлектрических элементов установки. Надо понимать, что такое решение накладывает ограничения на габаритные размеры обрабатываемого инструмента, в данном эксперименте использовалась концевая алмазная фреза длиной 105 мм. Проведены натурные испытания инструмента на фрезерном станке с ЧПУ.

Результаты и их обсуждение. По результатам работы на операции обгонки плитного материала МДФ можно отметить повышение ресурса инструмента и возможность обеспечения работы на повышенных режимах резания, по сравнению с инструментом, восстановленным обычным способом.

Ультразвуковая ванна «Сапфир» ТТЦ представляет собой ёмкость из нержавеющей стали (встречаются и другие материалы), ко дну или стенкам которой прикреплены ультразвуковые преобразователи (излучатели), обычно пьезоэлектрические. На преобразователи подаётся переменное напряжение соответствующей частоты с электронного ультразвукового генератора.

Рассматриваемая в данной работе алмазная концевая фреза используется на предприятии «ЗОВ-Плита» для обгонки по контуру мебельных фасадов из плитного материала МДФ. Срок ее непрерывной эксплуатации составляет 2 смены (16 часов). За это время обрабатывается около 4500 погонных метров материала. В результате наблюдается потеря режущих характеристик рабочей кромки, налипание стружки в пазухах отводящих каналов и нагар вследствие чрезмерно высоких оборотов вращения.

Для последующего ввода в эксплуатацию инструмент предлагается традиционно очищается в ультразвуковой ванне и подлежит последующей заточке электроэрозионным методом. Предлагаемое решение заключается в применении абразивного наполнителя в ультразвуковой ванне для более грубой очистки инструмента. В качестве наполнителя применяли кварцевый песок высокой дисперсности ($d \leq 0.5$ мм.), традиционно используемый в пескоструйных установках.

Песок разбавляется с водой в таре малой емкости и помещается в корзину ультразвуковой ванны. Фреза помещается в нее таким образом, чтобы ее верхняя часть, наиболее подверженная нагару, была погружена в песок на дне емкости.

На пульте управления ванной выставляются режимы обработки: время – 15 минут, максимальная температура жидкости – 35 °С. В результате обработки в ультразвуковой ванне с использованием наполнителя был полностью удален нагар с верхней (врезной) части фрезы и частично с корпуса, чего не удавалось достичь при помощи традиционных методов очистки.

По результатам можно сделать вывод о том, что инструмент готов к вводу в эксплуатацию, так как отклонение каждого зуба не больше допустимых значений (0,03 мм.).

Заключение. Для усиления эффективности ультразвуковой очистки поверхностного слоя инструмента предложено создать более активную рабочую среду за счет добавления мелкодисперсного абразива. Результат удалось достичь благодаря сочетанию следующих технологических режимов: температура рабочей среды – 35 °С; время обработки – 15 минут; частота генератора – 35 кГц.

Технологическое решение позволило на 8 % повысить ресурс эксплуатации деревообрабатывающего инструмента фреза Leuco Diamax Z 2+2.

Литература

1. Амалицкий, В.В. Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий / В.В. Амалицкий; под ред. В.И. Сапева. – М: Экология, 1992. – 560 с.
2. Глебов, И. Т. Справочник по дереворежущему инструменту / И. Т. Глебов, Д. В. Неустроев. – Урал. гос. лесотехн. акад.: Екатеринбург, 2000. – 253 с.
3. АKE Cutting&Better [Электронный ресурс] / Деревообрабатывающий инструмент АKE. – Москва, 2010. – Режим доступа: <http://www.mi-tools.ru>. – Дата доступа: 24.12.2017.
4. FREUD Russia [Электронный ресурс] / Freud – деревообрабатывающий инструмент из Италии. – Москва, 2011. – Режим доступа: <http://www.freudtools.com>. – Дата доступа: 08.12.2017.

М.П. Ермоленко (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СБОРКИ КАРДАННЫХ ВАЛОВ

Введение. Повышение качественных характеристик продукции машиностроительного назначения делает ее более конкурентоспособной на мировом рынке. Применительно к карданным валам важнейшим показателем наряду с конструкционной прочностью является достижение минимальных показателей по вибродинамическим нагрузкам. Ключевым фактором на пути выполнения данного критерия является балансировка не только отдельных деталей, но и узла в целом. Стадия сборки узлов карданных передач является наиболее ответственной, поэтому представленная тема является весьма актуальной для машиностроительной отрасли.

Основное содержание работы. Разработана конструкция приспособления, которая позволяет собирать на установке 7690–2342 карданные валы различных типоразмеров (VI, VII, VIII) (рисунок 1).

Эффективность эксплуатации данного приспособления обусловлена быстрой переналадкой за счет замены стоек и «ложных подшипников» для разных размеров фланцев. На приспособлении реализована возможность узловой сборки, совмещенной с общей сборкой карданных валов на одном приспособлении.

Проектирование основных узлов и комплектующих осуществляли с использованием программного продукта AutoCAD.

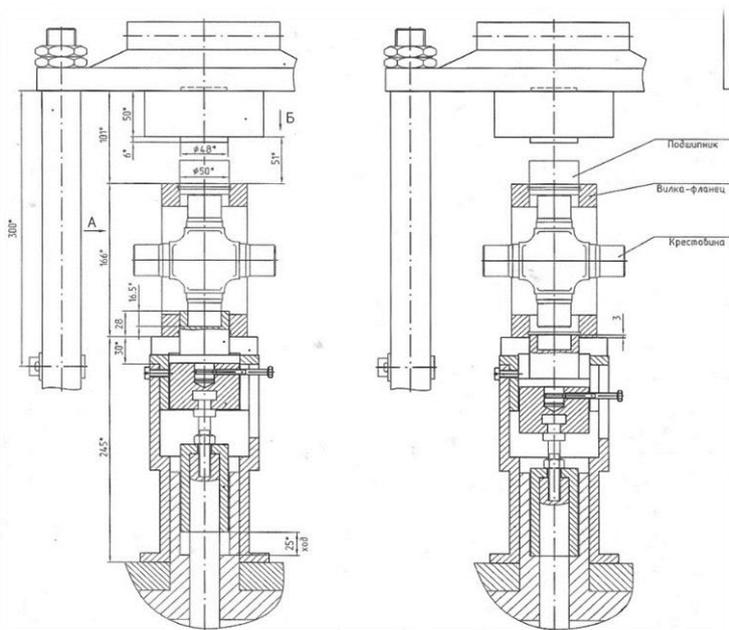


Рисунок 1 – Сборочный чертеж наладки приспособления для сборки карданных валов

Радиальный и осевой зазоры в шарнире или их суммарное значение измеряли с точностью не менее 0,01 мм. Значения зазоров допускается определять по результатам измерений размеров крестовины и подшипников с учетом возможных осевых перемещений (вдоль шипов крестовины) в соединениях «подшипник-вилка». При выполнении измерений момента поворота шарнира выполняли по стандартной схеме измерения момента поворота шарнира. За момент поворота шарнира карданной передачи принимали наибольшую величину из измеренных моментов. Измерения проводили с точностью до 2,5% от заданной в конструкторской документации величины.

Оценку изменения угла дисбаланса карданного вала проводили на станке МС9Б732 динамической балансировки карданных валов, который предназначен для балансировки двухопорных карданных валов. На станке определяли значение и угловое положение дисбаланса в двух плоскостях коррекции.

Практическая значимость состоит в усовершенствовании и упрощении процесса сборки узлов карданных валов, что подтверждается проведенными исследованиями.

В качестве объекта исследования при проведении испытаний использовали шарниры с крестовиной и подшипниками в сборе модели 53205-2205025-10 с размерами по торцам подшипников равным 155 мм и наружным диаметром подшипника равным 50 мм. Результаты испытаний суммарного зазора представлены на рисунке 2, момента поворота на рисунке 3.

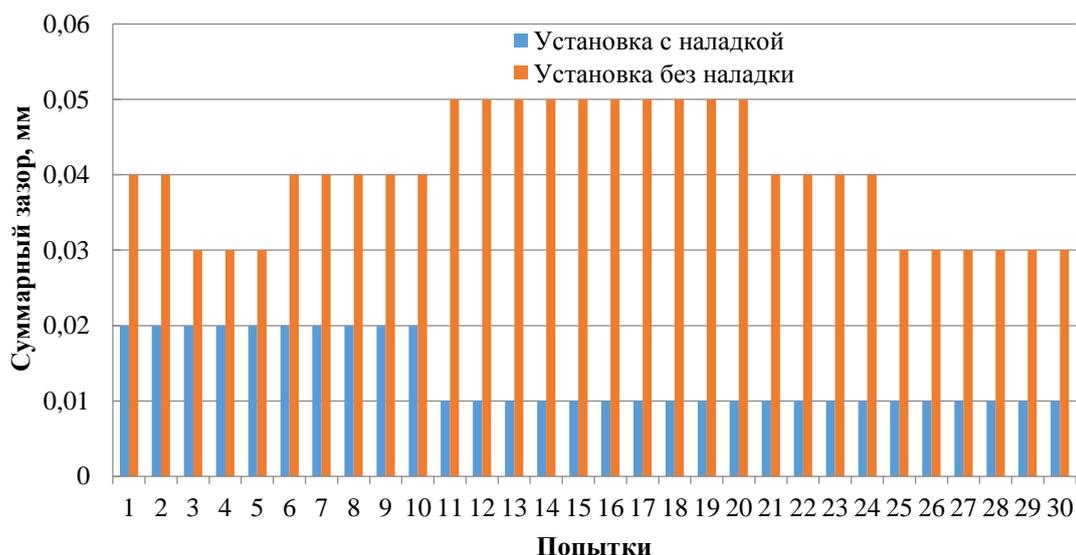


Рисунок 2 – Суммарный осевой зазор шарнира с крестовиной и подшипниками в сборе модели 53205-2205025-10

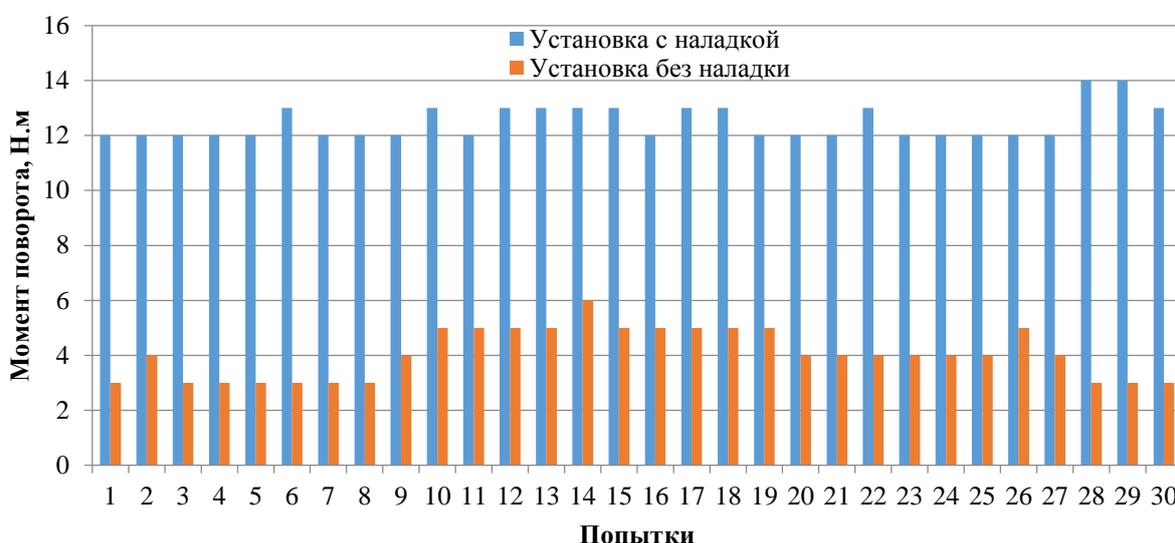


Рисунок 3 – Момент поворота шарнира с крестовиной и подшипниками в сборе модели 53205-2205025-10

При использовании предложенного приспособления уменьшился межосевой зазор вдоль шипов крестовины шарнира карданного вала и увеличился момент поворота, что обеспечивает повышение срока службы карданного вала, так как большие величины межосевого зазора вдоль шипов крестовины могут привести к последующей разбалансировке карданного вала в процессе эксплуатации.

Заключение. При сборке карданных валов на установке 7690-2342 с предложенной наладкой устранение дисбаланса занимает меньшее количество времени, в связи с уменьшением межосевого зазора вдоль шипов крестовины и увеличением момента поворота, увеличился момент поворота шарниров карданных валов, что увеличивает ресурс и долговечность изделия. Благодаря использованию дополнительной стойки

для поддержки фланец-вилки при сборке узла, обеспечивается более точное позиционирование оси крестовины с осью фланец-вилки.

Литература

1. Тарабарин, О.И. Проектирование технологической оснастки в машиностроении / О.И. Тарабарин, А.П. Абызов, В.Б. Ступко. – Санкт-Петербург: Лань, 2013 г. – 304 с.

2. Горохов, В.А. Проектирование технологической оснастки / В.А. Горохов, А.Г. Схиртладзе, И.А. Коротков – Москва: ТНТ, 2012 г. – 432 с.

3. Иванов, С.Н. Карданные передачи ведущих валов трансмиссий машин и систем (конструкции, теория, расчет, испытания, эксплуатация, ремонт) / С.Н. Иванов. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2014. – 232 с.

4. Лукин, П.П. Конструирование и расчет автомобиля / П.П. Лукин, Г.А. Гаспарянц, В.Ф. Родионов. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.

Д.С. Ерш, А.И. Протасеня (БГУ, Минск)

Науч. рук. **Ю.М. Покотило**, канд. физ.-мат. наук, доцент,

А.Н. Петух, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

РАДИАЦИОННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НЕЙТРОНАМИ

Целью настоящей работы стало исследование радиационной стойкости детектора ионизирующего излучения, изготовленного из зонного кремния.

Время жизни неравновесных носителей заряда у полупроводников является наиболее чувствительным электрофизическим параметром к облучению. В тоже время, время жизни неравновесных носителей заряда является наиболее важным электрофизическим параметром, характеризующим как качество и состояние полупроводников, так и качество, и состояние детектора ионизирующего излучения. Поэтому о влиянии радиационного излучения на детектор мы будем судить по изменению времени жизни. В настоящей работе измерение времени жизни проводилось методом переключения напряжения на полупроводниковом диоде с прямого на обратное [1]. Измерения параметров радиационных дефектов осуществлялось с помощью нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней [1]. Облучение образцов проводилось быстрыми нейтронами флюенсом $1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$.

В таблице 1 представлены параметры радиационных дефектов, найденные из емкостных измерений.

Таблица 1 – Результаты сравнения экспериментальных и литературных данных, идентификация дефектов для образца, облученного нейтронами

	Энергия ионизации, эВ		Сечение захвата электронов, см ²		Название дефекта
	экспериментальные данные	литературные данные	экспериментальные данные	литературные данные	
E1	0,201	0,174	$0,8 \cdot 10^{-13}$	$6 \cdot 10^{-15}$	VO+CiCs А-центр +междоузельный углерод-углерод
E2	0,259	0,246	$1 \cdot 10^{-14}$	$3,1 \cdot 10^{-15}$	VV ^(=/-) дивакансия
E4	0,415	0,423	$7,8 \cdot 10^{-16}$	$1,1 \cdot 10^{-15}$	VV ^(-/0) дивакансия

Из анализа данных таблицы видно, что основной вклад в дефектообразование вносит дефект E4, концентрация, которого наиболее велика и который вносит наиболее существенный вклад. Два других дефекта не вносят существенный вклад в деградацию времени жизни не основных носителей заряда. Чтобы показать это более наглядно, можно провести анализ зависимостей отжига дефектов от температуры отжига и связать их с зависимостью времени жизни от температуры отжига, которые изображены на рисунке 1.

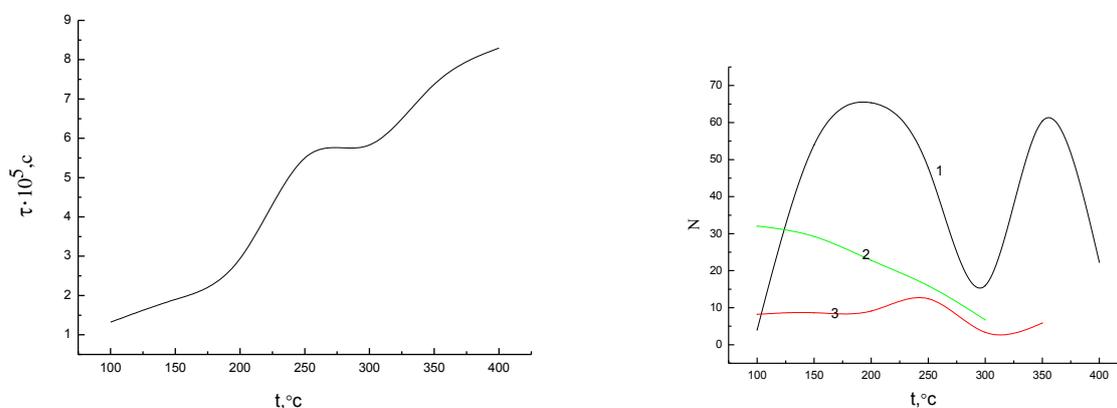


Рисунок 1 – а – зависимость времени жизни неосновных носителей заряда от температуры отжига; б – отжиг дефектов: 1 – E-центр, 2 – VV дивакансия, 3 – кластер дивакансий

Анализируя зависимости, изображенные на рисунке 1 (образец облученный нейтронами) видно, что на первом этапе до 200°C мы наблюдаем увеличение концентрации E-центров и в тоже время увеличение времени жизни неосновных носителей, т.е. его восстановление, т.к. до облучения время жизни неосновных носителей составляло 100мкс. Это вызвано скорее всего влиянием остальных дефектов. На втором этапе начиная с 200°C отжиг времени жизни полностью коррелирует

с отжигом E-центра, а остальные два дефекта не дают вклад. Полочка – время жизни остается постоянным – предположительно вызвана одновременным уменьшением концентрации E-центров и образованием VV дивакансий, с последующим созданием из них кластеров дивакансий, которые в дальнейшем распадаются и отжигаются. Время жизни восстанавливается до первоначального значения. Два первых дефекта отжигаются при температурах 300°C и 350°C и не оказывают существенного влияния на время жизни. Отжиг E-центры при 300°C и VV дивакансии при 400°C и повышенная их концентрация в результате облучения нейтронами ведет к восстановлению значения времени жизни.

Таким образом, восстановление времени жизни неосновных носителей в облученном нейтронами детекторе происходит в две стадии: на первом этапе коррелирует с отжигом E-центра при 300°C, а на втором этапе предположительно с образованием кластеров VV (дивакансии) при 400°C и последующим их отжигом.

Литература

1. Берман Л.С., Лебедев А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. - Ленинград: Наука. 1981. – 175 с.
2. Влияние электронного облучения при 300 ÷ 800 К на параметры кремневых p–n-структур / Ф.П. Коршунов, Ю.В. Богатырев, С.Б. Ластовский, В.П. Маркевич, Л.И. Мурин, С.В. Шпаковский // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф., Минск, 25–26 сент. 2008 г. / ред. кол.: В.Б. Оджаев (отв. ред.) [и др.]. – Мн: БГУ, 2008. – С. 171–175.

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

СМАЗКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

При литье под давлением алюминиевых сплавов непременным условием является нанесение разделительных покрытий (смазок), на рабочую поверхность пресс-формы при каждом цикле изготовления отливки, обеспечивающим беззадирное извлечение отливки из пресс-формы. При этом смазки не должны оказывать негативного воздействия на качество поверхности отливки, быть экологически безопасными [1–3].

Используемые в настоящее время смазки, как правило, представляют собой дисперсные системы. Дисперсной фазой в них являются

смазывающие вещества (одно или несколько). В качестве смазывающих веществ, все еще применяются тяжелые минеральные масла, имеющие высокую температуру вспышки, в некоторых случаях животные и растительные жиры и их производные, а также озокерит, парафин и др. Следует отметить, что упомянутые выше смазывающие компоненты разделительных покрытий морально устарели и не отвечают предъявляемым к ним требованиям, как по термической устойчивости, так и по качеству получаемых отливок [2, 3].

С точки зрения термической устойчивости и разделяющей способности в качестве основы смазки, для литья под давлением была принята полиметилсилоксановая жидкость ПМС 400 ГОСТ 13032–77 в количестве 25 % [1–3]. В качестве добавки использовали техническую олеиновую кислоту марки Б14 ГОСТ 7580–91 (15 %). С экологической точки зрения в качестве дисперсионной среды использовали воду. Основное назначение дисперсионной среды – транспортировка смазывающих веществ к поверхности пресс-формы и регулирование температурного режима пресс-формы, дополнительное – регулирование концентрации смазывающих веществ в составе наносимой смазки. Однако все упомянутые компоненты, входящие в состав смазки относятся к гидрофобным материалам, что существенно затрудняет получение водной эмульсии на их основе. Таким образом, задача разработки смазок с высокой седиментационной устойчивостью усложняется необходимостью качественного подбора поверхностно-активных веществ (ПАВ). ПАВы можно разделить на ионогенные и неионогенные [4]. К ионогенным относят анионные и катионные ПАВ.

Использование неионогенных ПАВ при приготовлении состава смазки связано с их биполярностью, которая позволяет связывать в устойчивую мицеллу основной смазывающий компонент и молекулы разбавителя, а также для понижения поверхностного натяжения на границе раздела мономер-вода. Катионные ПАВ для получения эмульсий не использовались, т.к. они эффективны лишь при наличии кислой среды, которая в свою очередь приводит к коррозии поверхности пресс-формы. Анионные ПАВ, образующие комплексы только со смазывающими компонентами, могут быть рекомендованы для получения эмульсий с высокой седиментационной устойчивостью [3, 4].

Цель работы является разработка состава водоэмульсионной смазки для литья под давлением алюминиевых сплавов с высокой седиментационной устойчивостью (СУ).

Для приготовления составов смазки использовали двухлопастной лабораторный смеситель с частотой вращения лопаток 1250 мин^{-1} . Точное дозирование компонентов смазки перед перемешиванием производилось объемным методом с использованием цилиндра 1-100-1 ГОСТ

1770–74 вместимостью 100 мл и ценой деления 1,0 мл. Подогрев компонентов смазки проводили с использованием стационарной электрической плитки. Температура подогрева компонентов смазки перед перемешиванием составляла 80 °С и контролировалась при помощи термометра А1 ГОСТ 28498–90 с ценой деления 1 °С. Время перемешивания исходных компонентов составляло 10 мин.

После перемешивания компонентов отбиралась проба приготовленного состава смазки в пробирки диаметром 12 мм, которые помещались в штатив, с целью определения СУ приготовленного разделительного покрытия. СУ полученной эмульсии определялась временем до появления признаков расслоения эмульсии.

При проведении исследований было опробовано свыше 20 ПАВ, используемых в различных отраслях народного хозяйства. Количество добавки ПАВ во всех случаях составляло 2,5 %. Исходная седиментационная устойчивость приготовленных эмульсий с использованием выбранных ПАВ находилась в пределах от 2–14 часов.

Увеличение в составе смазки количества ПАВ до 5 % не приводило к значительному повышению седиментационной устойчивости эмульсии. Так при увеличении количества ПАВ в 2 раза седиментационная устойчивость выросла в среднем на 0,8–1,5 часа. Можно предположить, что причинами, препятствующими получению эмульсии с высокой седиментационной устойчивостью, является высокая вязкость полиметилсилоксановых жидкостей, которая незначительно изменяется с повышением температуры, а также недостаточно сильная эмульгирующая способность исследуемых ПАВ.

Было принято решение опробовать при приготовлении состава смазки комбинацию анионного и неионогенного ПАВ в пропорции 1:1. В качестве анионного ПАВ выступал триэтаноламин, неионогенного – оксиэтилированный моноалкилфенол на основе триммеров изононила.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что при приготовлении состава водоземulsionной смазки с использованием комбинации анионного и неионогенного ПАВ в пропорции 1:1, седиментационная устойчивость эмульсии на основе кремнийорганических полимеров с добавкой олеиновой кислоты увеличилась более чем в 200 раз и составила более 280 часов.

Литература

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

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. Зеленов, В. Н. Смазка пресс-форм литья под давлением / В. Н. Зеленов, Л. Е. Кисиленко. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 4–5.

4. Артеменко, А. И. Справочное руководство по химии / А. И. Артеменко, И. В. Тикунова, В. А. Малеванный. – М.: Высшая школа, 2003. – С. 284–285.

Д.В. Желудкевич (БГУ, Минск)

Науч. рук. **Д.В. Карпинский**, кан. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОСТАВОВ $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВБЛИЗИ ФАЗОВОЙ ГРАНИЦЫ РОМБОЭДР – ОРТОРОМБ

Проведено исследование кристаллической структуры и пьезоэлектрических свойств твердых растворов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ ($x = 0.11 - 0.13$) при изменении температуры. Установлено, что увеличение температуры приводит к изменению кристаллической структуры составов из полярной ромбоэдрической в неполярную орторомбическую. Пьезоэлектрический сигнал измеренный методом силовой микроскопии пьезоотклика увеличивается вблизи морфотропной фазовой границы ромбоэдр – орторомб, увеличение пьезоотклика обусловлено воздействием «внешней» компоненты пьезоэлектрического сигнала, связанной с движением доменных стенок.

Введение

Мультиферроики на основе феррита висмута с составом вблизи концентрационных фазовых переходов в последнее время являются предметом интенсивных исследований [1-5]. Значительное улучшение физических свойств твердых растворов на основе BiFeO_3 вблизи фазовых границ наблюдается при замещении ионов висмута редкоземельным ионом - Sm. Малый ионный радиус ионов самария способствует тому, что область двухфазного структурного состояния ромбоэдр-орторомб сужается, что обуславливает снижение структурной стабильности составов при внешних воздействиях (электрическое и магнитное поле, давление и др.). Результаты имеющихся исследований свидетельствуют о том, что замещение ионов висмута ионами редкоземельных элементов

приводит к уменьшению параметров элементарной ячейки, при уменьшении объема ячейки до некоторого критического значения происходит структурное превращение в орторомбическую фазу.

В настоящей работе представлены результаты исследования кристаллической структуры и пьезоэлектрических свойств твердых растворов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ с составами вблизи концентрационного фазового перехода ромбоэдр-орторомб.

Экспериментальная часть

Синтез керамических образцов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ проводился методом двухступенчатого твердофазного синтеза из исходных доз Bi_2O_3 , Sm_2O_3 , Fe_2O_3 . Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометрах Rigaku D/MAX-B и ДРОН-3М. Электромеханические свойства составов исследовались методом силовой микроскопии пьезоотклика (СМП) с помощью установки NTEGRA Prima (NT-MDT).

Результаты и обсуждение

На основании данных рентгеноструктурных исследований состава $\text{Bi}_{0.89}\text{Sm}_{0.11}\text{FeO}_3$ была оценена эволюция фаз при изменении температуры в диапазоне от 30 °С до 400 °С. На рисунке 1 наблюдается изменение интенсивностей структурных рефлексов характерных для ромбоэдрической и неполярной орторомбической фаз.

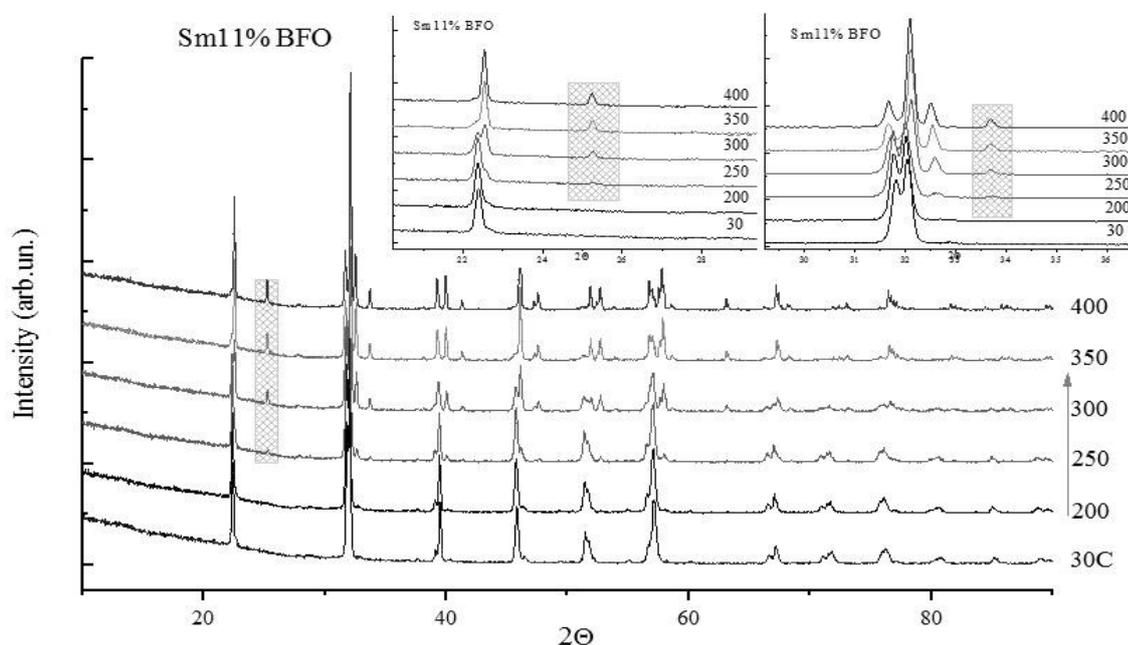


Рисунок 1 – Рентгенограмма состава $\text{Bi}_{0.89}\text{Sm}_{0.11}\text{FeO}_3$ полученная при температурах 30–400 °С

Анализ структурных данных свидетельствует о том, что при температуре 30–200 °С преобладающей фазой является ромбоэдрическая, при этом наблюдаются рефлексы слабой интенсивности, характерные для

неполярной орторомбической фазы. Увеличение концентрации ионов-заместителей приводит к увеличению доли антиполярной орторомбической фазы, при этом доля ромбоэдрической фазы пропорционально уменьшается.

При увеличении температуры до 250 °С появляются рефлексy характерные для орторомбической фазы. Повышение температуры до 400 °С приводит к формированию однофазной структуры с неполярным орторомбическим типом искажения элементарной ячейки. Величина пьезоэлектрического сигнала, полученного для состава $x=0.11$, практически совпадает с величиной пьезосигнала наблюдаемого для исходного состава BiFeO_3 , при этом составы с меньшей концентрацией ионов самария характеризуются величиной пьезоотклика меньше, чем в исходном BiFeO_3 . Структурные данные свидетельствуют о том, что увеличение пьезосигнала обнаруженное для состава вблизи морфотропной фазовой границы ($x = 0.11$) не связано с изменением величины полярного смещения ионов висмута и кислорода, при этом данный состав характеризуется присутствием пьезоэлектрически нейтральной орторомбической фазы, что должно уменьшать результирующий пьезоэлектрический сигнал. Увеличение концентрации ионов самария приводят к существенному уменьшению пьезоэлектрического сигнала, что обусловлено увеличением объёмной доли неполярной орторомбической фазы, что согласуется с результатами структурных исследований.

Заключение

Проведены исследования кристаллической структуры и пьезоэлектрических свойств твердых растворов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ вблизи концентрационного фазового перехода ромбоэдр-орторомб. На основании рентгеноструктурных данных определена эволюция кристаллической структуры в области морфотропной фазовой границы при изменении температуры и концентрации Sm ($x = 11 - 13$). Анализ структурных данных свидетельствует об уменьшении параметров элементарной ячейки составов при увеличении концентрации ионов-заместителей, при этом температурный переход в неполярную орторомбическую фазу также сопровождается уменьшением параметров элементарной ячейки составов.

Литература

1. D. Arnold, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, 62, 62 (2015).
2. G. Le Bras, P. Bonville, D. Colson, A. Forget, N. Genand-Riondet, and R. Tourbot, Physica B, 406, 1492 (2011).
3. I. Levin, M. G. Tucker, H. Wu, V. Provenzano, C. L. Dennis, S. Karimi, T. Comyn, T. Stevenson, R. I. Smith, and I. M. Reaney, Chem. Mater., 23, 2166 (2011).

4. I.O. Troyanchuk, D.V. Karpinsky, M.V. Bushinsky, O.S. Mantytskaya, N.V. Tereshko, V.N. Shut., J. Am. Ceram. Soc., 94 (2011) 4502-4506.

5. D. A. Rusakov, A. M. Abakumov, K. Yamaura, A. A. Belik, G. Van Tendeloo, E. Takayama-Muromachi, Chem. Mater., 23 (2010) 285.

Е.Л. Жук, Е.С. Сакович (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **Е.В. Пивоварчик**, преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СПЛАВА ЛЦ40Сд

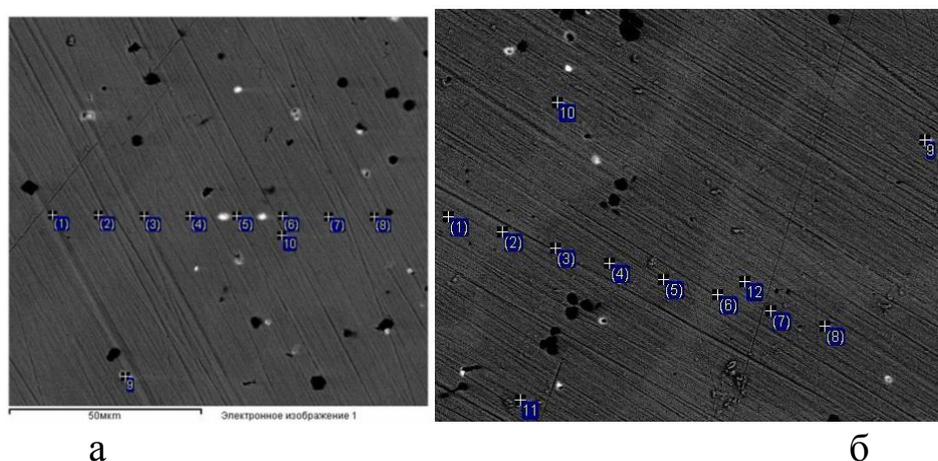
В настоящее время на ряд предприятий Республики Беларусь, используя технологический процесс литья под давлением (ЛПД), выпускает литейную продукцию, а именно запорную арматуру, изготовленную из сплава на основе меди – свинцовая латунь марки ЛЦ40Сд по ГОСТ 17711–93 [1]. Одним из основных требований, предъявляемых к отливкам из данного сплава, является высокое качество поверхности. Однако в процессе производства на поверхности отливок периодически возникает дефект в виде пятен. Одной из вероятных причин появления данного вида дефекта может быть неоднородность химического состава (ликвация).

Целью работы является изучение вероятности возникновения неоднородности химического состава сплава ЛЦ40Сд в раздаточной печи.

В производственных условиях подготовка расплава проводилась в раздаточной печи путем добавления в расплав новых чушек. Ввиду различной плотности расплава по объему плавильного агрегата и длительного времени выдержки расплава перед его заливкой в полость пресс-формы возможно образование ликвации по химическому составу выплавляемого сплава. Перемешивание расплава в плавильной печи перед заливкой жидкого металла в полость пресс-формы не производилась. Можно предположить, что более тяжелые по плотности компоненты, способны накапливаться в поде тигля.

Была проведена серия экспериментов, которая заключалась в отборе 2-х проб расплава по мере уменьшения объема жидкого металла в плавильном агрегате ИПЛ 2К емкостью 0,4 т, вследствие его отбора из плавильного агрегата. Температура плавления чушки составляла 950 °С и контролировалась с помощью хромель-алюминиевой термопары. Время до полного расплавления чушки, составляло 45 мин. После расплавления чушки и удаления окисной пленки и шлака отбирали пробу жидкого металла посредством заливки расплава в графитовый тигель марки ТГ0,5 ГОСТ 8708–58 [2]. Пробы отбирали с поверхности расплава и со дна тигля при минимальной его загрузке.

Исследования химико-структурного анализа проведены на растровом электронном микроскопе Tescan VEGA II LMU с микроанализатором INCA ENERGY350. На рисунке 1 показано расположение характерных точек для проведения химико-структурного анализа образцов из сплава ЛЦ40Сд отобранных с поверхности расплава и дна тигля.



а – отобранного с поверхности расплава; б – отобранного со дна тигля
Рисунок 1 – Расположение характерных точек для проведения химико-структурного анализа образца из сплава ЛЦ40Сд

Результаты исследований элементного состава сплава ЛЦ40Сд при отборе пробы с поверхности расплава и дна тигля представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Элементный состав сплава ЛЦ40Сд в точках, показанных на рисунке 1а

Контрольная точка	Al	Si	Fe	Ni	Cu	Zn	Sn	Pb	Итого
1	0,16	0,15	0,24	0,37	64,49	34,58	–	–	100
2	0,21	0,16	0,16	0,45	62,57	36,46	–	–	100
3	0,27	0,36	0,36	0,12	55,80	41,53	1,56	–	100
4	0,30	0,20	0,04	0,23	54,55	43,17	1,36	–	100
5	0,28	0,00	0,11	0,52	64,47	34,62	–	–	100
6	0,37	0,33	0,21	0,51	64,96	33,62	–	–	100
7	0,34	0,13	–	0,37	61,22	37,94	–	–	100
8	0,30	0,29	0,04	0,45	56,83	41,10	0,99	–	100
9	0,27	0,11	0,07	0,08	19,34	10,21	–	69,91	100
10	0,21	0,35	0,43	0,03	25,97	14,20	–	58,80	100
Макс.	0,37	0,36	0,43	0,52	64,96	43,17	1,56	69,91	–
Мин.	0,16	0,00	0,07	0,03	19,34	10,21	0,99	58,80	–

Таблица 2 – Элементный состав сплава ЛЦ40Сд в точках, показанных на рисунке 2а

Контрольная точка	Al	Si	Fe	Ni	Cu	Zn	Sn	Pb	Итого
1	0,21	0,09	–	0,40	56,03	42,47	0,79	–	100
2	0,32	–	0,16	0,46	55,74	42,13	1,02	0,16	100
3	0,24	0,10	0,13	0,29	64,37	34,88	–	–	100
4	0,37	–	0,20	0,50	64,09	34,84	–	–	100
5	0,27	0,00	–	–	64,55	35,18	–	–	100
6	0,47	–	0,18	0,18	55,73	42,51	0,93	–	100
7	0,03	0,16	0,27	0,45	63,08	36,01	–	–	100
8	0,17	0,01	0,17	0,34	64,19	35,13	–	–	100
9	0,09	0,27	0,20	0,23	33,13	18,18	–	47,89	100
10	0,32	0,05	0,07	0,29	48,12	27,34	–	23,96	100
Макс.	0,47	0,27	0,36	0,50	64,55	42,51	1,02	47,89	–
Мин.	0,03	0,00	0,07	0,03	33,13	18,18	0,79	0,16	–

Установлено, что среднее содержание основных элементов (Cu, Zn) в обоих образцах практически сопоставимы, однако колебание содержания Cu и Zn в каждом из образцов составляет более 15 %, что указывает на существенную неравномерность распределения элементов сплава в объеме каждого из образцов.

Таким образом, необходимо предусмотреть меры по снижению ликвации в отливке: тщательное перемешивание расплава перед заливкой, снижение времени выдержки расплава в плавильном агрегате, снижение температуры заливки до минимально допустимой для данного расплава, повышение скорости охлаждения отливки, не допускать загрязнения расплава примесями, способствующими обратной ликвации [3].

Литература

1. Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки: ГОСТ 17711-93. – Взамен ГОСТ 17711–80; введ. 01.01.95. – М.: Межгосударственный стандарт, 2005. – С. 18–23.

2. Изделия огнеупорные графитсодержащие. Технические требования: ГОСТ 8708-58. – Введ. 01.07.58. – М.: Изд-во стандартов, 1958. – 6 с.

3. Михальцов, А.М. Технология литейной формы: учебн.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования для студентов направления специальности 1–42 01 01–01 «Литейное производство черных и цветных металлов» / А.М. Михальцов. – Минск: БНТУ, 2011. – 109 с.

А.П. Жуков (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А.Н. Петлицкий**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК КОНТРОЛЯ ДЕГРАДАЦИИ ТОКА-СТОКА МОП-ТРАНЗИСТОРОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ «ГОРЯЧИХ» НОСИТЕЛЕЙ

Важной проблемой надежности современных интегральных микросхем является ухудшение параметров МОП-транзисторов, вызванное «горячими» носителями. Носители высокой энергии создаются в МОП-транзисторах большими электрическими полями канала в области стока. Эти «горячие» носители разрушают связи на границе раздела Si/SiO₂. Носители так же инжектируются в SiO₂ и могут быть там захвачены. Захват или разрушение соединения создают дополнительный заряд в оксиде и ловушки на границе раздела Si/SiO₂, что влияет на подвижность носителей в канале и работу транзистора во всех режимах.

В настоящее время, при нарастающем объеме производства и в связи с постоянным уменьшением геометрических размеров элементов переходные области тонкопленочных структур становятся сравнимыми с размерами элементов и влияние различного рода дефектов и эффектов на надежность микросхем возрастает. Актуальной задачей является обеспечение и контроль надежности на этапе их изготовления.

В технологическом процессе изготовления микросхем необходимы эффективные методы оценки надежности интегральных микросхем, позволяющие оптимизировать процессы и обеспечить высокий уровень надежности корпусированных микросхем.

Известно три основные, теоретически обоснованные, методики контроля деградации параметров МОП-транзисторов, которые позволяют оценить ухудшение параметров, вызванное «горячими» носителями. Основной задачей данных методик является определение времени работы транзистора при нормальных условиях работы.

На данный момент, активно используются методики на основе проведения серии ускоренных испытаний. Надежность транзистора может быть определена, как вероятность работы в конкретных условиях без сбоев, в течении заданного промежутка времени. Ускоренные испытания позволяют достоверно определять время работы транзистора при номинальных условиях нагрузки, в течение которого под воздействием «горячих» носителей произойдет деградация какого-либо параметра на определенную величину, а, следовательно, определить его надежность. Ускоренный тест на деградацию параметров МОП транзисторов в результате воздействия «горячих» носителей основан на применении в процессе тестирования такого режима работы транзистора, при котором

происходит генерация максимального количества «горячих» носителей (максимальный ток подложки или затвора, режим смыкания канала) без ущерба целостности структуры транзистора.

Проведение анализа метода ускоренных испытаний на основе увеличения тока в подложку для n-канальных МОП-транзисторов и метода на основе увеличения тока в подложку для p-канальных МОП транзисторов показывает, что чем больше величина тока в подложку/затвор, тем больше количество «горячих» электронов в канале транзистора и ускоренные испытания будут более эффективны. Эти методы являются удобными и наиболее эффективными в использовании.

Методики основаны на проведении серии ускоренных испытаний и позволяет прогнозировать время работы транзисторов в условиях эксплуатации, в течении которого, под воздействием «горячих» носителей, произойдет деградация параметра транзистора на определенную величину.

Существует процедура определения величины коэффициента ускорения деградации параметров $K_{уск}$, равного отношению времени наработки на отказ при режимах эксплуатации t_{TARuse} ко времени наработки на отказ при ускоренных режимах испытаний t_{TAR} . Процедура позволяет оценить эффективность режима ускоренных испытаний, при необходимости провести сравнительную оценку режимов и выбрать наиболее подходящий режим. Приведенные расчеты для КМОП микросхемы с проектными нормами 0.35 мкм показывают, что за счет увеличения тока подложки с 1 до 10 мкА достигается ускорение в 1000 раз, а за счет снижения температуры с плюс 50 до минус 40° С достигается ускорение в 8 раз.

Важным является определение требований к тестовым структурам, цикл стрессового воздействия, процедуры проведения ускоренных испытаний, измерение параметров и анализа полученных данных.

Методика контроля деградации параметров n- и p-канальных МОП-транзисторов позволяет устанавливать факт ухудшения показателей надежности микросхем и своевременно выяснить предполагаемую причину.

А.В. Зеленко (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)

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

РАЗРАБОТКА НОВЫХ СОСТАВОВ ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА, АРМИРОВАННОГО ФИБРОЙ

Введение. В современном строительстве одной из важнейших задач является обеспечение качественной теплозащиты зданий, надежной и обеспечивающей энергосбережение.

В условиях выполнения поставленных задач основным вопросом является получение новых высококачественных теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций, отвечающих требованию современных стандартов, с целью применения их при строительстве зданий и сооружений.

Новый материал должен иметь следующие преимущества: производиться из доступного сырья, соответствовать требованиям по физико-механическим показателям и быть конкурентоспособным среди широкого ассортимента продукции мирового строительного рынка.

Всем этим требованиям в мире строительной индустрии отвечает высококачественный материал – полистиролбетон. Он по праву относится к числу первых среди прочих теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов. За сравнительно небольшой период полистиролбетон приобрел широкомасштабную известность в сфере строительства как перспективный строительный материал будущего.

Цель данной работы заключается в получении полистиролбетона армированного полипропиленовой фиброй.

Методика исследования. Для получения армированной полистиролбетонной смеси в состав входили следующие компоненты:

- в качестве минерального вяжущего – портландцемент марки М500 (ГОСТ 10178-85);
- в качестве заполнителя – вспененный гранулированный полистирол (ОСТ 301-05-202-92Е);
- в качестве воздухововлекающей добавки – смола древесная омыленная СДО (ТУ 13-02-81078-02-93);
- вода (ГОСТ 23732-2011);
- полипропиленовая фибра (ТУ 2272-001-2014).

Способ приготовления армированной полистиролбетонной смеси включает стадии смешивания компонентов в составе для ее получения. При этом предварительно перемешивали пенополистирол и полипропиленовую фибру. Гранулированный вспененный полистирол смачивалит частью воды для затворения при перемешивании, вводили цемент, постоянно сопровождали перемешиванием, после чего добавляли оставшуюся воду затворения, воздухововлекающую добавку – смолу древесную омыленную, и снова перемешивали. Затем полистиролбетонную смесь заливали в формы, и выдерживали образцы до набора прочности в условиях нормального твердения, после чего их взвешивали, рассчитывая объемную массу каждого образца, и проводили испытания на прочность.

На первом этапе данного исследования был подобран оптимальный состав полистиролбетонной смеси и изготовлены образцы, которые затем были испытаны на прочность.

Порядок подачи компонентов на смешивание и продолжительность отдельных этапов перемешивания подобраны экспериментально. При продолжительном перемешивании происходит дробление пенополистирольных гранул. При менее продолжительном перемешивании нельзя достичь равномерного распределения гранул вспененного полистирола в смеси. При увеличении размера гранул пенополистирола повышается склонность смеси к расслаиванию, а при уменьшении их размера – увеличивается плотность смеси и плотность формируемых из нее изделий.

На втором этапе данного исследования изучали влияние полипропиленовой фибры на структуру и физико-механические свойства полистиролбетона. В лабораторных условиях из полистиролбетонной смеси, армированной полипропиленовой фиброй были изготовлены образцы кубиков и балок. Через 28 суток, после достижения образцами набора 70% прочности, была определена объемная масса каждого образца (согласно ГОСТ 12730.1-78), после чего они были испытаны на прочность при сжатии и изгибе согласно (ГОСТ 10180-2012). Для определения прочностных показателей образцов использовали пресс QUASAR 50. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Испытания образцов на прочность

Наименование изделия	ρ , кг/м ³	$F_{сж}$, Н	$R_{сж}$, МПа	$F_{изг}$, Н	$R_{изг}$, МПа
Полистиролбетон	566	29138,1	2,91	153,4	0,37
Полистиролбетон армированный фиброй	462	27943,7	2,73	604,7	1,49

Результаты исследований. Результаты испытаний свидетельствует о том, что применение полипропиленовой фибры оказывает положительное влияние на прочность образцов при изгибе. При меньшей объемной массе образцов полистиролбетона армированного фиброй, их прочность на изгиб в четыре раза выше, чем прочность образцов неармированного полистиролбетона с большей объемной массой. Стоит отметить, что прочностные показатели на сжатие образцов из полистиролбетона армированного фиброй ниже, чем образцов из неармированного полистиролбетона. Следовательно, можно сделать вывод о том, что из полистиролбетона армированного фиброй лучше делать конструкции, которые работают на изгиб.

В результате проведенного испытания было принято решение о введении в состав полистиролбетона полипропиленовой фибры, т.к. она оказывает положительное влияние на адгезию компонентов полистиролбетонной смеси, и позволяет получить полистиролбетон с меньшей плотностью.

На заключительном этапе данного исследования были получены сравнительные характеристики полистиролбетона и пенобетона:

- теплопроводность в 5 раз лучше;
- морозостойкость в 3 раза выше;
- предел прочности на сжатие почти в 2 раза больше;
- полистиролбетон в 2 раза легче пенобетона.

Заключение. Таким образом, в результате проведенной исследовательской работы, поставленная цель была достигнута: подобран оптимальный состав бетонной смеси для получения полистиролбетона, получен образец полистиролбетона армированного полипропиленовой фиброй и проведены сравнительные характеристики полистиролбетона с его аналогом – пенобетоном.

Литература

1. Русанов, В.Е. Перспективы фибробетонов / В. Е. Русанов / Автомобильные дороги. – 2011. – N 29 (958). – С. 149–153.
2. Беляков, В. А. Прочностные, деформационные и эксплуатационные свойства полистиролбетона для строительных конструкций и изделий: автореф. дис. канд. техн. наук / В. А. Беляков. – Уфа: Научные ведомости. – 2010. – 28 с.

А.В. Зеленко (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **П.И. Шупан**, ст. преподаватель

ПОЛУЧЕНИЕ ПЕНОБЕТОНА НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО

Во всем мире наблюдается заметный рост производства пенобетона. Данный продукт может быть использован как конструкционный, так и теплоизоляционный материал, к тому же он обладает высокими звукоизоляционными свойствами [1, 2].

Производство пенобетона на основе портландцемента является возможным и общеизвестным фактом.

Цель данной работы состоит в получении пенобетона на основе каустического доломита и его последующего сравнения с пенобетоном на основе портландцемента.

При исследовании данного вопроса были поставлены следующие задачи: подобрать оптимальный состав смеси; подготовить образцы на основе портландцемента и каустического доломита; получить в лабораторных условиях пенобетон с минимальной объемной массой; получить прочностные и теплопроводные характеристики образцов.

В состав для приготовления пенобетона марки D 400 входят следующие компоненты: в качестве минерального вяжущего применяется портландцемент М 500 (ГОСТ 10178-85) с нормальной густотой цементного теста 25 %, песок фракции менее 1,25 мм (ГОСТ 8267-93), вода (ГОСТ 23732-2011), пенообразователь ПБ-Люкс.

На первом этапе данного исследования получена устойчивая пена без пеногенерирующей установки. Приготовление пены и бетонной смеси происходит посредством баротехнологии, т. е. с использованием смесителя с повышенным давлением. Но в условиях лаборатории получить образцы по этой технологии было невозможно, и поэтому пену получали с помощью смесителя AUTOMIX.

Для получения устойчивой пены важно найти оптимальный режим перемешивания компонентов. После проведения испытаний по режимам смешивания выбраны составы, которые имеют устойчивую пену и не дают усадку в сравнении с другими составами и режимами.

Следующий этап – определение оптимального времени для перемешивания пены. Смесь для приготовления пенобетона марки D 400 замешивалась 15 и 20 минут соответственно. В процессе проведенных экспериментов состав пенобетонной смеси, приготавливаемый в течение 20 минут не увеличился в объеме, а полученная пена не отличалась от состава смеси перемешиваемого в течение 15 минут. Вследствие чего было принято решение не изготавливать данные образцы для испытаний на теплопроводность.

Изготовленные образцы пенобетона выдерживались до набора прочности в камере нормального твердения, после чего были взвешены и высушены до постоянной массы. Затем была рассчитана объемная масса каждого образца, и проведены испытания. Для определения прочностных показателей образцов из пенобетона использовался пресс QUASAR 50. Предел прочности при сжатии пенобетонных образцов определяли согласно ГОСТ 10180-2012, среднюю плотность согласно ГОСТ 12730.1-78, теплопроводность по ГОСТ 7076-99. Состав пенобетонных образцов и результаты их испытаний приведены в таблице 1.

Изучено влияние фракционного состава песка на структуру пенобетона. Для проведения данных испытаний брался молотый песок фракционным составом менее 0,63 мм. Затем была приготовлена смесь для пенобетона марки D 400. Смешивание пены и песка с цементом привело к исчезновению пены. Этот факт свидетельствует о том, что наличие пылевидных и тонкодисперсных частиц в песке для приготовления пенобетона отрицательно влияет на пенообразование. Песок данной фракции делает пену нестабильной, что приводит к увеличению объемной массы изделия и бесполезности использования пенообразователя.

Таблица 1 – Испытания пенобетонных образцов

№ п/п	Время	Состав, %	ρ , кг/м ³	$R_{сж}$, МПа	Q, Вт/м·°С
1	15 минут	ПЦ – 42,6%; П (фр < 1,25) – 22,2%; Н ₂ О – 35,2%; ПБ-Люкс – 0,00083%.	306,9	0,12	0,37
					0,30
			307,7	0,14	0,19
					0,028
			279,5	0,12	0,15
				0,34	
2	20 минут	ПЦ – 42,6%; П (фр < 1,25) – 35,2%; Н ₂ О – 29,6%; ПБ-Люкс – 0,00083%.	284,0	0,14	-
			303,9	0,11	-
			336,2	0,16	-

Следующие образцы пенобетона были приготовлены с применением песка фракций 1,25–0,315 мм. Результаты их испытаний на прочность и теплопроводность представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Испытания пенобетонных образцов с применением песка фракций 1,25–0,315 мм

Время	Состав, %	ρ , кг/м ³	$R_{сж}$, МПа	Q, Вт/м·°С
15 минут	ПЦ – 42,6%; П (фр 1,25 – 0,315) – 22,2%; Н ₂ О – 35,2%; ПБ-Люкс – 0,00083%.	284,8	0,14	0,058
				0,099
		309,3	0,13	0,158
				0,106
		332,3	0,14	0,173
				-

По результатам испытаний образцов на прочность можно сделать вывод о том, что изменение состава песка отразилось на прочностных характеристиках образцов пенобетона, однако прочность остается низкой ввиду расслоения пенобетонной смеси до начала сроков схватывания. Предположительно явление, описанное выше, можно исключить увеличением времени взбивания пены.

В результате проведенных исследований наилучший прочностной показатель принадлежит образцам пенобетона, смесь которых перемешивалась в течение 25 минут. Структура данных образцов пенобетона является более однородной в сравнение с другими.

Следующий этап исследований – получение пенобетона на основе каустического доломита. В качестве затворителя использовался водный

раствор сульфата магния плотностью 1,250 г/см³. При приготовлении данной смеси, объем воды был взят меньше, в сравнение со смесью на основе портландцемента. Так как плотность раствора была больше, чем плотность воды, этот факт привел к образованию меньшего количества пены, и как следствие уменьшение объема всей смеси и вместо выхода бетона объемом в 3 дм³ получили 1,7 дм³.

Таким образом, в результате проведенных исследований поставленные задачи полностью выполнены, а результаты проведенных испытаний говорят о целесообразности проведения дополнительных исследований по подбору состава смеси для пенобетона на основе каустического доломита, а именно корректировке отношения водного раствора соли затворителя к сухому веществу.

Литература

1. Шахова, Л. Д. Влияние пористой структуры пенобетона на теплопроводность / Л. Д. Шахова, И. Б. Хрулев // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2003. – №5. – С.195–198.

2. Сахаров, Г. П. Перспективы развития производства и повышения качества ячеистых бетонов на традиционной и альтернативной основе / Г. П. Сахаров, В. П. Стрельбицкий // Бетон и железобетон. – 2010. – №1. – С.5–9.

Д.А. Зинкевич (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)

Науч. рук. **В.Г. Сорокин**, канд. техн. наук, ст. преподаватель

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПОРНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ДЮБЕЛЯ ТЕРМОИЗОЛИРУЮЩЕГО

Термоизолирующие крепёжные элементы типа «дюбель» широко применяют в строительстве для крепления плит из термоизолирующего материала (пенополистирол, минеральная вата и др.). Среди этих крепёжных элементов широко используют дюбель. Это специальный элемент, используемый для крепежа самых разных конструкций. Промышленность выпускает широкую номенклатуру различных видов дюбелей для решения технических задач. [1].

Актуальными проблемами до сих пор считаются: увеличение долговечности и прочности самого дюбеля и защита распорного элемента или самореза от коррозии [1].

Различные виды комплектации дюбелей приведены на рисунке 1.

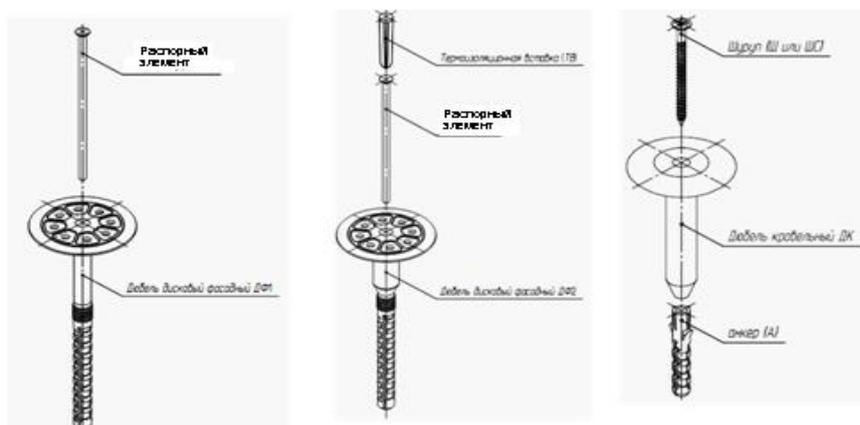


Рисунок 1 – Комплектация дюбелей

При выполнении строительно–монтажных работ с использованием крепежного элемента типа «дюбель» чаще всего сталкиваются с проблемой коррозии металлического распорного элемента, которая приводит к его разрушению и вырыву самого дюбеля из панели, для крепления которой он был использован.

Металлический распорный элемент изготавливают из гвоздей строительных, которые производят по ГОСТ 4028-63. Гвозди представляют собой крепежное изделие, состоящее из металлического стержня и шляпки.

Целью исследований являлась разработка методов повышения коррозионной стойкости строительных гвоздей, применяемых в качестве металлического распорного элемента.

В работе более рассмотрен химический метод повышения коррозионной стойкости строительных гвоздей. При разработке этого метода мы предлагаем использовать преобразователь ржавчины с цинком и преобразователь ржавчины цинк-фосфатный.

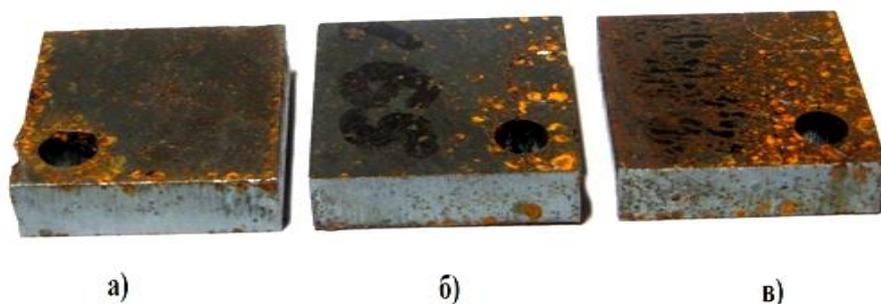
Преобразователь ржавчины с цинком промышленно производится на ОАО «Химик» Российской Федерации. Преобразователь ржавчины разрушает оксидные формы железа и создает на поверхности надежное защитное покрытие [2].

Преобразователь ржавчины цинк-фосфатный торговой марки «Аутокрин» – представляет собой готовую к применению водную композицию на основе кислотного травителя и ингибирующих добавок. Он предназначен для удаления и ингибирования ржавчины на поверхности металла. Образует прочную пассивирующую цинк-фосфатную пленку. Этот преобразователь ржавчины производят на НПООО «Алкид» Республика Беларусь.

Так как гвозди в основном изготавливают из низкоуглеродистой стали, то в качестве образцов для дальнейших исследований были изготовлены три металлических бруска: из стали марки Ст 3 (ГОСТ 380 - 2005);

из стали марки Ст 5 (ГОСТ 380 - 94); из стали марки Ст 8 (ГОСТ 5950 - 2000). Габаритные размеры и шероховатость после фрезерной обработки на станке Fadal 3016: длина 60 мм; ширина 40 мм; толщина 10 мм, шероховатость торцов $Ra = 6,3$ мкм.

Сравнительные испытания исходных образцов и образцов, обработанных преобразователями ржавчины (преобразователь ржавчины с цинком и преобразователь ржавчины цинк-фосфатный) на коррозионную стойкость проводили при соблюдении требований ГОСТ 28234 - 89 «Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов» [3]. Вид обработанных образцов из различных видов стали (преобразователем ржавчины с цинком), выдержанных в «солевом тумане» в течение одних суток представлен на рисунке 2.



а) – Сталь Ст 8, б) – сталь Ст 5, в) – сталь Ст 3

Рисунок 2 – Обработанные образцы после выдержки в солевом тумане в течение

Наибольшей коррозии после испытаний подвергнут образец из стали Ст 3 (рисунок 2, в). Коррозия на образце из Ст 8 (рисунок 2, а) меньше. Лучший результат на коррозионную стойкость показал образец из Ст 5 (рисунок 2, б). На всех образцах прослеживается тенденция уменьшения коррозионных разрушений по сравнению с исходными образцами. Образцы, обработанные преобразователем ржавчины цинк-фосфатный торговой марки «Аутокрин», также показали уменьшение поражения коррозией.

Предложена конструкция установки с перфорированным барабаном для промышленной обработки гвоздей металлических строительных различными видами преобразователей.

Таким образом, можно сделать вывод, что обработка преобразователем ржавчины с цинком и преобразователем ржавчины цинк-фосфатный распорных элементов без покрытия приводит к повышению их коррозионной стойкости, и обуславливает возможность их применения без предварительного дорогостоящего оцинкования в строительной индустрии при фиксации плоских функциональных (теплоизолирующих и звукоизолирующих) элементов к стеновым и потолочным панелям.

Литература

1. Дюбели дисковые распорные фасадные и кровельные. Инструкция по монтажу УЕМФ.305646.007 ИМ/ ООО «Молдер» – Гродно, 2012.
2. Преобразователь ржавчины в грунт с цинком /РФ. Химик: [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://anh.by/products-solvets/225.html>. – Дата доступа 18.03.2018.
3. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2: Испытания. Испытание kb: Соляной туман, циклическое (раствор хлорида натрия): ГОСТ 28234 - 89 – Введ. 01.03.1990 – М.: Стандартинформ, 2006. – 8 с.

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

ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ТОКИ В ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ, ОБРАБОТАННЫХ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Одно из основных свойств диэлектриков – поляризация – приводит к возникновению электростатического состояния. Электреты длительно сохраняют эффективную поверхностную плотность заряда, создавая в пространстве вокруг себя электрическое поле. Одним из методов исследования электретов является их деполяризация при нагревании, в процессе которой регистрируется спектр термостимулированных токов (ТСТ).

В настоящей работе исследованы спектры ТСТ полимерных пленок на основе полиэтилена (ПЭВД), содержащего нанодисперсный наполнитель – монтмориллонит (ММН).

Образцы плёнок получали методом горячего прессования при температуре 130 градусов из заранее приготовленной смеси мелкодисперсного полиэтилена высокого давления и наполнителя – монтмориллонита. Концентрация наполнителя составляла 2 и 5 % масс.

Модифицирование пленок осуществляли лазерным излучением (ЛИ). В работе использовали твердотельный лазер на алюмоиттриевом гранате, с длиной волны 1,06 мкм. Размер пятна облучения на образце 2 мм. Облучение лазером производили по всей поверхности исследуемой плёнки в импульсном режиме.

Термостимулированную деполяризацию образцов осуществляли на установке, схема которой приведена на рисунке 1. Образец, помещенный между двумя электродами, нагревали до 120 °С с постоянной скоростью и измеряли термостимулированный ток (ТСТ). В результате получали спектр ТСТ для каждого образца.

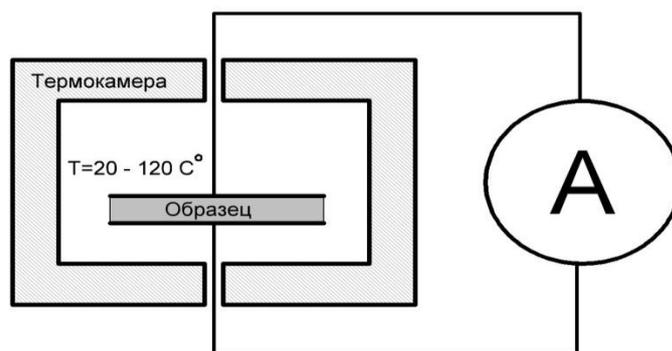


Рисунок 1 – Схема метода термостимулированной деполяризации

На рисунке 2 приведены спектры ТСТ образцов ПЭ, до и после их обработки ЛИ.

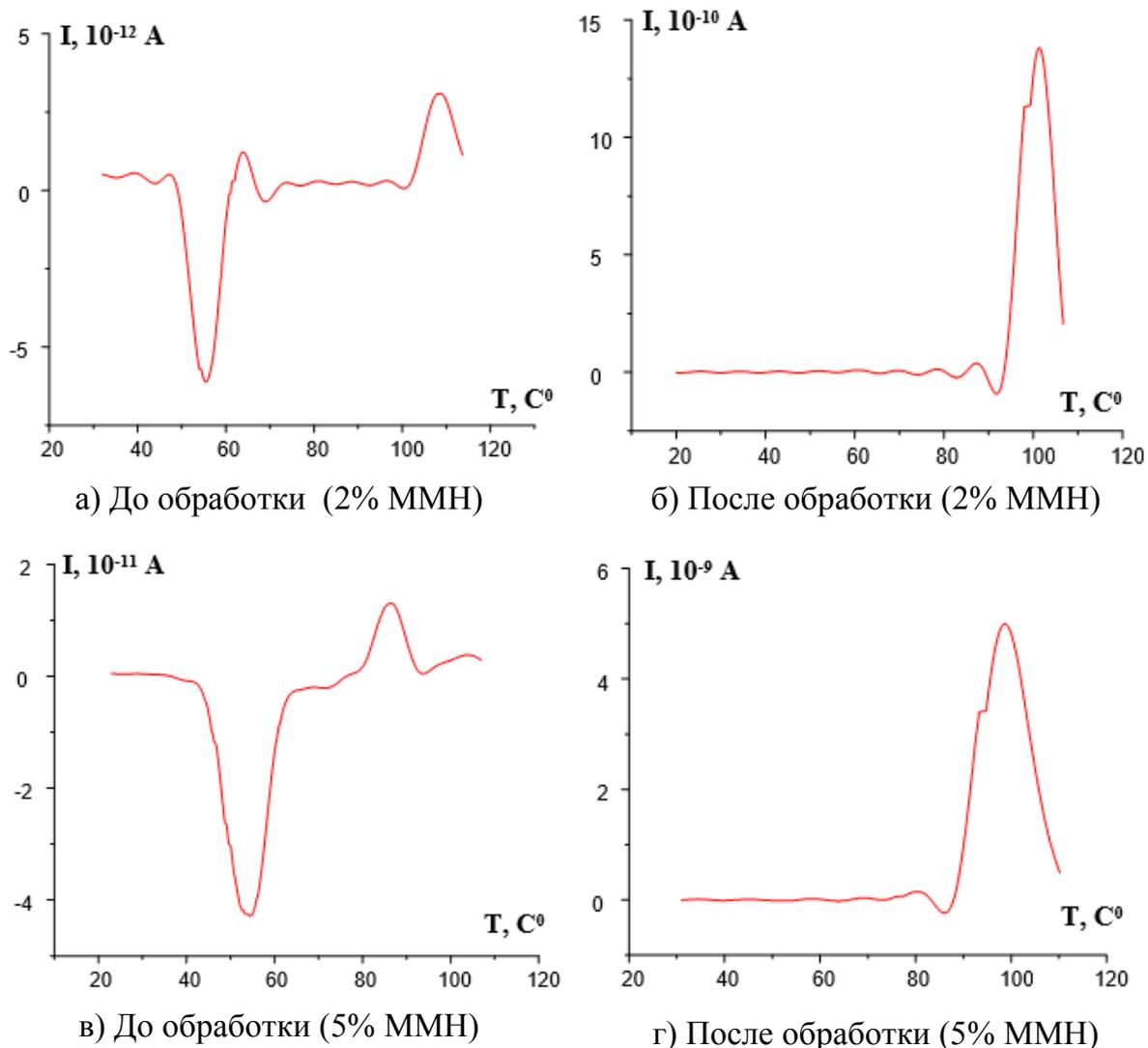


Рисунок 2 – Схема метода термостимулированной деполяризации

На спектрах необработанных образцов с содержанием наполнителя 2% (рисунок 2, а) чётко прослеживаются токовые пики, интенсивностью

$2 \cdot 10^{-12}$ А в диапазоне температур 50–70 градусов, и интенсивностью $3 \cdot 10^{-12}$ А при температуре 105 градусов – равной температуре плавления полиэтилена.

После обработки лазером на спектрах данных образцов интенсивность низкотемпературных пиков практически не изменилась, а интенсивность пика плавления увеличилась на 3 порядка и достигла величины $1,37 \cdot 10^{-9}$ А (рисунок 2, б).

У необработанных образцов с содержанием наполнителя 5% (рисунок 2, в) на спектре видна группа пиков интенсивностью до $4,2 \cdot 10^{-11}$ А в диапазоне температур 40–60 градусов, а также пик при температуре 90 интенсивностью $1,3 \cdot 10^{-11}$ А. После обработки интенсивность низкотемпературных пиков не изменилась, а интенсивность пика около температуры плавления выросла до значения $5 \cdot 10^{-9}$ А и сдвинулась в область высоких температур (рисунок 2, г).

На необработанные образцы присутствуют низкотемпературные пики отрицательной полярности (рисунок 2, а, в).

В ходе исследования установлено, что ЛИ слабо оказывает воздействие на поляризацию в аморфных областях и сильно – на поляризацию в области плавления полимера при разрушении кристаллической фазы: происходит высвобождение всех зарядов.

Кроме этого на поляризацию положительным образом оказывает влияние увеличение концентрации наполнителя в образце.

А.В. Кравченко (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А.В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАЦИТА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕОПОЛИМЕРОВ

Методы и материалы

Для исследований влияния дисперсности на плотность и прочность вяжущего горная порода подвергалась грубому измельчению в лабораторной щековой дробилке и тонкому измельчению в шаровой мельнице до дисперсности $S_{уд} = 300, 400, 500$ и 600 м²/кг. В качестве сырья для получения, вяжущего использовался дацит, относящийся к изверженным горным породам, известный также как кварцевый андезит, в состав которого входят минералы плагиоклаза и роговой обманки, а также биотит, авгит, апатит, магнитный железняк и санидин. Данный материал отличается плотным строением.

В качестве модифицирующей добавки исследовалась добавка доменного шлака Липецкого комбината с $S_{уд} = 450$ м²/кг. Количество

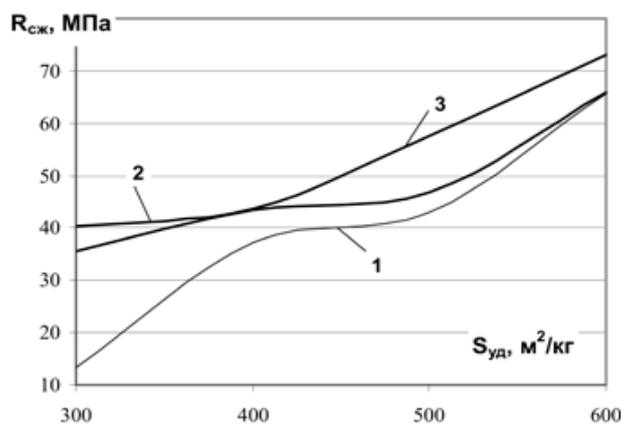
добавки было принято в % от общего веса вяжущего в смеси. Добавка шлака исследовалась в двух дозировках 10 и 15 %.

Для приготовления формовочной смеси дацит и шлак совместно перемешивались. Полученный порошок затворялся щелочным раствором NaOH, в пересчёте на сухое вещество составляющим 6 % от массы вяжущего. Влажность формовочной смеси при $S_{уд} = 300, 400 \text{ м}^2/\text{кг}$ составляла 12 %, а при $S_{уд} = 500$ и $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ – 13 %.

Из формовочной смеси методом прессования под давлением 25 МПа были заформованы образцы-цилиндры диаметром и высотой 25 мм. Твердение образцов осуществлялось в сушильном шкафу при температуре 105°C в течение 6 часов. После того как образцы затвердели, они были подвергнуты испытанию на определение прочности и плотности.

Результаты исследований

По результатам испытания были построены графики зависимостей прочности и плотности от дисперсности вяжущего, которые приведены на рисунке 1 и 2.



Обозначение: 1 – без добавки, 2 – 10 % шлака, 3 – 15 % шлака

Рисунок 1 – Влияние дисперсности и дозировки шлака на активность геополимеров на основе дацита

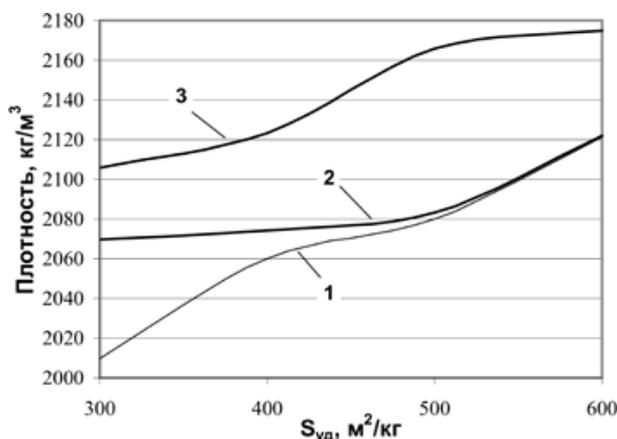


Рисунок 2 – Влияние дисперсности и дозировки шлака на плотность геополимеров на основе дацита (обозначение по рисунку 1)

Анализ данных, представленных на рисунке 1, указывает на то, что одним из факторов увеличения прочности вяжущего является увеличение его дисперсности. При увеличении дисперсности без добавочного вяжущего с $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ до $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ прочность увеличивается в 4,3 раза.

Наиболее полно потенциал вяжущего по росту прочности, раскрывается при модифицировании вяжущего шлаком, в присутствии которого достигается образование дополнительного количества гидросиликата кальция, упрочняющего систему. В данном случае наибольшей прочностью обладает вяжущее, в котором содержится 15 % добавки шлака. Прочность такого, вяжущего по сравнению с прочностью не модифицированного вяжущего, при $S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$ составляет 40 МПа, а при $S_{уд}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$ – 72 МПа, что на 65 и 10 % выше прочности бездобавочного вяжущего.

Аналогичная картина увеличения плотности с увеличением тонкости помола и добавки шлака наблюдается на рисунке 2. Анализ кривых распределения плотности позволяет отметить, что плотность равномерно возрастает с увеличением удельной поверхности, а добавка шлака в количестве 15 % значительно активизирует этот процесс.

Выводы

В ходе исследований было установлено, что одним из эффективных способов увеличения прочности и плотности вяжущего на основе дацита является увеличение тонкости помола дацита до $600 \text{ м}^2/\text{кг}$. Для усиления этого эффекта рекомендуется использование добавки шлака в количестве 15 % от веса вяжущего. Такое вяжущее обладает прочностью свыше 70 МПа и плотностью около $2180 \text{ кг}/\text{м}^3$ и может успешно конкурировать с цементным вяжущим.

Литература

1. Ерошкина, Н. А., Калашников В. И., Коровкин М. О. Минерально-щелочные вяжущие. Монография. М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Пензенский гос. ун-т архитектуры и стр-ва». Пенза, 2012.
2. Ерошкина, Н. А., Коровкин М. О., Сурков А. Н. Оценка магматических горных пород в качестве сырья для получения геополимерных вяжущих // Молодой учёный. 2014. №20 (79). С. 120–123.
3. Ерошкина, Н. А., Коровкин М. О. Механизм твердения геополимерных вяжущих на основе магматических горных пород // Региональная архитектура и строительство. 2013. – №3. с. 50–55.
4. Гуляева, Е. В., Струнин И. А., Еремин А. Ю., Морозова В. Н., Гаврилова Ю. В., Калашников В. И. Водостойкость силицитовых

геополимеров с комплексными модификаторами алюмината натрия и гидроксида кальция / Сб. статей Материалы всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов»: Пенза: ПГУАС, 2006. с. 30–32.

5. Davidovits, J. Chemistry of geopolymer systems, terminology. In Proceedings of Geopolymer '99 International Conferences, France. 1999. P. 31–46.

6. Davidovits, J. Geopolymer Chemistry and Applications. Saint Quentin, France: Geopolymer Institute, 2008. 585 p.

7. Barbosa, V. F. F., MacKenzie K. J. D., Thaumaturgo C. Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers // International Journal of Inorganic Materials. 2000. Vol. 2, Iss. 4. P. 309–317.

8. Mackenzi, K. J. D., Welter M. Geopolymer (aluminosilicate) composites: synthesis, properties and applications // Advances in Ceramic Matrix Composites. 2014. P. 445–470.

А.В. Кравченко (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А.В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Одним из перспективных и интенсивно развивающихся направлений в солнечной энергетике является исследование и усовершенствование цветосенсибилизированных батарей. Так, например, фотоэлектрические преобразователи, сконструированные из ячеек Гретцеля или их модификаций, по сравнению с солнечными элементами на основе кремния более технологичны в производстве и имеют близкие значения показателя эффективности преобразования солнечной энергии.

В состав конструкции таких батарей входят два электропроводящих полупрозрачных электрода. Один из них покрыт высокопористым, насыщенным красителем оксидом проводника, второй электрод нанесен на подложку из проводящего полупроводникового материала (например, оксида индия, легированного оловом), выполняющую функцию несущей конструкции. Электролит (жидкий или твёрдый) заполняет пространство ячейки.

Особое внимание следует уделить материалу оксида проводника, так как можно добиться повышения эффективности ячейки Гретцеля

с помощью увеличения удельной площади поверхности, улавливающей свет, за счёт уменьшения размера частиц.

Распространёнными материалами для изготовления полупроводников является диоксид титана TiO_2 и оксид цинка ZnO , хотя последний имеет меньшую эффективность, однако он проще в обработке и обращении [1-2]. В некоторых вариантах возможно применение смешанных оксидов, например, на основе SnO_2-ZnO [3].

В данной работе исследуются нано-структуры на основе SiO_2-SnO_2-ZnO , синтезированные методами золь-гель технологии [4-5]. Эта технология обладает важными для данной задачи отличительными особенностями: возможностью создания структур с ультрадисперсной фазой, что повышает площадь взаимодействия с солнечными лучами, однородным распределением компонентов по всему объёму, способностью контролировать поверхность на стадии её получения, а также простотой в реализации.

Синтез нано-структур данным методом проводили в несколько технологических этапов:

1) Очистка заранее подготовленных и предварительно обработанных механическим способом электропроводящих стеклянных подложек;

2) Приготовление зольей. Реакция осуществляется на основе обменного взаимодействия при комнатной температуре тетраэтоксисилана и бутанола в соотношении 4 к 1 с дальнейшим добавлением дистиллята и соляной кислоты для ускорения гидролиза. Полученный золь ортокремниевой кислоты обладает пленкообразующими свойствами [6]. В него добавляют неорганические модифицирующие добавки (олово двухлористое двух водное и хлорид цинка), чтобы придать плёнкам заданные свойства;

3) Формирование полимерных плёнок из зольей на поверхности подложек методом центрифугирования [7-8];

4) Гермическая обработка при температурах до $600^\circ C$. На этом этапе происходят процессы дегидратации и уменьшения в связи с этим объёма геля, химические реакции по разложению ортокремниевой кислоты, гидроксидов соответствующих солей на оксиды и молекулы воды, наблюдается переход полимерных пленок в силикатные [9].

За счёт изменения условий получения и установления физико-химических закономерностей, оказывающих влияние на конечный результат, можно управлять свойствами нано-структурированных материалов.

Анализ влияния условий отжига оксидной плёнки проводился с помощью ИК-Фурье-спектрометра ФСМ-1201, на котором сняты ИК-спектры образцов [10] до и после термической обработки (рисунок 1).

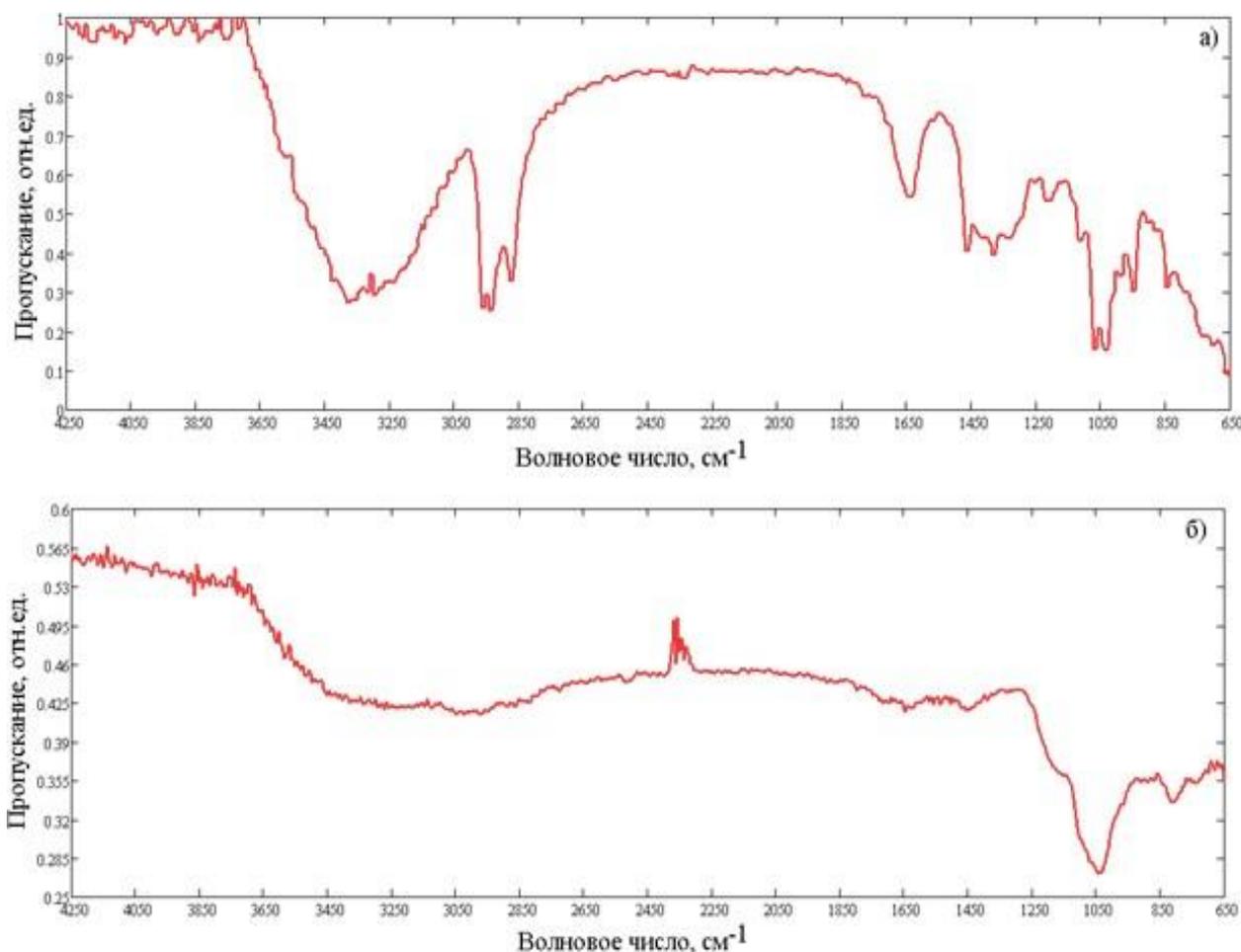


Рисунок 1 – ИК-спектр пропускания nano-структур на основе $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2\text{-ZnO}$, полученный до (а) и после (б) термической обработки

Сравнительные исследования по данным спектрам качественных составов образцов до и после отжига позволяют определить оптимальные условия для получения однородных и равномерных плёнок на основе $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2\text{-ZnO}$, что необходимо для создания солнечных элементов с высоким показателем эффективности преобразования.

ИК-спектры пропускания плёнокообразующих золь трехкомпонентной системы $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2\text{-ZnO}$ с различным процентным соотношением оксидов [11] наглядно демонстрируют зависимость интенсивности пропускания пиков, соответствующих связям с кремнием и с цинком, от их процентного содержания (рисунок 2).

Таким образом, применение золь-гель-технологии для создания оксида проводника, покрывающего электрод ячейки Гретцеля, увеличивает площадь поверхности, улавливающей свет, что повышает эффективность солнечной батареи на основе ячеек Гретцеля или их модификаций.

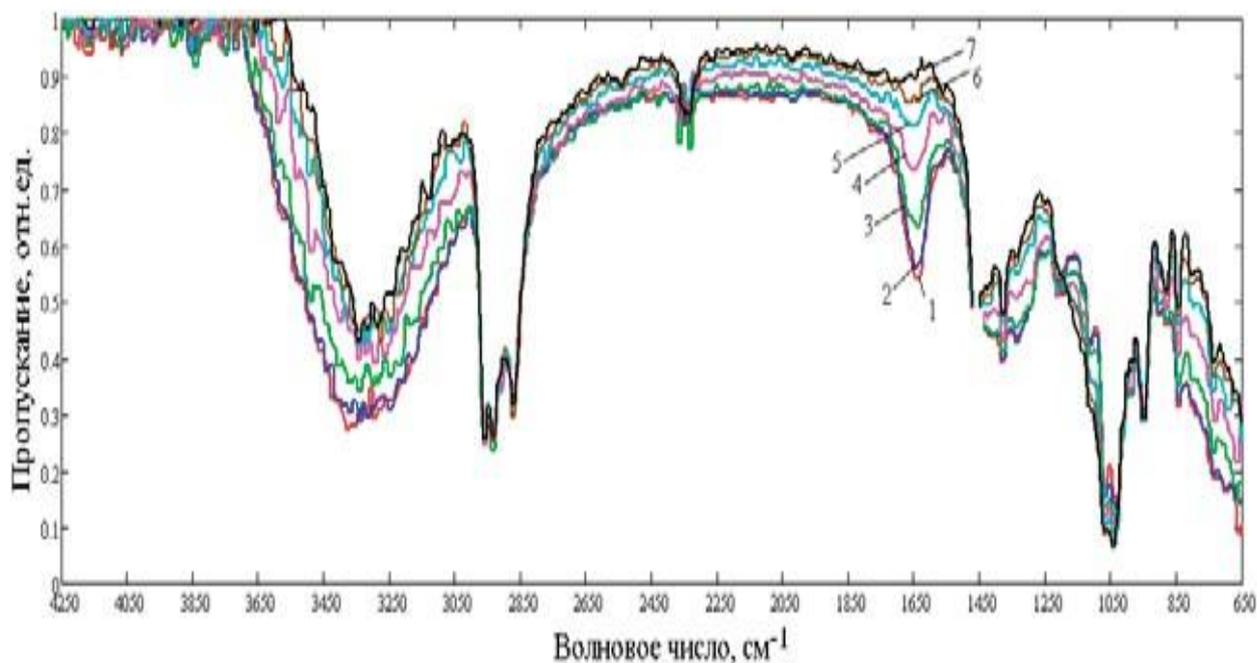


Рисунок 2 – ИК-спектры пропускания плёнкообразующих золь трехкомпонентной системы $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2\text{-ZnO}$ с различным процентным соотношением оксидов: 1–5 %-60 %-35 %, 2–10 %-60 %-30 %, 3–15 %-60 %-25 %, 4–20 %-60 %-20 %, 5–25 %-60 %-15 %, 6–30 %-60 %-10 %, 7–40 %-60 %-10 %

Более того, данный метод получения совместно с ИК-спектроскопией позволяет уже на стадии синтеза плёнок на основе $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2\text{-ZnO}$ анализировать физико-химические процессы, что обеспечивает управление свойствами и выходными параметрами солнечных элементов.

Литература

1. Зверева, И. Ю., Аверин И. А. Карманов А. А., Пронин И. А. Влияние типа подложки на свойства тонких пленок ZnO , синтезированных золь-гель методом // Университетское образование XVIII Международная научно-методическая конференция, посвященная 200-летию со дня рождения М. Ю. Лермонтова. под ред. А. Д. Гулякова, Р. М. Печерской, Пенза, 2014. – с. 286–288.
2. Аверин, И. А., Кудашов А. А., Пронин И. А., Игошина С. Е., Карманов А. А. Исследование фото-каталитической активности наноструктурированных порошков ZnO // Университетское образование XVIII Международная научно-методическая конференция, посвященная 200-летию со дня рождения М. Ю. Лермонтова. под ред. А. Д. Гулякова, Р. М. Печерской, Пенза, 2014. – с. 523–525.
3. Мошников, В. А., Грачева И. Е., Аньчков М. Г. Исследование нано-материалов с иерархической структурой, полученных золь-гель методом // Физика и химия стекла, 2011. – Т. 37. – №5. – с. 672–684.

4. Пронин, И. А., Аверин И. А., Димитров Д. Ц., Карманов А. А. Особенности структурообразования и модели синтеза нанокompозитных материалов состава $\text{SiO}_2\text{-MexO}_y$, полученных с помощью золь-гель технологии // Нано- и микросистемная техника, 2014. – №8. – С. 3–7.

5. Аверин, И. А., Пронин И. А., Карманов А. А. Исследование газочувствительности сенсоров на основе нано-структурированных композиционных материалов $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2$ // Нано- и микросистемная техника, 2013. – №5. – с. 23–26.

6. Аверин, И. А., Игошина С. Е., Карманов А. А. Исследование частотных зависимостей емкости нано-структур на основе $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2$ // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2013. – №3 (27). – С. 168–175.

7. Игошина, С. Е., Карманов А. А., Сигаев А. П. Вакуумметры с чувствительными элементами на основе пористых нано-структурированных материалов состава $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2$ // Молодой ученый, 2014. – №11. – с. 52–55.

8. Аверин, И. А., Карманов А. А., Пронин И. А. Моделирование процессов газочувствительности полупроводниковых сетчатых композитов на основе $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2$ // Труды международного симпозиума Надежность и качество, 2012. – Т. 1. – с. 214–216.

9. Аверин, И. А., Сигаев А. П., Пронин И. А., Кудашов А. А., Игошина С. Е., Карманов А. А. Исследование качественного состава наноструктур на основе SiO_2 , $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2$, $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2\text{-In}_2\text{O}_3$ и его зависимость от температуры отжига // Университетское образование XVIII Международная научно-методическая конференция, посвященная 200-летию со дня рождения М. Ю. Лермонтова. под ред. А. Д. Гулякова, Р. М. Печерской. Пенза, 2014. с. 521

10. Аверин, И. А., Карманов А. А. Исследование качественного состава золя ортокремневой кислоты // Международной научно-методической конференции. Посвящается 150-летию со дня рождения П. А. Столыпина. под ред. В. И. Волчихина, Р. М. Печерской. Пенза, 2012. – с. 177–178.

11. Аверин, И. А., Карманов А. А., Пронин И. А., Печерская Р. М. Использование ИК-спектроскопии для анализа тонких стекловидных пленок, полученных золь-гель методом // УНИВЕРСИТЕТСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ Сборник статей XV Международной научно-методической конференции, посвященной 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина. под редакцией В. И. Волчихина, Р. М. Печерской. 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40, 2011. – С. 227–228.

А.Л. Кушик (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

РАФИНИРУЮЩЕ-МОДИФИЦИРУЮЩИЙ ПРЕПАРАТ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Известно [1, 2], что для получения качественных литых заготовок из силуминов с заданными свойствами необходимо проведение комплексной рафинирующе-модифицирующей обработки расплава. В настоящее время самыми распространенными материалами для рафинирования и модифицирования силуминов являются солевые композиции (KCl, NaCl). При их применении серьезной проблемой становится загрязнение окружающей среды, что связано с традиционным наличием в составе указанных препаратов фтористых и хлористых соединений. Существующие экологически безвредные флюсовые композиции, как правило, не обеспечивают получение требуемых эксплуатационных свойств изделий или создают значительные технологические и экономические трудности при их использовании. В связи с вышесказанным в настоящее время большое внимание со стороны исследователей уделяется поиску новых высокоэффективных, экологически безвредных рафинирующих и рафинирующе-модифицирующих составов, обеспечивающих высокую стабильность получаемых результатов [1–4].

Цель работы – создание универсальной высокоэффективной экологически безвредной композиции на основе карбонатов кальция и стронция.

В качестве исследуемых составов выступали композиции заданной степени дисперсности (карбонат кальция – 40 мкм, карбонат стронция – 60 мкм), составы которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Различные составы исследуемой композиции

Номер состава композиции	Состав исследуемой композиции по массе
1	90 % CaCO ₃ + 10 % SrCO ₃
2	80 % CaCO ₃ + 20 % SrCO ₃
3	70 % CaCO ₃ + 30 % SrCO ₃
4	60 % CaCO ₃ + 40 % SrCO ₃
5	50 % CaCO ₃ + 50 % SrCO ₃
6	40 % CaCO ₃ + 60 % SrCO ₃
7	30 % CaCO ₃ + 70 % SrCO ₃

Указанные в таблице 1 композиции вводились в расплав АК12оч выплавленный в индукционной печи ИАТ-1 в количестве 0,01–3,0 % от массы металла при температуре 993 К с помощью погружного колокольчика. После окончания бурления расплава колокольчик извлекался, после чего металл подвергался 15-ти минутной изотермической выдержке при тем-

пературе 993 К. Затем при помощи шумовки скачивался образовавшийся на зеркале металла шлак и отбирались пробы с целью последующего определения плотности, прочности, пластичности и анализа микроструктуры сплава. При затвердевании расплава, необходимого для получения экспериментальных образцов проводился термоанализ с целью определения величины переохлаждения сплава при кристаллизации.

Установлено, что с увеличением содержания SrCO_3 с 10 % до 50 % время бурления расплава возрастало с 3,05 мин до 3,25 мин, т.е. увеличилось на 20 с. При использовании составов 6 и 7 с содержанием в составе карбонатной смеси свыше 50 % SrCO_3 , время реакции возрастало более существенно. Кроме того, после обработки расплава этими составами в колокольчике оставался непрореагировавший остаток смеси в количестве 7,0 и 20,0 % от первоначальной массы навески для составов 6 и 7 соответственно, что, вероятно, связано с недостаточным количеством CaCO_3 и, как следствие, неполной экстракцией карбоната стронция из колокольчика. При использовании составов с меньшим содержанием SrCO_3 , смеси расходовались без остатка в колокольчике. Полученные данные свидетельствуют о нецелесообразности использования для обработки силумина карбонатных композиций с содержанием SrCO_3 свыше 50 %.

Установлено, что при исходной плотности сплава АК12оч 2590 кг/м^3 , предела прочности на разрыв 140 МПа, относительного удлинения 2,0 %, добавки карбонатной композиции состава 5 от 0,01 % до 0,07 % обеспечивают плавный рост указанных показателей до значений: плотность – 2648 кг/м^3 , предел прочности на разрыв – 145 МПа, относительное удлинение – 2,5 %. При последующем увеличении величины добавки карбонатной смеси рост указанных показателей приостанавливается.

Дальнейшее увеличение прочностных и пластических показателей объясняется модифицированием структуры эвтектики. Так, для состава 5 максимальные значения предела прочности на разрыв – 170 МПа и относительного удлинения 5,0 % при некотором снижении плотности металла до 2610 кг/м^3 , обеспечиваются при получении полностью модифицированной структуры эвтектического кремния – 125×10^3 включений Si эвтектического на 1 мм^2 площади шлифа и переохлаждении 7,5 К, что соответствует добавке карбонатной смеси – 1,0 % от массы обрабатываемого расплава. Дальнейшее увеличение величины добавки карбонатной композиции состава 5 вызывает снижение прочностных и пластических характеристик сплава при сохранении модифицированной структуры в результате снижения плотности металла. Так, обработка расплава АК12оч карбонатной композицией состава 5 в количестве 2,0 % и 3,0 % при полностью модифицированной структуре эвтектического кремния – 125×10^3 включений Si эвтектического на 1 мм^2 площади шлифа и переохлаждении 7,5 К, вызывает снижение предела прочности на разрыв до

163 МПа и 150 МПа и относительного удлинения до 4,2 % и 3,5 % при снижении плотности образцов до 2605 кг/м³ и 2572 кг/м³ соответственно.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что наиболее рациональной карбонатной композицией для проведения рафинирующей или рафинирующе-модифицирующей обработок расплавов силуминов с точки зрения повышения прочностных, пластических свойств литых заготовок, их плотности и степени модифицирования при минимальном расходе является композиция 50 % CaCO₃ + 50 % SrCO₃. Для получения рафинирующего эффекта рациональной величиной расхода карбонатной смеси 50 % CaCO₃ + 50 % SrCO₃ является 0,07 % от массы обрабатываемого расплава. Для рафинирующе-модифицирующей обработки силумина, рациональной добавкой указанной карбонатной композиции является 1,0 % от массы обрабатываемого металла.

Литература

1. Бежок, А. П. Совершенствование технологии модифицирования силуминов стронцием : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / А. П. Бежок; Бел. гос. политехн. акад. – Минск, 1999. – 19 с.

2. Проблемы пористости при модифицировании силуминов стронцием / Б.М.Немененок [и др.] // Литьё Украины. – 2014. – № 3. – С.13–17.

3. Карбонаты – перспективные материалы для изготовления рафинирующих присадок для силуминов / Н. В. Чайкина [и др.] // Литье и металлургия. – 2010. – № 3 (57). – С. 33–39.

4. Немененок, Б. М. Термодинамика модифицирования силуминов карбонатом стронция / Б.М. Немененок [и др.] // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2017. – Т. 7.– № 1. – С. 6–14.

О.А. Липницкий (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)

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

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КАПРОЛАКТАМА НА СТАДИИ РЕКТИФИКАЦИИ И ДИСТИЛЛЯЦИИ

Введение. Необходимость совершенствования технологии производств органического синтеза и нефтепереработки обусловлена проблемами экологии, энерго- и ресурсосбережения. Частичное решение этих проблем может быть достигнуто в результате сокращения числа побочных продуктов, являющихся отходами производства [1, 2].

Капролактамы (гексагидро-2Н-азепин-2-он) – циклический амид (лактамы) ε-аминокапроновой кислоты, бесцветные кристаллы; Tкип = 262,5 °С, Tпл = 68–69 °С.

Белые кристаллы, хорошо растворимые в воде, спирте, эфире, бензоле. Капролактамы – циклический амид ϵ -аминокапроновой кислоты. В промышленности для производства капролактама исходным сырьем служит бензол. При нагревании в присутствии небольших количеств воды, спирта, аминов, органических кислот и некоторых других соединений капролактамы полимеризуются с образованием полиамидной смолы, из которой получают волокно капрон. Данный материал используется, в основном, для получения полиамидных пластмасс, волокон. Основная часть мирового потребления приходится на нити и волокна, значительное количество потребляется также в производстве конструкционных пластмасс. Остальной объем используется для изготовления упаковочных пленок и других материалов. Полиамидные волокна и нити, как правило, применяются в производстве текстиля, ковровых покрытий, промышленных нитей, используемых в свою очередь для изготовления шинного корда. Кордная нить – крупнейший и наиболее быстрорастущий сегмент рынка ПАБ. Смола ПАБ также является основной для производства конструкционных пластиков, используемых для производства компонентов электронной и электрической техники, автомобильных деталей. В упаковочной отрасли применяется ориентированная полиамидная пленка, также изготовленная на основе смолы ПАБ. Небольшие объемы капролактама уходят на синтез лизина, а также в качестве агента в производстве полиуретана [3].

Таблица 1 – Критерий качества капролактама высшего сорта

Наименование показателей	Норма
Перманганатный индекс, ед., не более	4
Цветность водного раствора капролактама с массовой долей 50%, ед. Хазена, не более	3,0
Содержание летучих оснований, $\frac{\text{ммоль}}{\text{кг}}$, не более	0,4
Температура кристаллизации, $^{\circ}\text{C}$, не ниже	68,8
Массовая доля циклогексаноноксима, %, не более	0,002
Массовая доля железа, %, не более	0,00002
Оптическая плотность раствора капролактама с массовой долей 50%, не более	0,04
Кислотность, $\frac{\text{ммоль}}{\text{кг}}$, не более	0,05
Щелочность, $\frac{\text{ммоль}}{\text{кг}}$, не более	0,1
РН 20%-ного водного раствора	6,7-7,3
Массовая доля воды, %, не более	0,07

При получении капролактама могут образовываться до 50 различных органических примесей, которые накапливаются в капролактамосодержащих продуктах. Попадая в товарный капролактама, они снижают его качество; отрицательно влияют на процесс полимеризации и способствуют снижению качества полиамидных продуктов. В связи с этим к качеству капролактама предъявляют жесткие требования [4].

Капролактама высшего сорта соответствует следующим критериям качества, приведенным в таблице 1.

Методика исследований. Объектом исследований являлась дистилляционная и ректификационная стадии синтеза ϵ -капролактама, применяемая при производстве капролактама на ОАО «Гродно Азот».

На действующем производстве капролактама образуется значительное количество жидких отходов. Загрязненные капролактамосодержащие потоки, образующиеся при выпарке и дистилляции капролактама, рециркулируют. При этом в цикл возвращаются и примеси, содержащиеся в потоках, что отрицательно сказывается на качестве полупродуктов и товарного капролактама. От условий и четкости проведения дистилляции зависит количество образующихся примесей, загрязняющих готовый продукт.

Результаты и их обсуждение. В соответствии с классификацией процессов перегонки, капролактама относится к тяжелокипящим продуктам. Дистилляцию и ректификацию капролактама проводят при остаточном давлении от 260 до 660 Па. В связи с тем, что капролактама является термически нестойким продуктом, в процессе его перегонки необходимо обеспечить минимально возможное термическое воздействие, поэтому ведут дистилляцию под глубоким вакуумом. Этому требованию соответствуют роторные тонкопленочные и тепло-массообменные аппараты – испарители и ректификаторы. Они обладают низким гидравлическим сопротивлением, время пребывания в них перерабатываемого продукта составляет несколько секунд.

Чистота мономера является непременным условием получения из него высококачественных полимерных материалов. В полной мере это относится и к капролактама. Свойства поликапроамида в значительной степени зависят от примесей, содержащихся в капролактаме. В основном их присутствие сказывается на процессе полимеризации и термостойкости получаемого полимера. Основными примесями в товарном капролактаме являются амины, спирты, основания Шиффа, сульфат аммония, ионы железа и др. Состав и количество примесей зависят от способа получения капролактама.

Стадия очистки не только является заключительным этапом многостадийного процесса получения капролактама, но и закладывает основы для его переработки в полиамидные изделия с высокими технико-

экономическими и качественными показателями. Основным методом, завершающим очистку, является дистилляция и ректификация капролактама.

Заключение. Обеспечение высокого качества капролактама – одна из важнейших задач, стоящих перед производителями этого продукта, определяющего качество получаемого из него полиамида и материалов на его основе. Поэтому вопросам качества товарного капролактама и полиамида уделяется особое внимание.

Повышение качества товарного капролактама видится в поиске новых, эффективных подходов на стадии дистилляции и ректификации капролактама.

Литература

1. Информационные базы данных для химической промышленности Республики Беларусь / В.С. Крук [и др.] // Химические проблемы создания новых материалов и технологий: сб. ст. / Бел. Гос. Ун-т, НИИ физ.-хим. Проблем; редкол.: О.А. Ивашкевич (отв. Ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2003. – Вып. 2. – С. 231–250.

2. Юрша, И.А. Опыт внедрения энергосберегающих технологий в азотной промышленности / И.А. Юрша // Химическая промышленность. – 2001. – № 4. – С. 14–16.

3. Производство капролактама / А.С. Бадриан [и др.]; Под ред. В.И. Овчинникова и В.Р. Ручинского. – М.: «Химия», 1977. – 264 с.

4. Оптимизация стадии дистилляции капролактама / И. Л. Глазко [и др.] // Российский Химический Журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2006. – т. L, № 3. – С. 59–64.

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

ВЛИЯНИЕ ВИДА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКОВОК КРЕСТОВИН КАРДАННОГО ВАЛА

Введение. Основной причиной выхода из строя автомобильной техники является износ поверхностей трения деталей. Задача повышения долговечности сводится к увеличению износостойкости ресурсопределяющих элементов, лимитирующих надежность работы транспортного средства. Основным элементом карданной передачи является шарнир. Преобладающими видами выхода из строя этого узла является износ и разрушение шипов крестовины из-за накопления усталостных микро-

разрушений, обусловленных высокой контактной нагруженностью. С целью повышения контактной и усталостной прочности требуется оптимальное сочетание твердости шипов и вязкости сердцевины.

В настоящее время известна технология изготовления крестовин карданного шарнира, обеспечивающая приемлемый уровень свойств. Согласно этой технологии, крестовины изготавливаются из легированных цементуемых сталей типа 20ХГНТР, 15ХГН2ТА, при этом имеет место ступенчатая термообработка – предварительно механически обработанные крестовины подвергаются цементации на глубину 1,5...2 мм, а затем закаляются в масле. Отпуск проводят при температуре 200 °С. Основным недостатком данного вида термической обработки применительно к крестовинам карданных передач, работающих на изгиб и кручение, является необходимость закалки на мартенсит на относительно большую глубину, достаточно большие затраты и узкий диапазон применения крестовин по крутящему моменту [1].

В общем случае для получения высокой статической усталостной прочности крестовин необходимо наличие на их поверхности высокопрочного закаленного слоя, глубина которого должна находиться в определенном соответствии с размерами упрочняемого сечения. Этого возможно достичь, используя метод объемно-поверхностной закалки (ОПЗ) с применением стали 60ПП.

Распространение сталей пониженной прокаливаемости и метода ОПЗ позволило успешно применить данный материал в производстве тяжело нагруженных деталей. Метод ОПЗ основан на применении сталей, прокаливаемость которых ниже, чем прокаливаемость стандартных углеродистых конструкционных сталей. Примером является сталь 60ПП по ГОСТ 1050-2013.

Методика исследований. Объектом исследования является крестовина карданного вала 5320-2205030-02 производства ОАО «Белкард» (рисунок 1), материал крестовины – сталь пониженной прокаливаемости 60ПП ГОСТ 1050-2013.

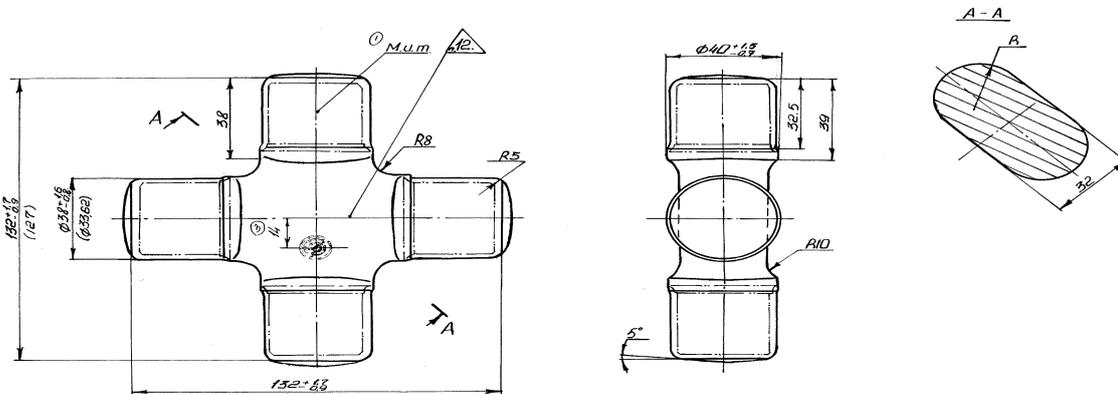


Рисунок 1 – Типовая крестовина карданного вала 2121-2201012-04

Для измерения твердости использовали прибор ТБ 5004 по ГОСТ 2367779, который предназначен для измерения твердости металлов по методу Бринелля. Диапазон измерений твердости 35...450 НВ. Испытательные нагрузки 7,5; 10; 30 кН. Номинальная цена единицы наименьшего разряда цифрового табло 0,1 НВ. Число разрядов цифрового табло 4. Допустимая относительная погрешность прибора по твердости при измерении диаметра отпечатка на микроскопе с ценой деления 0,05 мм и значениях образцовых мер твердости 2-го разряда МТБ: (100 ± 25) НВ ± 5 %; (200 ± 50) НВ ± 4 %; (400 ± 50) НВ ± 4 %.

Результаты измерений твердости исследуемых образцов из стали 60ПП представлены на рисунке 2.

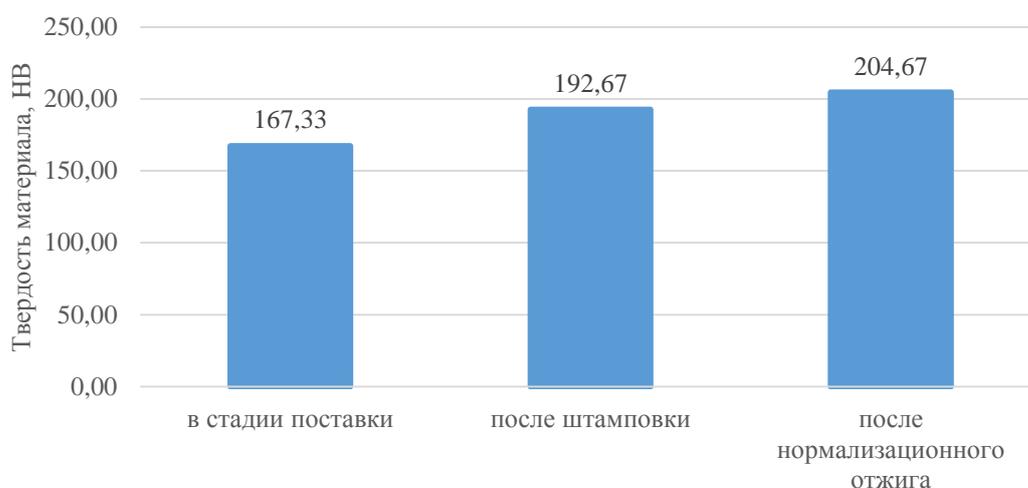


Рисунок 2 –Результаты измерения твердости поверхности исследуемых образцов

Из полученных результатов видно, что твердость материала после процесса штамповки возрастает относительно твердости материала в состоянии поставки в среднем на 25,23 НВ. После нормализационного отжига твердость материала возрастает относительно твердости материала после процесса штамповки в среднем на 12 единиц.

Обработка, характерная для индукционной закалки, дает возможность получить распределение свойств по длине шипов, в соответствии с действующими там нагрузками. Так, если при цементации твердость и глубина высокотвердого слоя постоянна по всей длине шипа, то при индукционной закалке и прерывистом самоотпуске удастся получить особо высокую твердость (до 65 HRC) и большую глубину высокотвердого слоя у вершин шипов, где действуют высокие контактные усилия, и пониженную твердость 51...56 HRC, при небольшой глубине этого слоя у основания шипа.

Нагрев и охлаждение поверхности обрабатываемых деталей при индукционной закалке происходят с высокими скоростями, достигающими сотен и тысяч $^{\circ}\text{C}/\text{с}$, осуществляются внутри индуктора и спрейера

при зазоре между индуктором и нагреваемой поверхностью 0,3 – 3,0 мм. Прямые измерения температуры в таких условиях существующими методами практически неосуществимы.

Заключение. В стадии поставки, после штамповки и после нормализационного отжига исследования показали, что после процесса штамповки твердость стали 60ПП возрастает относительно твердости материала в состоянии поставки в среднем на 25,23 НВ. После нормализационного отжига твердость стали 60ПП возрастает относительно твердости материала после процесса штамповки в среднем на 12 единиц. Процесс горячей штамповки стали 60ПП приводит к увеличению степени дисперсности структур перлитного типа, за счет чего увеличивается твердость материала, а проведение нормализационного отжига для стали 60ПП позволяет получить более однородную перлитно-ферритную мелкозернистую структуру. Экономический эффект от применения стали 60ПП складывается за счёт снижения стоимости исходного металлопроката стали 60пп на 20...25 % по сравнению с металлопрокатом стали 20ХГНТР.

Литература

1. Костюкович, Г.А. Технология изготовления крестовин карданных валов из стали пониженной прокаливаемости 60ПП / Г.А. Костюкович // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер 2. Матэматыка. – 2003. – № 1. – С. 68–75.

2. Кравченко, В.И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В.И. Кравченко, Г.А. Костюкович, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. – Мн.: Тэхналогія. – 2006. – 409 с.

О.А. Лях (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)

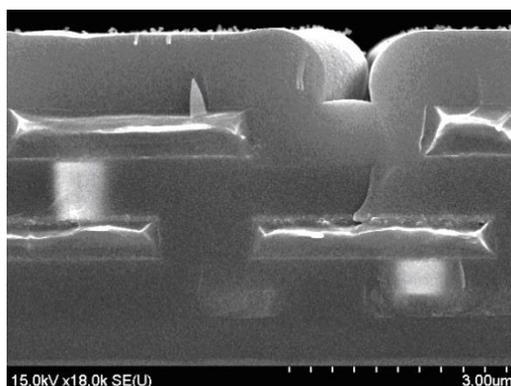
Науч. рук. **Н.С. Ковальчук**, канд. техн. наук, доцент

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ СУБМИКРОННЫХ ИМС МЕТОДОВ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

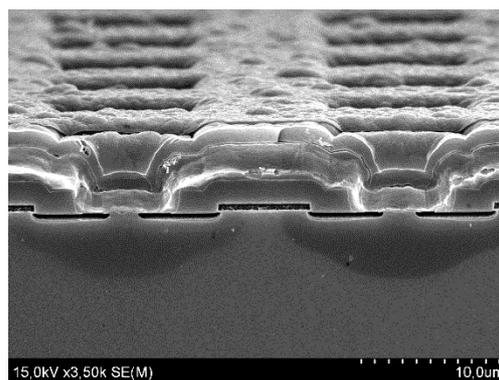
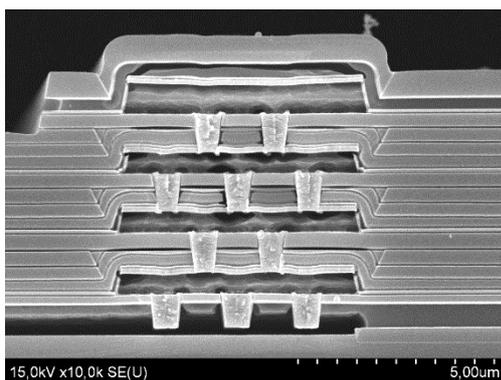
На сегодняшний день для определения значений критических размеров в субмикронном диапазоне (от десятков до сотен нанометров) применяются различные виды высокоразрешающей микроскопии, однако, для решения задач, требующих оперативного контроля (без специальной пробоподготовки) подходит только растровая электронная микроскопия. Тем не менее, подготовка образцов для исследований на растровом электронном микроскопе получило широкое распространение

в современной микроскопии. Она позволяет свести к минимуму такие нежелательные явления как зарядку образца и его смещения под действием электронного луча [2]. Используя шлифы и химические травители (если это возможно!) можно разделять слои исследуемых объектов с большей четкостью и контрастностью. При этом электронное изображение подготовленного объекта может кардинально отличаться от исходного. Таким образом, подготовка образцов для анализа в современной микроэлектронике имеет важное значение и является одним из приоритетных направлений в электронной микроскопии.

Самым простым и "гуманным" способом исследования вертикальной топологии ИМС является исследование образца без какого-либо дополнительного химического воздействия. Это относится как к поверхности исследуемого вещества, так и к его сколу. В качестве примера исследования ИМС рассмотрим способ подготовки скола с его декорированием.



а) без декорирования



б) с декорированием

Рисунок 1 – Влияние химического декорирования на вертикальную топологию ИМС

Под декорированием будем понимать химическое травление образца, с целью выявления различных областей. В большинстве случаев к такой "вынужденной" мере прибегают редко, поскольку любая

агрессивная (химическая) среда так или иначе будет сказываться на геометрических параметрах образца. Тем не менее, данный метод подготовки образца нашел свое применение в случаях, когда искомую область на исследуемом объекте выявить очень сложно. Суть метода заключается в том, что на объект воздействуют химически агрессивной средой. В качестве химически агрессивной среды могут быть использованы различные виды кислот и щелочей. Каждая химическая среда воздействует на определенные участки исследуемого образца с определенной скоростью. Другими словами, скорость травления слоев будет зависеть от вида химического травителя и времени его травления, то есть, одни слои будут травиться быстрее, другие – медленнее, либо травиться не будут вообще. Образуется рельеф, который хорошо виден на РЭМ. Если в качестве исследуемого образца используется скол ИМС, то химическое травление позволяет отчетливо увидеть вертикальную топографию ИМС и идентифицировать ее слои. В качестве примера на рисунке 6 изображены сколы ИМС без химического декорирования и с химическим декорированием.

Таким образом, методика подготовки сколов с декорированием аналогична методике подготовки сколов без декорирования, только перед запылением образца, его необходимо продекорировать в соответствующем химическом травителе.

Литература

1. Frase C.G. CD characterization of nanostructures in SEM metrology / C.G. Frase, E. Buhr, K. Dirscherl // Meas. Sci. Technol. – 2007. – V. 18. – p. 510-523.
2. Власов А.И., Елсуков К.А., Косолапов И.А. Электронная микроскопия // МГТУ им. Баумана, 2011.

А.А. Маевский (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Н.С. Ковальчук**, канд. техн. наук, доцент

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ МИКРОСХЕМ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ 0,8 МКМ БИ-КМОП ПРОЦЕССА, В СОСТАВ КОТОРОГО ВХОДИТ БИПОЛЯРНЫЙ NPN ТРАНЗИСТОР

При разработке и проектировании новых изделий требуется получить конкретные приборные структуры с заданными электрофизическими свойствами и электрическими характеристиками ещё до этапа изготовления их экспериментальных образцов.

При помощи программного обеспечения можно осуществлять расчёт характеристик, как элементов интегральных схем, так и дискретных полупроводниковых приборов. [3]

Система автоматизированного проектирования Mentor Graphics на сегодняшний день является одной из самых мощных в своем классе программного обеспечения и представляет собой пакет специализированных модулей, которые охватывают все этапы разработки печатных плат.

Программа TaurusWorkbench предназначена для двумерного моделирования технологии изготовления любых полупроводниковых структур с максимальным количеством узлов сетки 100000 и позволяет:

- рассчитывать примесные профили с использованием различных моделей легирования и термоотжигов;
- наносить проводящие и диэлектрические слои и осуществлять их травление;
- определять структурные параметры: поверхностное сопротивление R_s , глубину залегания p-n перехода X_j , толщину окисла d_{SiO_2} и т.д.;
- проводить оптимизацию режимов технологических операций для получения требуемых параметров структуры;
- проводить многофакторный эксперимент. [1]

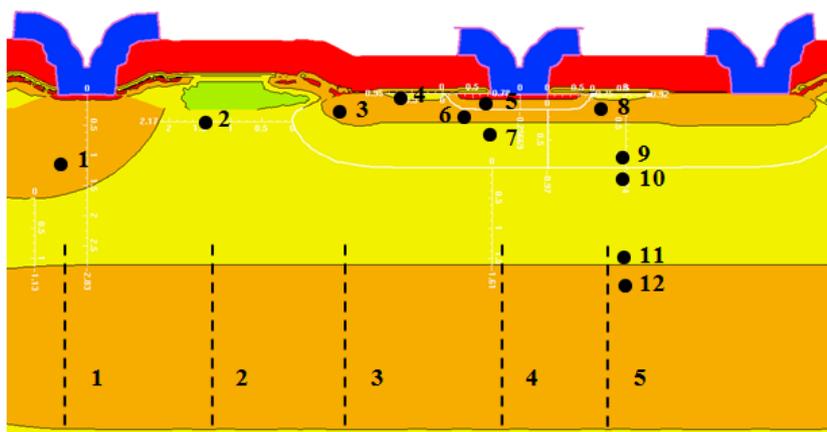


Рисунок 1 – Структура биполярного NPN– транзистора

На рисунке 1 отображен итоговый результат выполнения всех технологических операций в программах Mentor Graphics и TaurusWorkbench.

На полученной структуре мы можем измерить толщины диэлектрических, поликремниевых, металлических слоев, глубины залегания p-p переходов, концентрацию, профили распределения примеси, поверхностное сопротивление слоев и ВАХ моделируемого элемента. [2]

- **N+c.c.**
Концентрация сурьмы: в точке **12** $C=1,3e+18 \text{ см}^{-3}$;
- **Эпитаксия**

Толщина эпитаксии на конец маршрута = 2,86 мкм;
 Концентрация фосфора: в точке $2C=9,6e+16 \text{ см}^{-3}$;
 в точке $10C=4,1e+16 \text{ см}^{-3}$;
 в точке $11C=1,2e+16 \text{ см}^{-3}$;
 R_s эпитаксии: по линии $2R_s=417 \text{ Ом}/\square$;
 по линии $3R_s=797 \text{ Ом}/\square$;
 по линии $4R_s=828 \text{ Ом}/\square$;
 по линии $5R_s=829 \text{ Ом}/\square$;

- **Глубокий коллектор**

Минимальное расстояние между коллектором и N+скрытым слоем на конец маршрута = 1,13 мкм;

Максимальная глубина коллектора на конец маршрута = 1,7 мкм;

Концентрация фосфора: в точке $1C=5,2e+18 \text{ см}^{-3}$;

R_s коллектора: по линии $1R_s=29 \text{ Ом}/\square$;

- **P- база**

Толщина базы на конец маршрута = 1,24 мкм;

Толщина базы под эмиттером на конец маршрута = 0,97 мкм;

Концентрация бора: в точке $3C=1,7e+19 \text{ см}^{-3}$;

в точке $4C=7,4e+18 \text{ см}^{-3}$;

в точке $6C=1,1e+18 \text{ см}^{-3}$;

в точке $7C=7,5e+17 \text{ см}^{-3}$;

в точке $8C=1,2e+18 \text{ см}^{-3}$;

в точке $9C=7,5e+16 \text{ см}^{-3}$;

R_s базы: по линии $3R_s=152 \text{ Ом}/\square$;

по линии $4R_s=1,09 \text{ кОм}/\square$;

по линии $5R_s=645 \text{ Ом}/\square$;

- **Эмиттер**

Толщина эмиттера на конец маршрута = 0,26 мкм;

Концентрация мышьяка: в точке $5C=6,8e+19 \text{ см}^{-3}$;

R_s эмиттера: по линии $4R_s=65 \text{ Ом}/\square$;

Изучив процесс разработки элементной базы микросхем путем моделирования биполярного NPN транзистора в программе приборно-технологического моделирования Synopsys TCAD и Mentor Graphics приходим к выводу, что при помощи имеющегося программного обеспечения можно осуществлять расчёт характеристик, как элементов интегральных схем, так и дискретных полупроводниковых приборов.

Литература

1. Taurus-Workbench C Technology Visualization User Guide Version 2003.09, September 2003.

2. Р. Маллер Т. Кейминс Элементы интегральных схем. //Москва. Мир. 1989 г. стр. 325-373.

3. У. Тилл Дж. Лаксон Интегральные схемы. // Москва. Мир 1985 г. стр. 161-196.

К.О. Макаревич (БГУ, Минск)

Науч. рук. **С.А. Кутень**, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией теоретической физики и моделирования ядерных процессов

МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДОЗИМЕТРИИ МЕДИЦИНСКОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Введение. Вклад медицинского облучения в коллективную дозу облучения населения достигает 30% [1]. Несмотря на то, что в ситуации медицинского облучения ионизирующее излучение несет больше пользы, чем вреда, следует избегать ненужного облучения, т.к. рост лучевой нагрузки приводит к росту стохастических эффектов радиации [2]. Поэтому необходимо по возможности контролировать и ограничивать дозы от рентгенодиагностических обследований.

Материалы и методы. Для того чтобы оценить дозовую нагрузку, полученную пациентом, необходимо знать распределение поглощенной энергии в органах и тканях организма пациента. Наиболее тщательно и точно его можно оценить расчетным путем, моделируя транспорт рентгеновского излучения в теле пациента с помощью метода Монте-Карло. Для этого необходимо описание источника излучения, геометрии облучения человека и рассчитываемых функционалов.

Источник излучения. Разработана модель рентгеновского аппарата, включающая точечный источник излучения, расположенный в фокусе рентгеновской трубки, и две пары свинцовых шторок, обеспечивающих необходимые размеры поля облучения на приемнике изображения. Энергетический спектр рентгеновского излучения описывался с помощью эмпирической модели «TASMIP», которая включает в себя такие параметры как напряжение на аноде, общая фильтрация, пульсации напряжения [3]. Разработанная модель также учитывает характеристики формирующего устройства, расстояние «источник-приемник изображения», размеры поля облучения, расстояние «источник-формирующее устройство».

Геометрия облучения. Для расчета распределения поглощенной энергии в объеме тела человека в результате облучения необходимо ввести модель (фантом) тела человека с описанием внутренней структуры,

положения органов, состава и плотностей тканей. МКРЗ для расчетов дозиметрических величин предложила использовать воксельные фантомы мужчины и женщины [4].

Следует отметить, что Монте-Карло моделирование транспорта рентгеновского излучения в областях, расположенных на больших расстояниях вне прямого поля облучения, занимает длительное компьютерное время и сопровождается большими статистическими ошибками счета. Для этого фантомы были адаптированы таким образом, чтобы в расчетах учитывались только те органы и ткани, которые непосредственно попадали в поле облучения вместе с геометрической областью размером 15 см от каждого края поля. Для оценки обоснованности принятого упрощения проведены сравнительные вычисления эффективной дозы на целом и усеченном мужском фантоме. Относительная разница значений эффективной дозы, рассчитанной для всего мужского фантома и для части фантома, выбираемой согласно указанной выше схеме, не превысила 0,1%.

Рассчитываемые функционалы и оценка дозовых нагрузок. С помощью метода Монте-Карло рассчитывалось количество энергии, поглощенной в каждом вокселе, принадлежащем к критическим органам и тканям. Для нахождения поглощенной дозы $\bar{D}_{T,R}$ полученное пространственное распределение поглощенной энергии суммировалось по объему органа или ткани и усреднялось:

$$\bar{D}_{T,R} = \frac{\sum_{i=1}^N W_{i,T}}{N_T \cdot \rho_T \cdot V}, \quad (1)$$

где $W_{i,T}$ – поглощенная энергия в i -том вокселе органа/ткани T ; N_T – количество вокселей в органе/ткани T , ρ_T – плотность органа/ткани T , V – объем вокселя.

Эквивалентная доза H_T органе или ткани численно равна средней поглощенной дозе $\bar{D}_{T,R}$ поскольку взвешивающий коэффициент для рентгеновского излучения $w_R = 1$.

Эффективная доза E рассчитывалась по средним от сумм эквивалентных доз для органов или тканей условных мужчины и женщины [4]:

$$E = \sum_T w_T \cdot \left[\frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right], \quad (2)$$

где w_T – взвешивающий коэффициент ткани T ; H_T^M – эквивалентная доза, оцененная для органа/ткани типа T условного мужчины; H_T^F – эквивалентная доза, оцененная для органа/ткани типа T условной женщины.

Результаты и обсуждение. Проведено Монте-Карло моделирование процедуры облучения пациента при рентгенографии легких в задне-передней проекции. На рисунке 1 показана зависимость значений

«эффективной дозы», рассчитанной отдельно для мужского и женского фантомов в зависимости от толщины алюминиевого фильтра. Данная величина в полной мере не соответствует понятию эффективная дозы, которое рекомендовано МКРЗ, т.к. для расчетов «индивидуальных эффективных доз» используются тканевые коэффициенты, усредненные по полу. Все дозы, приведенные на рисунке 1, нормированы на значение падающей воздушной кермы, измеренной на расстоянии 1 м от источника.

«Эффективная доза», рассчитанная для женского фантома больше значения «эффективной дозы», рассчитанной для мужского фантома на 30-40%. Таким образом, при расчетах дозовых нагрузок на организм пациента необходимо учитывать влияние анатомического строения мужского и женского организмов на величины реализуемых доз.

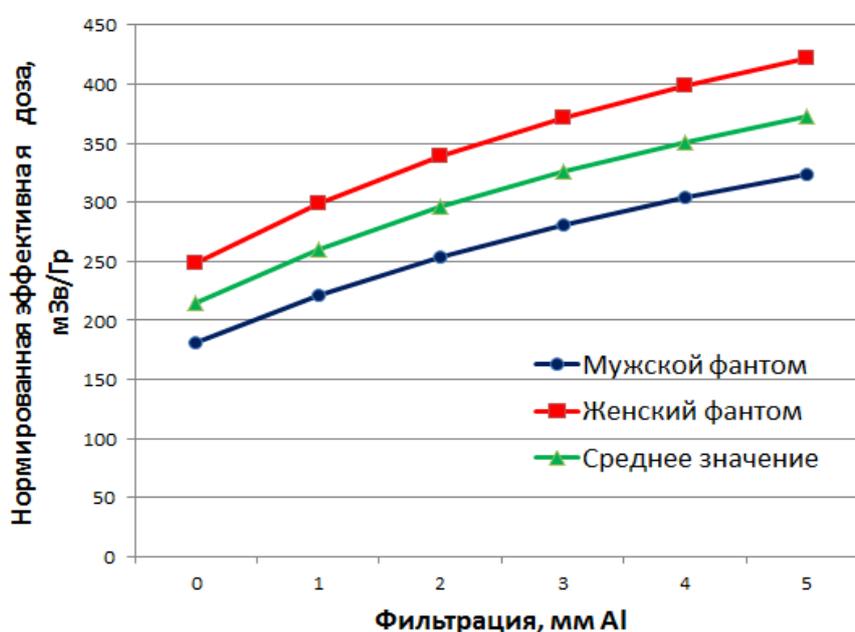


Рисунок 1 – Сравнение «эффективных доз» для мужского и женского фантомов (напряжение 80 кВ, пульсация напряжения 5%)

Литература

1. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations sales publication E.08.IX.6., New York, 2008.

2. J.M. Boone and J.A. Seibert. An accurate method for computer-generating tungsten anode x-ray spectra from 30 to 140 keV. // Med. Phys. 24(1). - 1997. – 1661-1670 pp.

3. ICRP 2009. Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2).

4. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите от 2007 года. Публикация 103 МКРЗ. Москва, Алана, 2009.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОРМОЗНЫХ КАМЕР ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Введение. Надежность эксплуатации техники во время движения определяет бесперебойная работа тормозных камер, которые играют важнейшую роль, поэтому при разработке новых моделей большегрузной техники значительное внимание уделяется способам повышения их герметизирующих характеристик. Растущие требования к безопасности движения, приводят к необходимости использования инновационных технологий, при разработке тормозных камер и увеличения давления в тормозных магистралях. Окрашивание тормозных камер традиционно осуществляется жидкофазными составами, однако все большее распространение получают порошковые лакокрасочные материалы.

Окрашивание порошковыми лакокрасочными материалами представляет собой одну из наиболее совершенных технологий получения покрытий, отвечающих требованиям сегодняшнего дня. Технология покрытий с применением порошковых красок по сравнению с окрашиванием жидкими материалами имеет следующие преимущества: поставляются потребителю в готовом к применению виде, получение покрытий ограничивается однослойным нанесением, легко обеспечивается утилизация краски и почти полный ее возврат в производственный цикл, достигается более высокая экономичность производства, обеспечение возможности механизации процесса и почти полной автоматизации производственного цикла нанесения покрытий,.

Целью представленной работы является анализ влияния на параметры герметичности тормозных камер при использовании различных материалов и технологических режимов формирования функциональных покрытий методом электростатического осаждения.

Объект исследования и материалы. В качестве объекта исследования использовали тормозную камеру 100.3519010-01.

В качестве материала для формирования защитного покрытия использовали полиэфирную порошковую краску «Amika П-ПЛ-1321». Фракционный состав порошка находится в диапазоне от 80 до 180 мкм (оптимизированный параметр), фракционный контроль осуществляли методом виброситового анализа.

Гидрофобность поверхности сформированных покрытий определяли по краевому углу смачивания. Адгезионную прочность оценивали методом решетчатых надрезов.

Испытания на ударную прочность проводили с помощью прибора «Удар-Тестер МТ». Груз массой 1 и 2 кг сбрасывали с разной высоты, до первого разрушения. Диаметр шарика– 16мм.

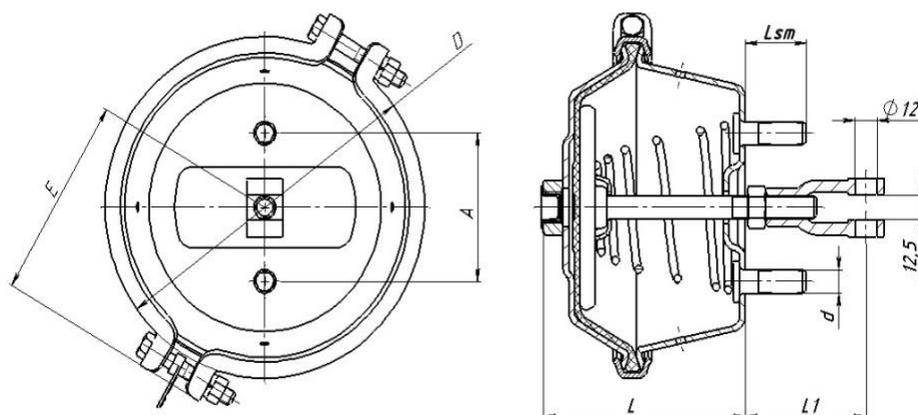


Рисунок 1 — Тормозная камера большегрузного автомобиля 100.3519010-01

Толщину покрытия оценивали с помощью толщиномера RICHMETERS модели RM-660.

Герметичность и долговечность проверяли на специализированном стенде ОАО «Белкард».

Результаты и их обсуждение. Режимы формирования покрытий на основе состава «Amika П-ПЛ-1321» оптимизировали за счет изменения стадий технологического процесса. По результатам исследований предлагаются следующие технологические рекомендации для сокращения расхода полимерных порошковых составов с сохранением функциональных характеристик покрытий: 1) фракционирование составов: рекомендуется использование частиц с размером менее 80 мкм, в том числе для исключения дефектного признака по декоративному признаку – шагреню; 2) предварительная термообработка поверхности субстрата при температуре 60 °С в течение не менее 30 минут; 3) предварительная термообработка порошковых составов при температуре 60 °С в течение 60 минут для удаления адсорбционной влаги.

Для определения размера частиц был использован метод ситового анализа с применением набора сит для разделения их по фракциям. Испытания показали, что в порошковой краске П-ПЛ-1321 содержится 1,8% частиц с размером от 180 до 280мкм, 29,8% с размером частиц от 80 до 180мкм и 68,4% частиц размером менее 80мкм соответственно.

Исследования адгезионных характеристик порошковых и жидкофазных покрытий показали, что отличия по адгезионной прочности незначительны, так как покрытия по классификации относятся к первому баллу по шкале адгезионной прочности.

Анализ результатов свидетельствует о том, что ударопрочность жидкофазного покрытия ниже (0,75 кг/см), чем прочность порошкового покрытий, сформированного электростатическим методом по предлагаемым режимам формирования защитного покрытия (1 кг/см).

Герметичность и долговечность тормозных камер проверяли по ГОСТ Р 52849–2007 из которого следует, что тормозная камера должна оставаться герметичной, при давлении не менее 0,8 МПа (8 кгс/см²). При постепенном увеличении давления выяснили, что камера с нанесенным жидкофазным покрытием не выдержала испытания давлением в 1,9 МПа (19 кгс/см²), а камера с порошковым покрытием начала пропускать воздух при давлении в 2,3 МПа (23 кгс/см²).

Обе камеры прошли испытания на герметичность, но при дальнейшем испытании камер на долговечность, камера с нанесенным жидкофазным покрытием разгерметизировалась на этапе $2,5 \times 10^6$ включения, когда камера с полимерным порошковым покрытием в свою очередь начала пропускать воздух только на этапе $3,3 \times 10^6$ включения.

Заключение. Использование порошковых лакокрасочных покрытий, при производстве тормозных камер, взамен жидкофазных покрытий, благоприятно влияют на ударопрочность, адгезионную прочность, герметичность и долговечность тормозных камер. Ударопрочность покрытия выросла на 13%, стойкость к перепаду давлению выросло на 21%, а долговечность тормозных камер увеличилась на 32% соответственно. При окраске тормозных камер электростатическим методом рекомендуется применять порошковую краску с фракционным составом менее 80 мкм, произвести предварительную термообработку поверхности субстрата при температуре 60 °С в течение не менее 30 минут, а также произвести предварительную термообработку порошковых составов при температуре 60 °С в течение 60 минут для удаления адсорбционной влаги.

Литература

1. Решетников, В. М. Методы оценки качественных характеристик порошковых красок, актуальных при нанесении / В.М. Решетников. – Москва: Промышленная окраска, 2013. – 55 с.
2. Лаки и краски: Назначение и эксплуатационные характеристики, режимы отверждения, рецептуры. - Москва: Химия, 1995. – 59с.
3. Яковлев, А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / А.Д. Яковлев. – Ленинград: Химия, – 1981. – 324 с.
4. Ламбурн, Р. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика / Р. Ламбурн, Дж. Бентли, Дж. Ролинсон; под ред. Р. Ламбурна. – СПб.: Химия, 1991. – 619 с.

Н.А. Медведев (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В.В. Сидский**, канд. техн. наук, научный сотрудник ПНИЛ ПМ

ПОЛУЧЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ФОТО- И ЭЛЕКТРОЛЮМИНОФОРОВ

Работа с люминофором не способна нанести вреда здоровью человека. В среднем, они способны сохранять свои свойства на протяжении трех лет, а также обладают широкой цветовой палитрой. Поэтому, изучения данной области очень важно в наши дни, так как люминофоры все чаще применяются в современной жизни во всех уголках земного шара.

Широкое распространение получили методы синтеза неорганических материалов из специально приготовленных коллоидных растворов на основе солей металлов.

Золь-гель метод – это метод получения материалов, в том числе нано материалов, включающий получение золя с последующим переводом его в гель, т. е. в коллоидную систему, состоящую из жидкой дисперсионной среды, заключенной в пространственную сетку, образованную соединившимися частицами дисперсной фазы. На первой стадии золь-гель процесса реакции гидролиза и поликонденсации приводят к образованию коллоидного раствора - золя (частиц гидроксидов, размер которых не превышает несколько десятков нм). Увеличение объемной концентрации дисперсной фазы или иное изменение внешних условий (рН, замена растворителя) приводят к интенсивному образованию контактов между частицами и образованию монолитного геля, в котором молекулы растворителя заключены в гибкую, но достаточно устойчивую трехмерную сетку, образованную частицами гидроксидов.

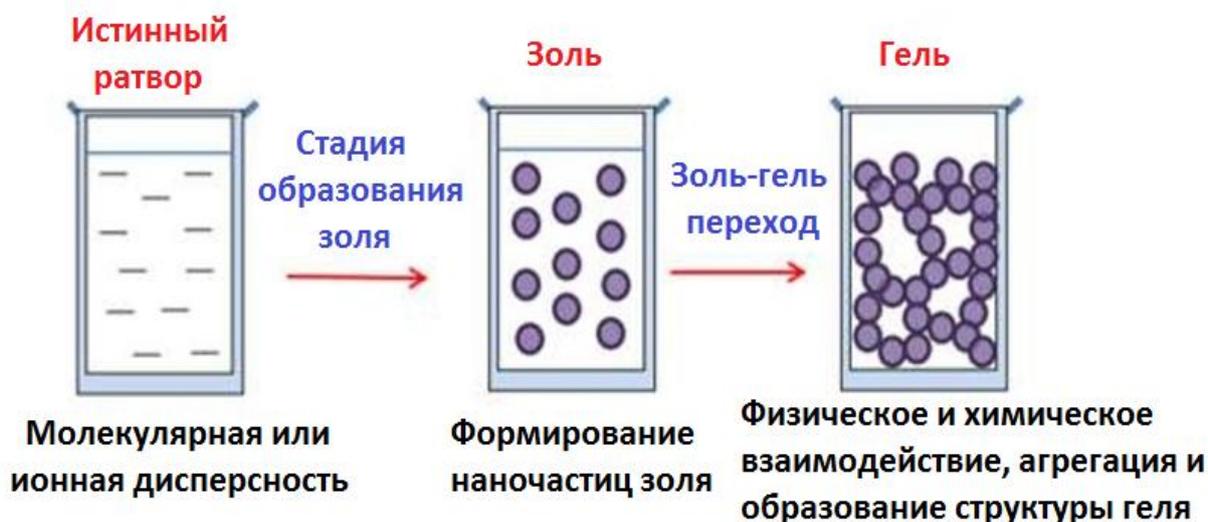


Рисунок 1 – Преобразование золя в гель

Люминесценция – излучение, представляющее собой избыток над тепловым излучением, испускаемым веществом при данной температуре, и продолжающееся после поглощения энергии возбуждения в течение времени, которое значительно превышает период световых волн. Общее название веществ, обладающих способностью люминесцировать – люминофоры. В данной работе мы будем рассматривать получение фото- и электролюминофоров данным методом.

В результате проделанной работы, золь-гель методом, были получены структуры, в которых визуально наблюдались признаки фото- и электролюминесценции. После термообработки при $t = 800^{\circ}\text{C}$, в люминофоре на основе ZnS, который мы получили путем смешивания 0.02 грамма NaCl с 1 граммом ZnS и 3 миллиграммами меди (Cu), мы наблюдали хорошо заметную реакцию в качестве светло-зеленого свечения, при воздействии на этот образец светом, близким к ультрафиолетовому ($\lambda = 405 \text{ нм}$). Результат представлен на рисунке 2.

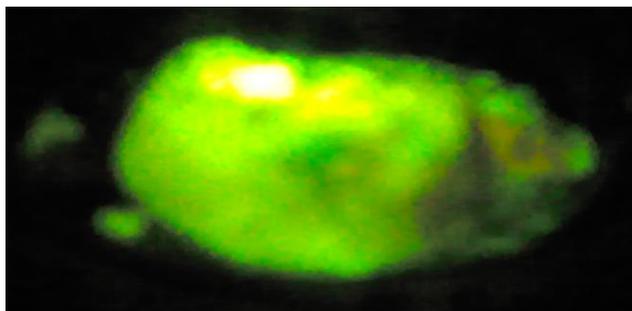


Рисунок 2 – Реакция на световой раздражитель ZnS (Cu)

В то время как образец, легированный марганцем (здесь Mn вместо Cu), реагировал на наше воздействие в виде желто-зеленого излучения, которое видно на рисунке 3.

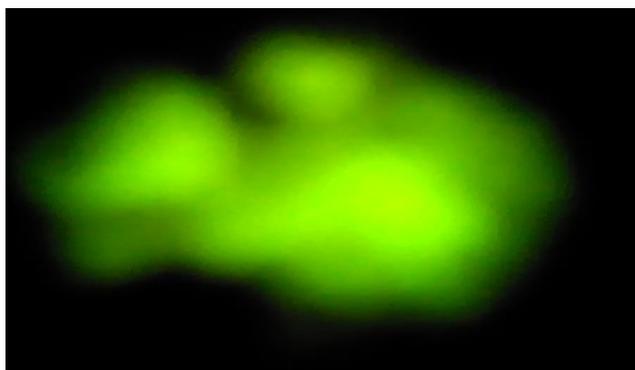


Рисунок 3–Реакция на световой раздражитель ZnS (Mn)

Значит, можно с уверенностью сказать, что эти структуры являлись фотолуминофорами. Рисунок 4 демонстрирует схему для проверки на электролюминесцентные свойства.

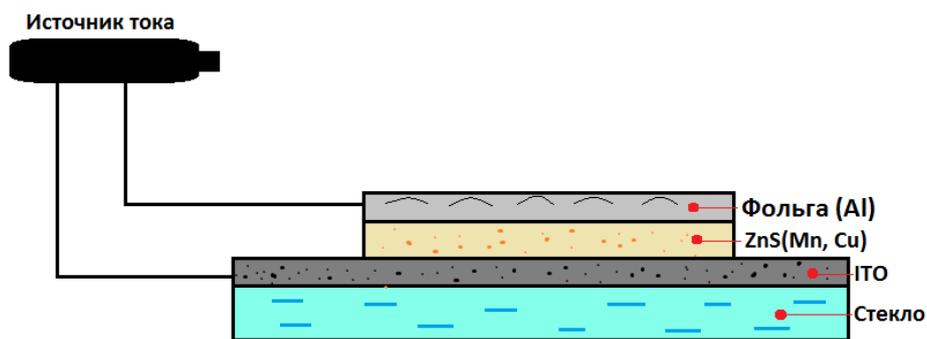


Рисунок 4 – Схематическое изображение конструкции

Они успешно проявляют их. При подаче электрического сигнала с источника тока на люминофор, содержащий Cu, в течение короткого промежутка времени он становится источником желто-белого света.

Структура, содержащая Mn, проявляла реакцию, которую мы наблюдали в виде светло-голубого излучения. Поэтому данные образцы так же представляли собой и электролюминофоры.

Однако, вещества, в которых основой был CdS (Cu, Mn), не прошли процедуру высокотемпературного отжига, следовательно, результат проверки на люминесценцию оказался отрицательным. Из этого можно сделать вывод о том, что, так как данные структуры “выгорели”, им требуется либо меньшее количество времени термообработки (менее 1 часа), либо стоит снизить температуру ниже 800°C . Таким образом, люминофоры на основе CdS требуют дальнейшего изучения и дополнительного проведения экспериментов над ними.

Литература

1. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы. (Под ред. Ю.Д. Третьякова). М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 456 с.
2. Краткая химическая энциклопедия. Т.2. - М.: Советская энциклопедия, 1963. С. 110.

Е.В. Миленкевич (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)

Науч. рук. **В.Г. Сорокин**, канд. техн. наук, ст. преподаватель

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЙ ЗАПОРНОЙ И РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АРМАТУРЫ

Трубопроводная арматура – предназначена для полного перекрытия потока рабочей среды в трубопроводе и пуска среды в зависимости от требований технологического процесса (цикл «открыто-закрыто»).

Сюда относятся задвижки, краны, запорные клапаны, поворотные затворы. Основное назначение запорно-регулирующей арматуры – перекрывать поток рабочей среды по трубопроводу и снова пускать среду, а также обеспечивать необходимую герметичность. Одной из наиболее значимых задач для трубопроводной арматуры является перекрытие потока транспортируемой жидкой или газообразной среды [1].

Герметичность запорного элемента в закрытом положении – одно из главных требований к трубопроводной арматуре и важнейший критерий оценки её качества.

Работа посвящена разработке составов и технологии литьевых композиционных, смесевых материалов на основе полимерных матриц для уплотнительных элементов шаровых кранов. Краны шаровые относятся к промышленной арматуре и предназначены для применения в различных отраслях народного хозяйства в качестве запорных устройств на трубопроводах воды, пара, природного газа, масла и других сред, нейтральных к материалам деталей кранов.

В кранах шарового типа герметичность соединения запорного органа и корпуса устанавливается за счет их контакта через уплотнительные кольца. Тип материала колец, их механические и химические свойства играют большую роль при выборе области применения и конструкции данного вида запорной арматуры.

К одному из лучших неметаллических уплотнительных материалов ввиду высокой устойчивости к большинству сред (кислотам, щелочам, маслам, жирам, парам) и широкого температурного диапазона относится фторопласт (он же – тефлон, политетрафторэтилен (ПТФЭ)) [2].

Есть, правда, одно «но» – текучесть даже при сравнительно небольших нагрузках. Седельные кольца шаровых кранов в сборе, выполненные из фторопласта, находятся в напряжённо-деформированном состоянии, а этот материал имеет свойство при таком состоянии «течь», что приводит через определённое время к нарушению герметичности и потере работоспособности запирающего устройства.

Поэтому работа посвящена разработке составов и технологии композиционных материалов для уплотнений запорной и регулирующей арматуры.

Для исследований были предложены композиционные материалы на основе термопластичный полиуретан (ТПУ) с добавлением в различном процентном содержании сополимер формальдегида (СФД) и АБС – пластика (акрилбутадиенстирол). Цель применения компонентов в виде добавок СФД и АБС – пластика – это повышение эксплуатационных характеристик уплотняющего элемента, а также повышение ресурса его работы.

Образцы для испытаний были изготовлены методом литья под давлением на термопластавтомате ДЕ 3130. Перед изготовлением образцов из композитов гранулы различных материалов в определённом процентном соотношении смешивали механическим способом.

Изготовленные методом литья под давлением образцы уплотнений из композиционных материалов на основе ТПУ представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Полученные образцы уплотнений ТПУ с СФД

Для компьютерного моделирования механических, физических и даже химических процессов выбран программный продукт SolidWorks. Система автоматизированного проектирования SolidWorks является интегрированной средой трехмерного параметрического моделирования, использующей традиционный интерфейс операционных систем семейства Windows Microsoft [3].

На рисунке 2 смоделированы эпюры напряжений на уплотнительном элементе крана DN32 в случае изготовления его из материала ТПУ с добавлением СФД.

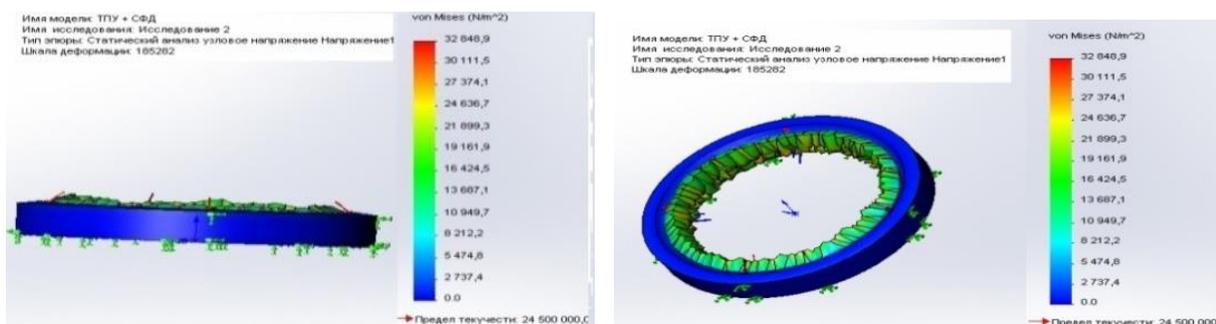


Рисунок 2 – Эпюры напряжений на уплотнительном элементе

Параметры характеристик уплотнительного элемента, которые выводятся обрабатывающей программой в отдельном окне

Деформационно-прочностные испытания (прочность, твёрдость, эластичность) изготовленных образцов проводили с использованием комплекса ИПМ-1К, которая предназначена для сравнительного анализа физико-механических свойств эластомерных материалов. Испытания физико-механических свойств образцов проводились по четыре раза на каждый, и затем устанавливали среднее значение каждого из параметров.

Анализ полученных результатов показывает, что по твёрдости образец из ТПУ с содержанием 30 мас. % СФД уступает образцу из ТПУ с содержанием 10 мас. % АБС – пластика, но по всем остальным показателям первый образец наиболее оптимален, т.е. проведенные деформационно – прочностные испытания уплотнений на прочность, твёрдость, эластичность подтвердили результаты модельных испытаний.

Герметизирующая способность уплотнительных элементов и прочность корпуса шарового крана проверялась на испытательном стенде.

По результатам проведенных исследований и экономической целесообразности предложено технологическое решение использовать для изготовления уплотнительных элементов шаровых кранов термопластичный полиуретан с добавлением 30 мас. % СФД.

Результаты исследований, проведенные в работе, нашли заинтересованность у технического персонала и руководства завода ПУП «Цветлит» и будут выступать как один из возможных вариантов разработки новых композиционных материалов для уплотняющих элементов шаровых кранов.

Литература

1. Краны шаровые муфтовые, краны шаровые фланцевые: Статьи > Водоснабжение и канализация > : [Электронный ресурс] : – Режим доступа: [http : //www.proektant.by/content/3206.html](http://www.proektant.by/content/3206.html). – Дата доступа: 19.03.2018/
2. Карбер, М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. Пособие / М.Л. Карбер [и др.] // под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.
3. Норенков, И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS-технологии) / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 217 с.

А.М. Минчуков (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А.В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ СТОЛБЧАТЫХ НАНОСТРУКТУР ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Столбчатые наноструктуры являются перспективным материалом для современных полупроводниковых структур. Зачастую для их формирования используют оксид цинка в виде нанопроводов, наностержней

и нанолент. Такие структуры находят применение в газовых сенсорах, пьезоэлектрических устройствах, фотоэлектрических преобразователях и микро-электромеханических устройствах при наноразмерах. Подобные структуры в перспективе позволят решать некоторые проблемы миниатюризации электронных устройств. Также большой интерес вызывают уникальные оптические, теплофизические, механические и электрофизические свойства одномерных структур, отличных от объёмных материалов и плёнок. Одним из широко известных свойств оксида цинка является его хорошая электронная проводимость и высокая химическая стойкость что позволяет применять данный полупроводник в газовых и жидкостных сенсорах, а также датчиках УФ излучения.

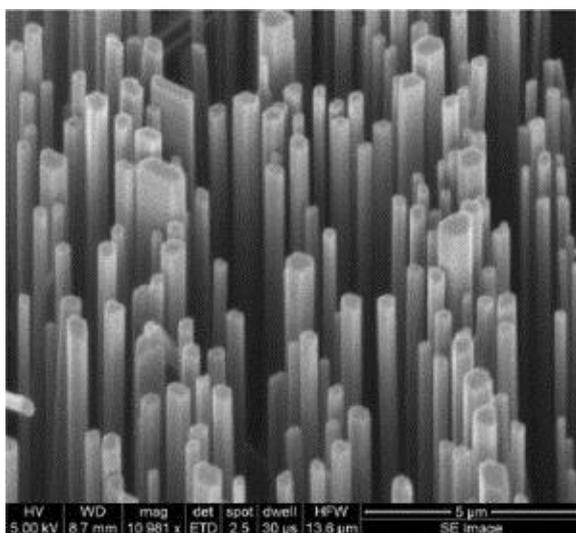


Рисунок 1 – Вид наностержней оксида цинка полученный с использованием сканирующей электронной микроскопии

Для получения столбчатых наноструктур зачастую используют получение из жидкой фазы одним из которых является получение золь-гель методом. Структуры оксида цинка наносятся затравочным слоем на поверхность подложки зачастую из ацетата цинка $Zn(CH_3COO)_2$, в качестве подложки нередко используют кремниевые или стеклянные пластины. Все подложки предварительно тщательно очищаются ультразвуком в ацетоне и этаноле. Нанесение производят центрифугированием, данный метод заключается в том, что осаждающийся слой формируется путём растекания раствора под действием центробежных сил, а избыток радиальным потоком стекает с подложки при вращении. В дальнейшем подложка помещается в муфельную печь при температурах порядка 250 °С в течении 5 минут.

В некоторых случаях центрифугирование повторяется несколько раз. Финальный отжиг проводится при температурах порядка 350 °С и в течении часа. Это позволяет сформировать

равномерный слой ZnO на поверхности подложки. Типичная толщина одного слоя по данным электронной микроскопии составляет 30-40 нм.

Синтез столбчатых наноструктур в этом случае производят путём химического осаждения из растворов. Например возможен следующий способ: в реакционный стакан помещается 1 мл этилендиамин в 200 мл дистиллированной воды. В дальнейшем при постоянном перемешивании по каплям к данному раствору добавляют 0,2 молярный водный раствор ацетата цинка $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2)$ до установления показателя pH 8,5. В данную смесь помещают образцы с нанесённым зародышевым слоем ZnO. После реакционный сосуд помещается в сушильный шкаф при температуре 90–100 °С на время порядка 2х часов. По окончании синтеза образцы аккуратно промываются дистиллированной водой и сушатся на воздухе. В качестве второго раствора для синтеза нередко используют 0,01М растворов нитрата цинка $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и гексаметилентетрамина $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ в дистиллированной воде. Подложки в сосудах располагают вертикально, время и выдержка аналогичны первому варианту. После окончания роста образцы извлекаются, промываются дистиллированной водой и сушатся на воздухе.

Е.А. Михалевич, М.Г. Савицкая (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч.рук. **И.Л. Гаврилова**, ст. преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ ТИПА «ПЛОСКАЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКАЯ СПИРАЛЬНАЯ»

В последнее время наблюдается огромный рост в развитии широкополосных плоских антенн, в связи с ростом спроса на недорогие системы связи. Данные антенны широко используются в системах связи, на самолетах и ракетах. Антенны технологичны, легко устанавливаются и не требуют наличия обтекания. Такие антенны могут применяться как самостоятельные антенны, а также в составе антенных решёток.

Плоская логарифмическая спиральная антенна относится к классу антенн бегущей волны и является сверхширокополосной антенной. Следовательно, можно сделать вывод, что входное сопротивление, диаграмма направленности(ДН) и коэффициент направленного действия(КНД)- главные свойства антенны - изменяются в заданных пределах в очень широкой полосе частот.

Строение данной антенны основано на принципе электродинамического подобия. Плоская спиральная антенна выполнена в виде двухпро-

водной линии, каждый проводник (плечо) которой имеет форму логарифмической спирали.

Равноугольная спираль строится в полярных координатах по уравнению $\rho = r_0 e^{\alpha\varphi}$, где радиус-вектор в начале спирали ($\varphi = 0$); α – коэффициент, определяющий степень увеличения радиус-вектора с увеличением полярного угла φ .

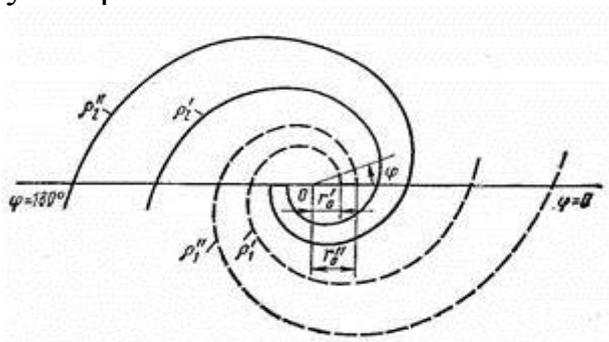


Рисунок 1 – Логарифмическая спираль

Двухзаходная спираль (рисунок 1) образуется двумя проводниками или щелями, толщина которых возрастает с увеличением угла φ . Пусть начальный радиус-вектор на внутренней границе 1-го проводника равен r'_0 и на внешней r''_0 . Тогда уравнения граничных спиралей будут представлены в следующем виде:

$$\rho'_1 = r'_1 e^{\alpha\varphi}$$

$$\rho''_1 = r''_0 e^{\alpha\varphi} = \frac{r'_0 e^{\alpha\varphi}}{r'_0/r''_0}$$

Для получения осевого излучения плечи спирали должны возбуждаться в противофазе. Размеры спирали выбираются по заданному частотному диапазону.

В нашем случае была изготовлена антенна путём гальванического вытравливания с последующей обработкой надфилем. Передатчик (приёмник) подсоединяется к плечам в центральной части спиральной антенны с помощью коаксиальной двухпроводной линии.

Готовая плоская логарифмическая спиральная антенна представлена на рисунке 2.

Габариты антенны следующие: высота конструкции антенны 24 см, длина конструкции антенны 39 см, расстояние между плоскостью антенны и задним экраном 2,5 см, ширина максимального витка составляет 7,6 см.

Логарифмическая спираль работает в режиме бегущих волн (вследствие излучения ток затухает к концу спирали), и ее входное сопротивление $R_{вхА} = 60 \div 180$ Ом.

Плоская спиральная антенна излучает в обе стороны от плоскости антенны. Чтобы создать однонаправленное излучение, с одной стороны антенны установлен экран.



Рисунок 2 – Изготовленная плоская логарифмическая спиральная антенна

На рисунке 3 представлена диаграмма направленности антенны в полярных координатах.

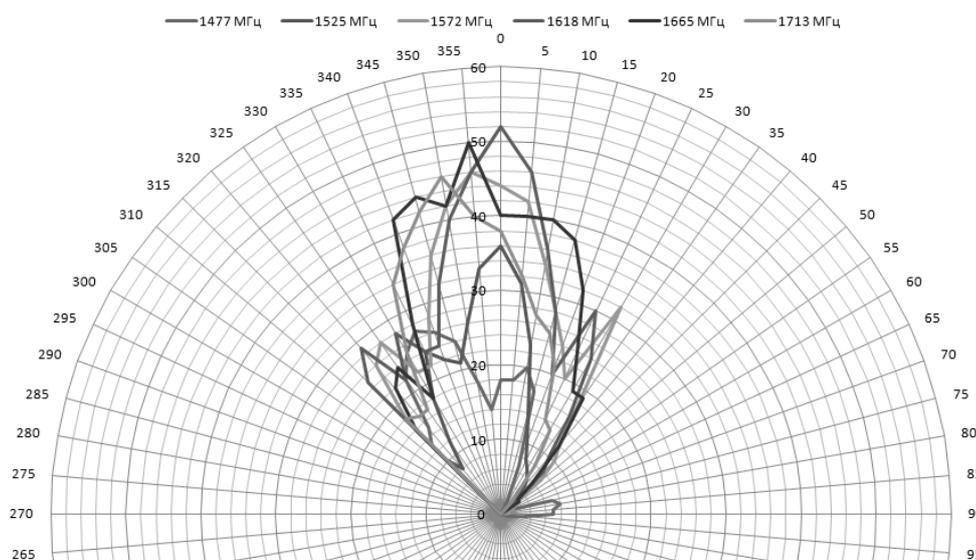


Рисунок 3 – Диаграмма направленности

Во всей области частот ДН данной логарифмической спиральной антенны имеет вид широкого лепестка, перпендикулярного к плоскости антенны. Боковые лепестки практически отсутствуют. Ширина диаграммы зависит от угла φ и меняется от $2\theta_{0,5} = 30^\circ$ до $2\theta_{0,5} = 55^\circ$. Изменение частоты в пределах рабочего диапазона не сказывается существенно на форме диаграммы, но приводит к её повороту вокруг оси антенны с сохранением направления максимального излучения вдоль оси.

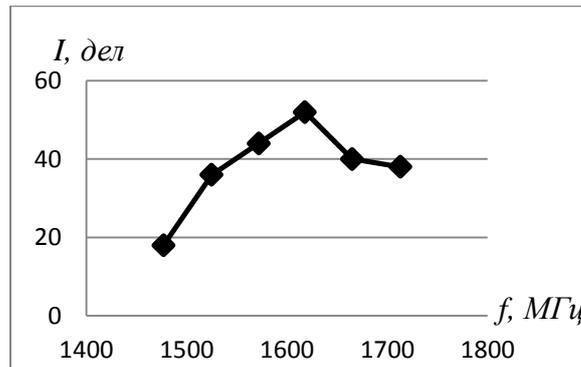


Рисунок 4 – Амплитудно-частотная характеристика

Антенна относится к классу микрополосковых антенн, имеет небольшие габариты, что создаёт неоспоримые преимущества при использовании её для радиосвязи в условиях города, широко распространена в сотовых телефонах, для оборудования беспроводных сетей Wi-Fi.

Разработанная спиральная антенна работает в диапазоне частот от 1450 МГц-1750 МГц, используется при проведении лабораторных занятий на кафедре электротехники и электроники [1-3], а также для проведения научных исследований [4].

Литература

1. Гаврилова, И.Л. Распространение радиоволн: практикум / И.Л. Гаврилова: ГрГУ, 2016. – 67 с.
2. Гаврилова, И.Л. Дифракция электромагнитных волн / И.Л. Гаврилова, А.В. Есипок: ГрГУ, 2009. – 64 с.
3. Гаврилова, И.Л. Антенно-фидерные устройства: электронный учебно-методический комплекс для специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника», специализации 1-36 04 02 02 «Техника и средства электронной связи» / И.Л. Гаврилова; ГрГУ им. Я.Купалы. Гос. регистр информационных ресурсов. Регистр.свидетельство №4141607886 от 18.05.2016. Министерство связи и информатизации РБ, НИРУП «Институт прикладных программных систем». – Минск, 2016.
4. Гаврилова, И.Л. Учебный модуль по курсу «Антенно-фидерные устройства» / И.Л. Гаврилова, Д.В. Ребушев // Современные информационные технологии в системе научного и учебного эксперимента: опыт, проблемы, перспективы: материалы Республиканской научно-методической конференции; гл. ред. Е. А. Ровба. – Гродно: ГрГУ, 2011. – С. 59-61.

К.Н. Навныко (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Н.А. Алешкевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПИГМЕНТОВ ЛИСТЬЕВ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ МЕТОДАМИ

Фотосинтез имеет важнейшее значение в жизни растительных организмов. Для нормального протекания процесса фотосинтеза необходимы определенные внешние и внутренние условия (освещенность, температурный фактор, концентрация пигментов фотосинтеза и др.) Особый интерес в этой ситуации представляет роль фотосинтетических пигментов – хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов. Для количественной оценки содержания хлорофилла в листьях используются спектрофотометрические методы. Вместе с тем, светособирающие молекулы пигментов в растительной клетке являются источником флуоресценции, что дает основания для разработки и применения флуоресцентных методов для определения пигментов в листьях растений.

Спектрофотометрический анализ – наиболее точный количественный метод определения содержания пигментов листа. Концентрация пигментов на спектрофлуориметре определяется по оптической плотности. Плотность экстракта на спектрофлуориметре измеряют при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов а и b в красной области спектра и при длине волны абсорбционного максимума каротиноидов. При этом учитывают, что положение максимума поглощения несколько меняется в зависимости от используемого растворителя.

Для более тонкого количественного анализа пигментной системы листьев предварительно осуществляют ее разделение хроматографическим методом.

Целью работы является изучение и анализ существующих методов определения пигментного состава листьев, определение количества хлорофилла а, хлорофилла b фотометрическими и флуоресцентными методами с использованием спектрофлуориметра СМ 22 03.

Предмет исследования данной работы: изучение методов определения пигментов в листьях, отработка методики количественного определения хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов фотометрическим методом, определение содержания пигментов листьев спектрально-люминесцентными методами и сравнение полученных результатов.

В.А. Пархоменко (БГУ, Минск)
Науч. рук. **А.А. Луговский**, канд. хим. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СОСТАВ И СВОЙСТВА ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ

Наноалмазы детонационного синтеза (ДНА) из-за своих малых размеров (единицы нм) обладают комплексом уникальных физико-химических свойств. Поверхность частиц ДНА можно модифицировать изменением состава содержащихся на ней поверхностных функциональных групп (ФГ), что делает этот материал привлекательным для применения в гетерогенном катализе, исследовании клеточных процессов в биологии, систем доставки лекарств, диагностики и терапии в медицине [1]. Наличие примесей, а также полифункциональность поверхности ДНА, что обусловлено несовершенством технологии получения, приводит к ограничению их применения в качестве основы каталитических систем, в биологии и медицине. В связи с этим актуальными являются вопросы отработки методик направленной модификации порошков наноалмазов, позволяющих получать материал с заданными параметрами и чистотой.

Объект исследования – порошок ДНА марки УДА-ГО-СП. Данный материал представляет собой продукт детонационного синтеза, получаемый при подрыве в закрытом объёме смеси взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом – тротила и гексогена. Материал дополнительно обрабатывался концентрированной соляной кислотой, после чего промывался водой и высушивался на воздухе.

Образцы ДНА исследовались методами колебательной ИК-спектроскопии. Спектры регистрировались на Фурье-спектрометре Vertex 70 (Bruker, Германия).

Для изучения влияния температурной обработки образцы ДНА прокаливались в вакууме в течение 1 ч. Исследованы образцы ДНА, отожжённые при температурах 500, 750 и 1100 °С (Рисунок 1). Также исследовано влияние окислительного отжига: порошок алмаза прокаливался на воздухе 1 ч при температуре 430 °С [2].

Известен иной тип модификации ДНА – обработка водной суспензии ультразвуком (УЗ), направленный, в первую очередь, на дезагрегацию частиц наноалмаза. В работе рассмотрены изменения характеристик ДНА от продолжительности обработки УЗ частотой 35 кГц и мощностью 30 Вт. ИК-спектры образцов, полученных обработкой ДНА, предварительно отожжённого при 750 °С, представлены на рисунке. 2.

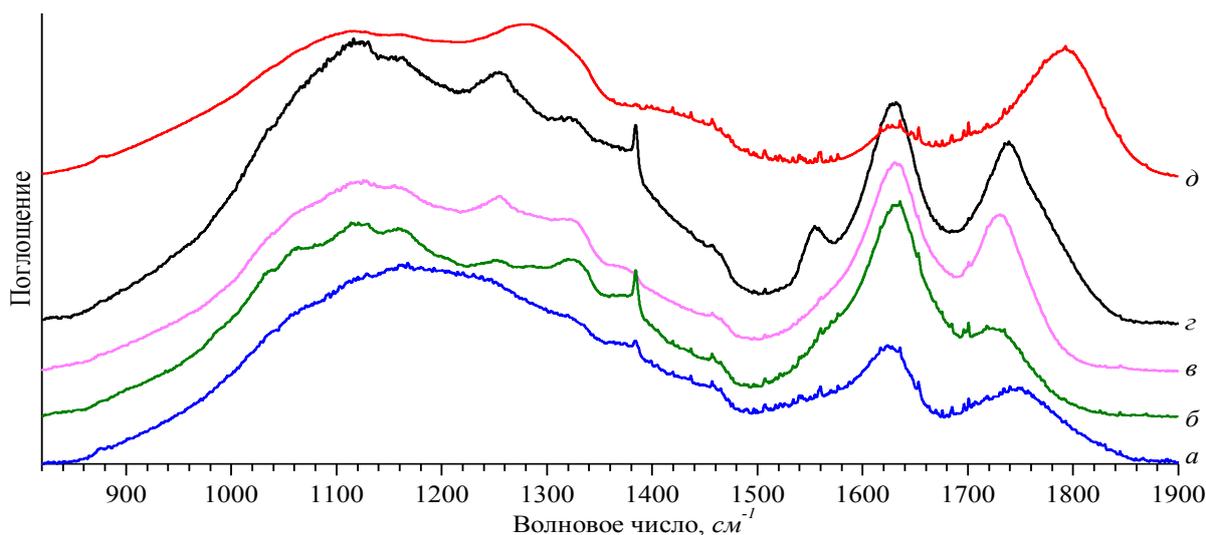


Рисунок 1 – ИК спектры образцов ДНА после термической обработки:
а – 1100 °С; б – 750 °С; в – 500 °С; г – исходный; д – на воздухе, 430 °С

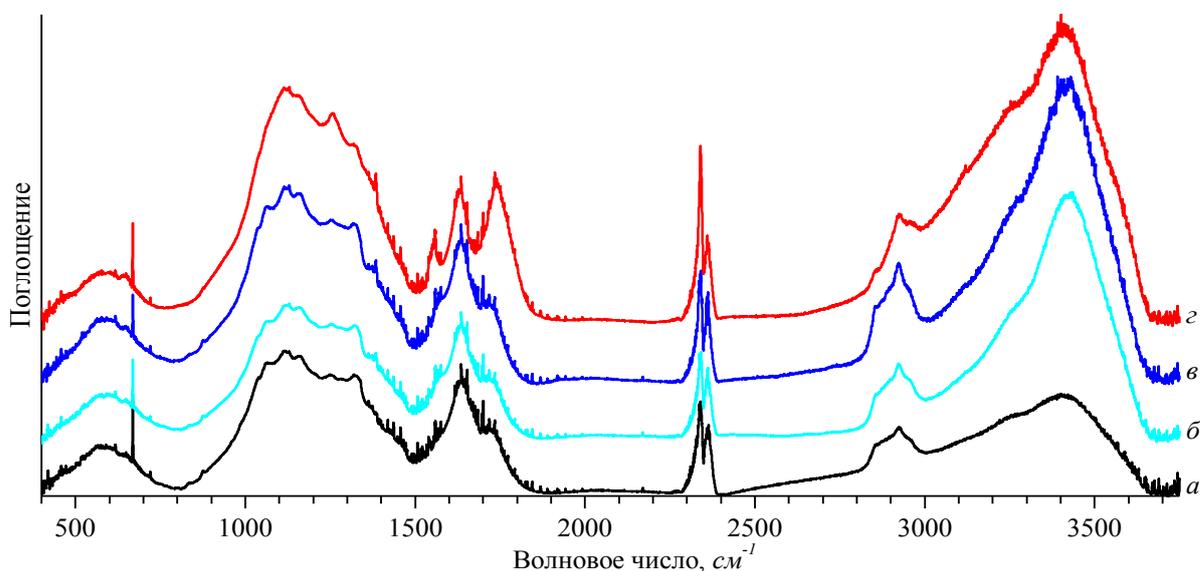


Рисунок 2 – ИК спектры ДНА, отожжённых при 750 °С
и обработанных УЗ:
а – после отжига; б – 30 мин УЗ; в – 60 мин УЗ; г – исходный ДНА

Важно отметить присутствие в спектре полосы деформационных колебаний молекул воды на частоте около 1625 см^{-1} . Следовательно, даже длительный отжиг не приводит к полному удалению влаги с поверхности образцов, что говорит об их высокой гидрофильности.

Некоторые полосы в диапазоне $900 - 1400 \text{ см}^{-1}$ могут соответствовать колебаниям группы $\geq\text{C-O-C}\leq$ в составе эфиров, ангидридов кислот, лактонов и эпоксидных групп. Кроме того, здесь, на 1130 см^{-1} , проявляется колебание ν_{as} С-О-С простых эфиров. Следует отметить относительно низкую интенсивность поглощения на 1320 см^{-1} , что соответствует метильной группе; это свидетельствует о высокой степени окисленности поверхности ДНА.

В диапазоне $1500 - 1850 \text{ см}^{-1}$ выделяются три полосы с максимумами 1730 , 1625 и 1550 см^{-1} ; наиболее интенсивными из данных полос являются полосы около 1625 см^{-1} , связанные с колебаниями -ОН группы воды. Полоса 1550 см^{-1} , скорее всего связана с колебаниями ионизированной карбоксильной группы (-COO^-). Полоса 1730 см^{-1} связана с валентными колебаниями связи C=O в альдегидных, кетонных, карбоксильных, эфирных, лактонных группах.

После отжига ожидаемо уменьшается содержание ФГ. Важно отметить уменьшение количеств спиртовых гидроксидов (слабая полоса на 1100 см^{-1}), воды (1625 см^{-1}) и карбонильной группы (1740 см^{-1}). Отмечается гипсохромный сдвиг полосы 1740 см^{-1} , что, вероятно, объясняется диспропорционированием карбонильных соединений с образованием карбоксильных (1760 см^{-1}). Небольшой батохромный сдвиг той же полосы при $t = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ может свидетельствовать об образовании лактонов (1735 см^{-1}). Окислительный отжиг, в свою очередь, окисляет поверхность преимущественно до -COOH групп, вследствие чего повышается вероятность образования ангидридов кислот – в спектре наблюдается интенсивная характерная полоса на 1810 см^{-1} .

Обработка УЗ исходного порошка ДНА не повлияла на свойства алмаза. В свою очередь, спектр алмаза, предварительно отожжённого при $t = 750 \text{ }^\circ\text{C}$, после воздействия УЗ значительно изменился (Рисунок 2). В противоположность отжигу, количество ФГ увеличивается – поверхность алмаза активизируется. В сравнении с исходным (спектр г), увеличилось содержание -COOH групп (полоса 1740 см^{-1} и подъём в области 3200 см^{-1}), уменьшилось количество метильных заместителей (полоса 2870 см^{-1}). Таким образом, окислительный отжиг может служить удобным и эффективным способом гидрофилизации и увеличения степени окисленности поверхности [2]. Действительно, гидрозоль обработанных подобным образом ДНА демонстрируют высокую стабильность, в отличие от суспензий исходного алмаза.

Таким образом, несмотря на высокую инертность ДНА, возможна направленная модификация его ультрадисперсных порошков, к примеру – придание гидрофильных или, что более важно для биомедицинских применений, липофильных свойств.

Литература

1. Долматов В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза / В.Ю. Долматов. – СПб.: Изд. СПбГПУ, 2003. – 344 с.
2. O. Shenderova [et al.]. Modification of detonation nanodiamonds by heat treatment in air // *Diamond Rel. Mat.* – 2006. – Vol. 15. – P. 1799-1803.

В.В. Пекаревич (БГУ, Минск)
Науч. рук. **А.Л. Толстик**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СВЕТОВОГО ПУЧКА ОСЕСИММЕТРИЧНЫМИ ЖК ЭЛЕМЕНТАМИ

В настоящее время в области науки и техники весьма актуальными являются задачи создания и преобразования световых полей с заданной фазовой и поляризационной структурой. Наибольший интерес представляют световые пучки с радиальной и азимутальной поляризацией. Это пучки с осевой симметрией, для которых в каждой точке поперечного сечения лазерного пучка поляризация направлена по радиусу (радиально поляризованные световые пучки) или перпендикулярно радиусу (азимутально поляризованные световые пучки). Для их получения перспективно использование пространственно структурированных жидкокристаллических (ЖК) элементов, которые имеют невысокую стоимость, просты в изготовлении и позволяют осуществлять управление низкими электрическими напряжениями (несколько вольт).

Целью данной работы является разработка и создание ЖК элементов, преобразующих линейно поляризованный световой пучок в пучок с радиальной или азимутальной поляризацией. Созданный в работе элемент представляет собой ЖК ячейку, состоящую из двух склеенных между собой стеклянных подложек, покрытых тонким слоем полимера или азокрасителя для задания начальной ориентации директора ЖК. Толщина ячейки задавалась спейсерами и составляла 20 мкм. Зазор между подложками заполнялся нематическим жидким кристаллом. На одной подложке методом механического натирания фотополимера создавалась планарная однородная ориентация директора. Для задания ориентации директора на второй подложке использовался азокраситель AtA-2 (калий-3,7-бис[1-(4-гидрокси-3-карбоксилат) фенилазо]-5,5'-диоксидибензотиофен с центральным ядром 5,5'-диоксидибензотиофена и боковыми фрагментами салициловой кислоты), который ориентируется под действием поляризованного излучения в синей области спектра [1]. Подложку с азокрасителем для задания радиальной ориентации молекул засвечивали через диафрагму в виде сектора с угловым размером 2° синим излучением (длина волны 440 нм, мощность 15 мВт/см², время экспонирования 20 с). При этом образец закреплялся на вращающемся держателе, и после экспонирования поворачивался таким образом, чтобы направление директора в каждом секторе совпадало с направлением радиуса.

Таким образом, в объеме ЖК ячейки была создана твист-структура, поворачивающая плоскость поляризации светового пучка. Для получения радиальной поляризации на вход ЖК элемента подавалась линейная поляризация, совпадающая с направлением однородно ориентированного директора на первой подложке. При распространении светового пучка в такой жидкокристаллической твист-структуре на выходе ЖК ячейки поляризация становилась радиальной в соответствии с ориентацией директора ЖК на второй подложке.

Изображения светового пучка на выходе ЖК элемента в параллельных и скрещенных поляризаторах изображены на рисунке 1. Видно плавное уменьшение интенсивности от наиболее яркой области, отвечающей совпадению поляризации светового пучка на выходе ЖК ячейки с осью анализатора, до темной области, отвечающей ортогональной поляризации светового пучка и оси анализатора.

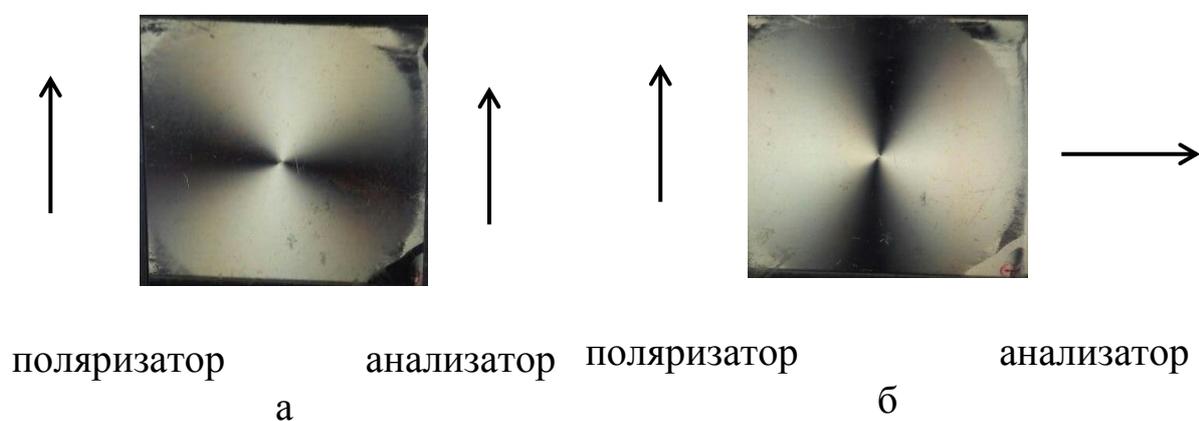


Рисунок 1 – Изображение полученных элементов в параллельных (а) и скрещенных (б) поляризаторах (стрелочками показаны оси поляризатора и анализатора)

Таким образом, полученные изображения соответствуют радиальной поляризации. В случае ортогональной ориентации вектора поляризации и оси анализатора наблюдаются темные сектора в прошедшем пучке. Также наблюдалось вращение темных секторов при вращении анализатора. Заметим, что созданный элемент преобразует линейную поляризацию в радиальную для всех длин волн видимого диапазона и не требует внешнего электрического напряжения.

Литература

1. V.S. Mikulich, An.A. Murauski, Al.A. Muravsky and V.E. Agabekov. Influence of Methyl Substituents on Azo-Dye Photoalignment in Thin Films // J. Appl. Spectr. – 2016. – Vol. 83, No. 1. – pp.115–120

Ю.В. Повидайко (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В СЛАБОКИСЛОЙ СРЕДЕ

Продолжительная сохранность нижних частей кузова механических транспортных средств обеспечивается совместным действием покрытий, наносимых на заводах-изготовителях и в процессе эксплуатации. Эти покрытия не заменяют, а дополняют друг друга. Для восстановления разрушенного заводского покрытия нижних наружных частей кузова (днища, лонжеронов, порогов, поперечин, арок колес) применяют мастики, представляющие собой композиции на основе битумов, наполнителей, пластификаторов и органических растворителей. Однако практика эксплуатации автомобилей показывает, что надежно защищать кузов автомобилей от коррозии с помощью одних химических препаратов на основе минеральных масел, воска, графитосодержащих средств, а также битума и каучука полностью не удастся, так как они быстро подвергаются абразивному изнашиванию, растрескиваются и отслаиваются [1–3]. Как итог, в местах разрушения защитных покрытий создаются предпосылки для развития коррозии материала кузова, что приводит к снижению его прочностных характеристик [4, 5].

Настоящая работа направлена на исследование влияния водного раствора хлорида натрия на степень разрушения поверхности материала кузова механических транспортных средств.

В качестве объекта исследования выступали образцы металла кузова автомобиля Ford Taunus, вырезанных из кузовной панели в виде прямоугольников с размером 75×47 мм, а также образцы металла кузова автомобиля, вырезанных из современной ремонтной детали в виде прямоугольников с аналогичными геометрическими параметрами. Для оценки влияния хлорида натрия на степень разрушения металла кузова было приготовлено три водных раствора NaCl (техническая соль) с различной концентрацией. Приготовленные растворы оказывают воздействие на кузов автомобиля, аналогичное песчано-солевой смеси, которую используют в противогололедных целях в холодный период года. Приготовленные концентрации 0,3 %, 0,5 %, 0,7 % соли NaCl в воде в свою очередь имитируют процесс высыхания раствора на поверхности автомобиля.

Образцы кузова перед проведением исследований зачищали с помощью шлифовальной шкурки до металлического блеска, и обезжиривали растворителем марки Р646, после чего образцы попарно помещали в приготовленные водные растворы хлорида натрия. Через установленный промежуток времени образцы извлекали из водного раствора

хлорида натрия и просушивали с целью удаления остатков влаги. Затем поверхность исследуемых образцов фотографировали, с целью определения площади поверхности подвергшейся коррозии. Площадь поврежденной поверхности определяли с помощью программного обеспечения ARFill версии v5.8.5129 по полученным снимкам поверхности пораженной коррозией.

Приготовление экспериментального состава СОЖ на основе выбранных исходных компонентов (ПМС 100, неол, вода) проводили путем механического перемешивания выбранных материалов с использованием высокоскоростного лопастного смесителя.

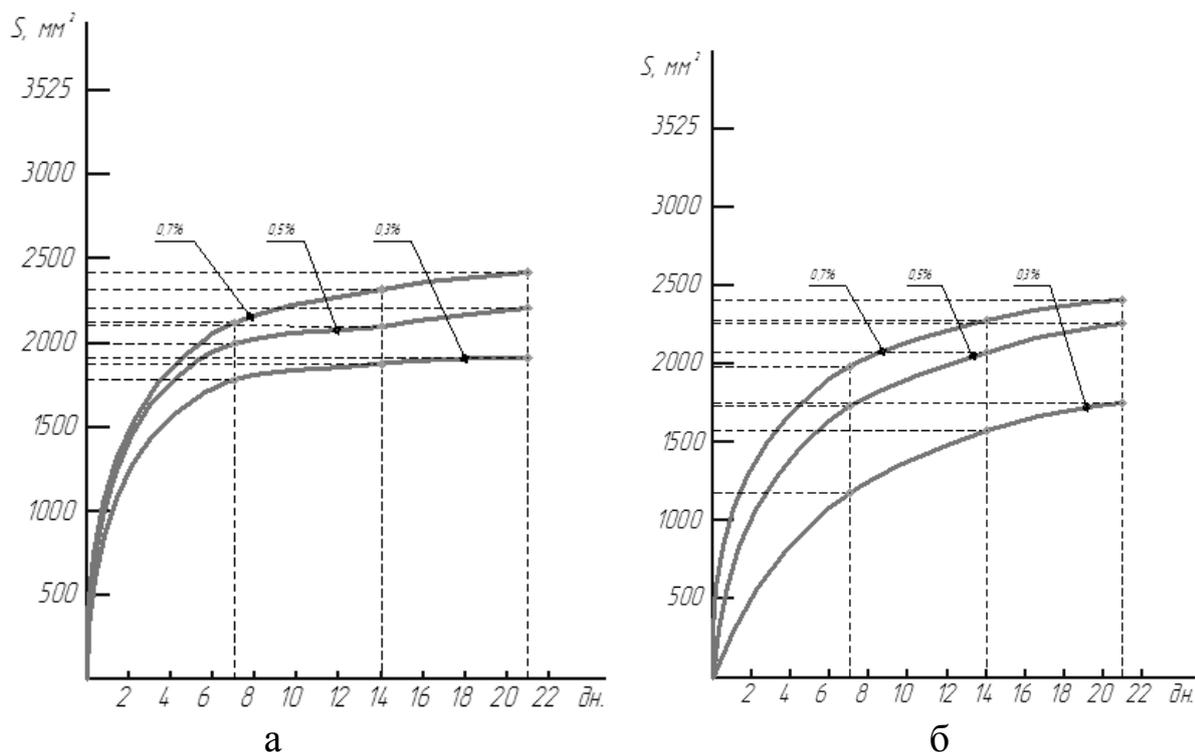


Рисунок 1 – Кривые результатов исследования:
а – кузовной элемент Ford Taunus; б – ремонтная деталь

Установлено, что независимо от процентного содержания хлорида натрия в воде коррозии подверглись все исследуемые образцы. Установлено, что с увеличением процентного содержания хлорида натрия в водном растворе и времени выдержки образцов степень поражения поверхности возрастает.

Также установлено, что наиболее активно процесс коррозии протекает в первые дни (2–5 дней), поражая поверхностные слои образцов, после чего происходит активный коррозионный процесс на глубину исследуемого образца, вследствие воздействия хлора, что приводит к развитию точечной (питтинг) коррозии, на глубину до от 30 до 85 мкм. Через 12 дней на поверхности образцов наблюдается начало появления

раковин в результате протекания электрохимической коррозии, которые постепенно разрастаются по ширине образца. Затем процесс коррозии стабилизируется и в дальнейшем протекает незначительно.

Можно видеть (рисунок 1), что площадь поражения исследуемых образцов коррозией в течение первых 7-ми дней после выдержки в 0,7 %-ном водном растворе хлорида натрия составляет 63–70 % от общей площади образца, при концентрации NaCl 0,5 % – 48–56 %, а при концентрации NaCl 0,3 % – 30–51 %. При этом степень поражения поверхности коррозией более высокая при использовании образца, изготовленного из кузовного элемента Ford Taunus. Это объясняется тем, что в составе ремонтной детали по результатам химического анализа образца установлено присутствие в большем количестве легирующих элементов, выступающих в роли ингибиторов коррозии (Mn, Zn, Mg и Cr). Рост площади поражения поверхности исследуемых образцов с увеличением времени выдержки с 7 до 21 дня возрастает незначительно и находится в пределах от 7,8 до 31 % в зависимости от концентрации хлорида натрия в воде.

В результате проведения исследований установлено, что значительное поражение поверхности образцов происходит в первые, 7–10 дней после разрушения защитного лакокрасочного покрытия кузова автомобиля и существенно зависит от концентрации хлорида натрия в водном растворе.

Литература

1. Семёнова, И.В. Коррозия и защита от коррозии: учеб. пособие / И.В. Семёнова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – М.: Физико-математическая литература, 2002. – 335 с.
2. Бородин, В. В. Защита автомобиля от коррозии электрохимическим способом: Советы бывалого. – М.: Транспорт, 1994. – 30 с.
3. Улиг, Г.Г., Ревин Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ. / Под ред. А.М. Сухотина. – Ленинград: Химия, 1989. – 456 с.
4. Cisec, V. Cathodic protection. Industrial solutions for protecting against corrosion. V. Cisec. – Salem: Schrivener publishing LLC, 2013. – 341 p.
5. Кулиев, С.И. Физико-химические основы коррозионных процессов: учеб. пособие / С.И. Кулиев, И.С. Борисевич. – Витебск: ВГУ, 2002. – 71 с.

А.Т. Романчук (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **Л.В. Кропачева**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ АККУМУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОГО ЗАГОРОДНОГО ДОМА

В статье «Преимущества использования ветроустановок» конференции «Физика конденсированного состояния – XXV» была подробно описана ветрогенераторная установка для электроснабжения загородного дома, так как ветрогенераторные установки надежны, экологически безопасны и практически не производят шума. Кроме того, в большинстве случаев ветрогенератор позволяет получать энергию именно тогда, когда в ней есть повышенная потребность. Ветрогенератор ещё выгоден и тем, что его можно сочетать с другими источниками энергии. [1]

Недостатком использования ветрогенераторных установок является необходимость аккумулирования энергии. Аккумуляторные батареи имеют высокую стоимость, короткий срок службы и имеют ряд экологически негативных последствий. Отработанные свинцовые АКБ, имеющие срок эксплуатации основных типов АКБ – до 3-х лет, экологически опасны. Причина этого заключается в токсичности содержащегося в АКБ свинца (до 60 % от массы АКБ) и химической агрессивности кислотного электролита – раствора серной кислоты. Также присутствуют сурьма (около 2 %), различные пластмассы в количестве 12–18 % и раствор серной кислоты, составляющий от общего веса автомобильного аккумулятора приблизительно 10–15 %. [2]

Отключение ветрогенератора в период работы без нагрузки не рационально и приводит к недостатку энергии для суточной потребности.

Решить проблему накопления избыточной электроэнергии в ночное время позволит использование реакции электролиза.

Электролиз – это окислительно-восстановительный процесс, протекает на электродах при прохождении постоянного электрического тока через растворы или расплавы электролитов. [3] На отрицательно заряженном электроде (катоде) происходит электрохимическое восстановление частиц (атомов, молекул, катионов), а на положительно заряженном электроде (аноде) идет электрохимическое окисление частиц (атомов, молекул, анионов).

Электролиз воды проводится всегда в присутствии инертного электролита:

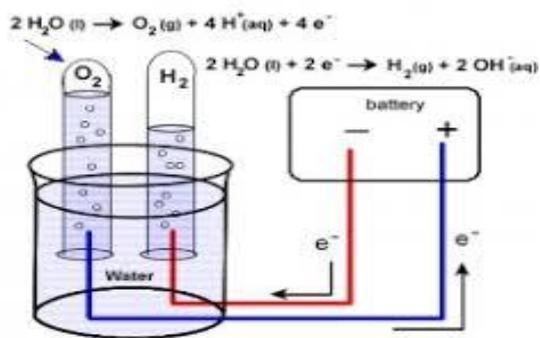


Рисунок 1 – Схема электролиза воды

При этой реакции получается гремучий газ, смесь водорода и кислорода, обычно в соотношении 2:1 по объему. Взрывается при контакте с огнем или электрической искрой. Используется в качестве газового топлива и как топливо топливного элемента. [4] Что позволяет аккумулировать энергию в газообразном виде.

Топливный элемент состоит из двух электродов, разделенных электролитом, и систем подвода топлива на один электрод и окислителя на другой, а также системы для удаления продуктов реакции. В большинстве случаев для ускорения химической реакции используются катализаторы. Внешней электрической цепью топливный элемент соединен с нагрузкой, которая потребляет электроэнергию. [5]

Следовательно, из водорода можно получить обратно электроэнергию.

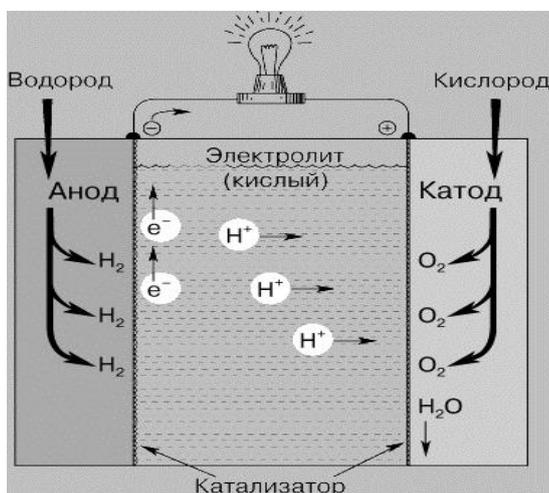


Рисунок 2 – Схема топливного элемента

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Аккумуляция электроэнергии, производя водород, возможно и экологически безопасно.
2. Аккумулятивный газ можно использовать как горючее топливо или преобразовать обратно в электроэнергию.

Литература

1. Преимущества ветрогенераторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ecoenergy-servise.com/vg_pr.html. – Дата доступа: 15.02.2018.
2. Переработка аккумуляторных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ecologia.by/number/2014/9/UR1_9_2014_7/. – Дата доступа: 10.03.2018.
3. Реакция электролиза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alhimik.ru/teleclass/konspekt/konsp6-04.shtml>. – Дата доступа: 15.02.2018.
4. Гремучий газ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc1p/14718>. – Дата доступа: 15.02.2018.
5. Водородно–кислородный топливный элемент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/toplivnyj-element/>. – Дата доступа: 15.02.2018.

О.С. Рудько (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **С.И. Жогаль**, канд. техн. наук, доцент

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-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.

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 ведения 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 журнализацию действий пользователя, повторения при ошибках, оповещение пользователей о успешном завершении.

Е.О. Семенчук (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.Ю. Иванов**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОБРАЗЕЦ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ДАВЛЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕГО МИШЕНЬ ВОЗДУХА

Рассматривается воздействие лазерного излучения (ЛИ) на прозрачный диэлектрик и образование под действием ЛИ кратера на поверхности данного диэлектрика и каверн в его объеме. Был проведен эксперимент, при котором образец помещался в камеру с пониженным давлением. Показано, что развитие каверн, расположенных ближе к облучаемой поверхности, препятствует развитию более удаленных каверн (экранировка).

Ниже представлены результаты исследования воздействия лазерного излучения со средней плотностью потока 25 МВт/см² на полиметилметакрилат (ПММА) как при атмосферном (Рисунок 1), так и при пониженном давлении (10⁻² мм рт. ст.) воздуха (Рисунок 3), а так же временные зависимости образовавшихся разрушений (Рисунки 2, 4).

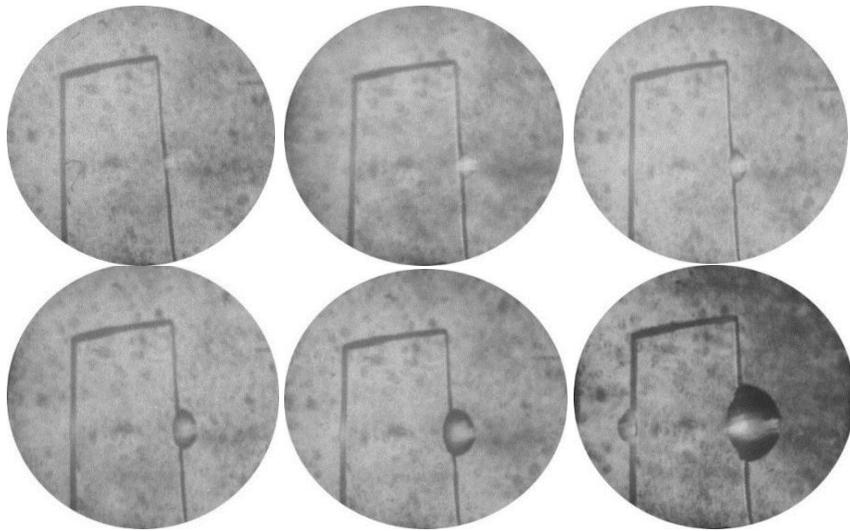


Рисунок 1 – Кратеры, образовавшиеся при воздействии лазерного излучения на образец из ПММА при атмосферном давлении воздуха

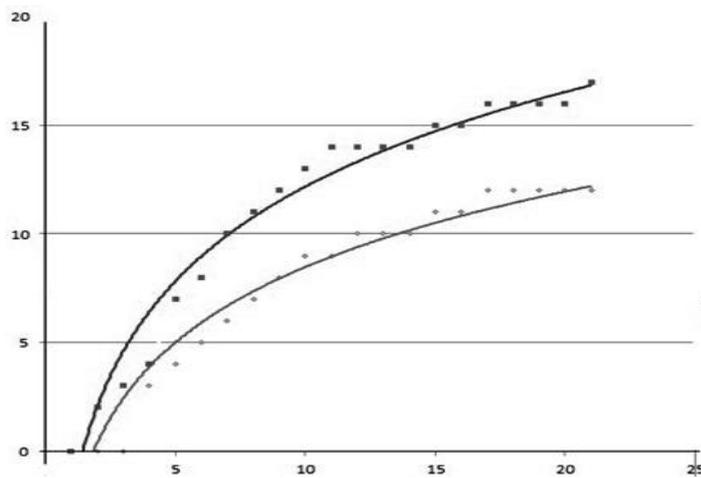


Рисунок 2 – Временные зависимости глубины и ширины образовавшегося кратера под действием лазерного излучения на образец из ПММА при атмосферном давлении воздуха

На рисунке 1 отчетливо видно развитие кратера на поверхности ПММА, формирующегося при воздействии на образец лазерного излучения при атмосферном давлении воздуха, окружающей мишень. В то же время на обрабатываемом лазерным излучением образце, находящемся в вакуумной камере (Рисунок 3), кратер не образовывался, но происходило развитие необратимо измененных зон внутри образца (каверн), формирующихся на неоднородностях ПММА (дефектах). При этом сначала каверна образуется на большем по размерам, но более удаленном от фронтальной поверхности дефекте. После развития зоны разрушения на базе меньшего по размерам первоначально, но более близкого к фронтальной поверхности дефекта, увеличение размеров удаленной каверны прекращается: происходит ее экранировка.



Рисунок 3 – Необратимо измененные зоны, образовавшиеся при воздействии лазерного излучения на образец из ПММА при пониженном давлении (10^{-2} мм рт. ст.) воздуха

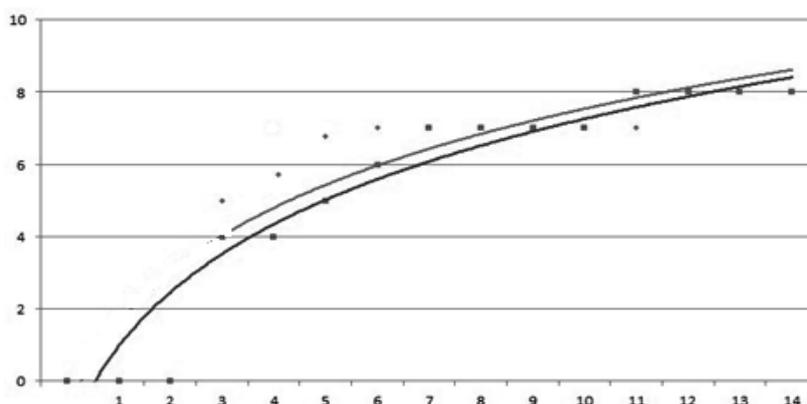


Рисунок 4 – Временные зависимости ширины образовавшихся разрушений (каверн) в образце из ПММА под действием лазерного излучения при пониженном давлении (10^{-2} мм рт. ст.) воздуха

При расположении облучаемого образца в камере с пониженным давлением, излучение лазера свободно проникает вглубь материала, что позволяет формироваться очагам пробоя в объеме образца на дефектах и неоднородностях. При этом развитие каверн, расположенных ближе к облучаемой поверхности, препятствует развитию более удаленных каверн (экранировка).

Таким образом, в вакууме (т.е. при отсутствии доступа кислорода), кратер не образуются. Следовательно, основным механизмом образования кратера на поверхности полиметилметакрилата является горение пластика.

А.И. Сергей (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Моторные масла, производимые в настоящее время различными отечественными и зарубежными производителями должны обладать рядом технологических свойств (эксплуатационных и потребительских), обеспечивающих надежность и долговечность работы двигателей внутреннего сгорания механических транспортных средств. К числу одних из эксплуатационных показателей моторных масел относят: плотность моторного масла при 15 °С; температуру вспышки в открытом тигле; содержание воды; содержание механических примесей; вязкость кинематическую при 100 °С и др. [1, 2]. Известно [1], что каждый из выше-названных показателей характеризует эксплуатационные свойства моторного масла, отвечающие за условия работы двигателя внутреннего сгорания. В свою очередь, требования по технологическим свойствам моторных масел оговариваются в нормативно-технической документации завода-изготовителя данного вида продукции. При этом завод-изготовитель гарантирует сохранение технологических свойств моторного масла в период эксплуатации до проведения плановой замены моторного масла после рекомендуемого пробега транспортного средства.

Целью работы является изучение технологических свойств моторного масла в зависимости от величины пробега грузового механического транспортного средства.

В качестве исследуемого объекта выступало моторное масло марки Ursa Premium TD SAE 10W40, которое заливали в автобус модели «Неман 5201», 2007 года выпуска с двигателем CAT 3126E и общим эксплуатационным пробегом на момент взятия первичного образца моторного масла около 125 000 км. Капитальные ремонтные работы по двигателю не производились. Образцы моторного масла для проведения исследований отбирались через 2 000, 4 000 и 6 000 км пробега. Рекомендуемый заводом-изготовителем срок замены моторного масла через каждые 20 000 км пробега транспортного средства. Изучение эксплуатационных характеристик моторного масла проводили по стандартным методикам, изложенных в технических нормативно-правовых актах [3–7]. Результаты исследований эксплуатационных свойств моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 представлены в таблице 1.

Можно видеть (таблица 1), что при эксплуатации транспортного средства, исследуемые показатели моторного масла снижаются, что согласуется с общеизвестной теорией [1]. При этом значение плотности

моторного масла, контролируемой при 15 °С сначала эксплуатации снизилось на 7 кг/м³.

Установлено, что вязкость кинематическая моторного масла при 100 °С в период пробега равного 6 000 км снизилась с 14,9 до 11,2 мм²/с. Полученный результат можно объяснить следующими факторами, а именно, исправностью системы питания; наличием значительных сил сдвига; наличием высокой температуры двигателя, запускающей термический крекинг масла; загрязнение масла растворителем или растворенным газом.

В ходе проведения экспериментов установлено, что при эксплуатации автомобиля температура вспышки моторного масла в открытом тигле снижается. При этом значение температуры вспышки моторного масла в открытом тигле уменьшилось с 229,0 до 217,0 °С, что указывает на неисправность работы топливной системы транспортного средства.

Таблица 1 – Результаты исследований эксплуатационных свойств моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40

Наименование исследуемого показателя моторного масла	Исходные показатели моторного масла	Фактические показатели моторного масла при пробеге транспортного средства		
		2 000 км	4 000 км	6 000 км
Плотность при 15 °С, кг/м ³	872,0	870,0	869,0	865,0
Температура вспышки в открытом тигле, °С не менее	229,0	228,0	220,0	217,0
Содержание воды, в % масс.	Следы	Следы	Следы	Следы
Содержание механических примесей, мг/кг, не более	0,012	0,013	0,015	0,022
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	14,9	12,3	12,0	11,2

Установлено, что содержание механических примесей в составе моторного масла возрастает. Так при пробеге автомобиля 2 000 км значение количества механических примесей составило 0,013 мг/кг; при 4 000 км – 0,015 мг/кг; а при пробеге 6 000 км – 0,022 мг/кг.

Следует отметить, что серия экспериментов планируется продолжить до этапа замены моторного масла, с целью получения окончательного вывода о потере моторным маслом своих эксплуатационных свойств.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что основной причиной снижения эксплуатационных свойств моторного масла является неисправность работы топливной системы автомобиля.

Литература

1. Моторные масла. Р. Балтенас [и др.]. – Москва-СПб.: Альфа-Лаб, 2000. – 272 с.
2. О требованиях к смазочным материалам, маслам и специальным жидкостям: ТР ТС 030/2012. – Принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 г. № 59. – 19 с.
3. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Метод определения кинематической вязкости и расчет динамической вязкости: СТБ 1798–2007. – Введ. 01.05.08. – Минск: БелГИСС, 2007. – 17 с.
4. Нефтепродукты жидкие. Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API с помощью цифрового плотномера: СТБ 1468–2014. – Взамен СТБ 1468–2004; введ. 01.07.15. – Минск: Госстандарт, 2015. – 13 с.
5. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды: ГОСТ 2477–2014. – Взамен ГОСТ 2477–65; введ. РБ 01.06.17. – Минск: Госстандарт, 2016. – 7 с.
6. Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле: ГОСТ 4333–2014. – Взамен ГОСТ 4333–87; введ. РБ 01.05.17. – Минск: Госстандарт, 2017. – 15 с.
7. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей ГОСТ 6370–83. – Переизд. декабрь 2012 с Изм. 1 (ИУС. 1988. № 11). – Взамен ГОСТ 6370–59; введ. РБ 17.12.92. – Минск: Госстандарт, 2012. – 5 с.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Целью работы является создание на основе трехмерных бианизотропных элементов новых поглощающих материалов и покрытий, не имеющих отражающего основания и «невидимых» с облучаемой стороны, для СВЧ-техники и исследование закономерностей взаимодействия электромагнитного излучения с такими материалами.

В рамках данной работы были изучены и предложены различные варианты двумерных массивов, состоящих из омега-элементов прямоугольной формы (рисунок 1), которые обладают сильным поглощением в СВЧ диапазоне.

Омега подобная частица прямоугольной формы обеспечивает магнито-электрическую связь, причем электрический и магнитный моменты, наведенные в ней электромагнитным полем, перпендикулярны друг к другу.

При расположении двух омега-частиц в одной плоскости таким образом, что их участки взаимно перпендикулярны, получается структурный элемент одноосной бианизотропной среды.

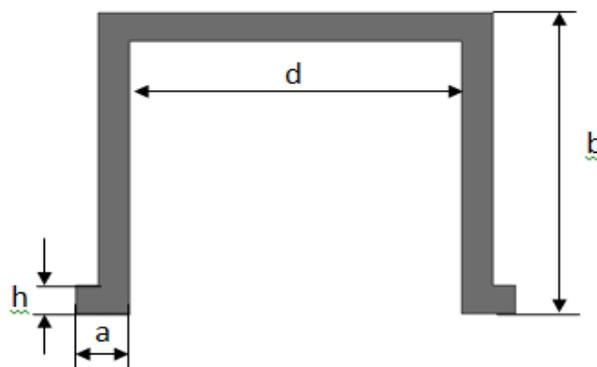


Рисунок 1 – Омега-элемент прямоугольной формы

Характеристики электромагнитного излучения, рассеянного на таком элементе, зависят от соотношения геометрических параметров a , b , d , h и длины волны (рисунок 1).

Для поиска оптимальных параметров расположения омега-элементов в ячейке и ячеек в структурном массиве проведено моделирование (методом конечных элементов) свойств поглощающего слабо отражающего двумерного массива при различных расстояниях между омега-элементами в ячейке и между ячейками в структурном массиве. Компьютерное моделирование показало, что для использования в качестве сильного поглотителя электромагнитных волн, в СВЧ диапазоне, двумерный массив должен иметь вид, представленный на рисунке 2.

Для проведения экспериментальных исследований в СВЧ диапазоне планируется изготовление образцов двумерной решетки, состоящий из омега-элементов прямоугольной формы с рассчитанными оптимальными параметрами. В качестве вакуумно-плазменной технологии для нанесения титана на подложку был выбран метод магнетронного напыления – омега-элементы прямоугольной формы будут изготовлены из титана, осажденного на полиамид.

Областью применения полученных результатов является электродинамика СВЧ диапазона. Результаты могут быть использованы при

теоретических и экспериментальных исследованиях искусственных композитных поглощающих сред с включениями различной формы, при разработке поглотителей СВЧ волн с улучшенными свойствами.

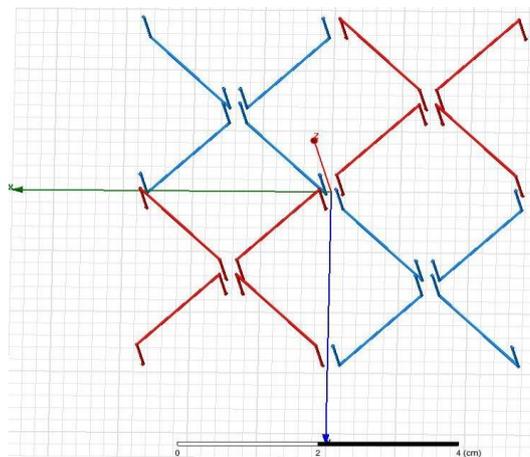


Рисунок 2 – Структурный элемент поглощающей среды в СВЧ диапазоне, состоящий из омега-элементов прямоугольной формы

Литература

1. Investigation of electromagnetic properties of a high absorptive, weakly reflective metamaterial–substrate system with compensated chirality / I. V. Semchenko [et al.]// Journal of Applied Physics.–2017.– V.121, №1.– p. 015108.

Д.А. Снетков (БГУ, Минск)

Науч. рук. А.А. Луговский, канд. хим. наук, доцент

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ЗОНДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АМИЛОИДНЫХ ФИБРИЛЛ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ТИОФЛАВИНА

Нарушение процессов синтеза белков, в частности, проблемы на этапе фолдинга, приводит к образованию амилоидных фибрилл (АФ) [1] – нерастворимых белковых агрегатов, характеризующихся высокой степенью упорядоченности. Возникновение АФ сопутствует ряду тяжелых заболеваний, таких как нейродегенеративные заболевания Альцгеймера и Паркинсона, катаракта, злокачественная миелома, прионные болезни и др. [2, 3]. Изучение структуры амилоидных фибрилл имеет существенное значение для медицины при поиске путей предотвращения образования амилоидных фибрилл и диагностики заболеваний.

Один из методов обнаружения и изучения АФ основан на регистрации и анализе интенсивности флуоресценции производных тиофлавина (ThT) [1-3], встроенного в фибриллы. Однако, использование непосредственно тиофлавина для обнаружения и изучения фибрилл в тканях затруднено, поскольку спектры поглощения и флуоресценции ThT расположены в сине-зеленом спектральном диапазоне, где существенным является рассеяние света фибриллами (в экспериментах *in vitro*), а также поглощение и флуоресценция биологических тканей и жидкостей (в экспериментах *in vivo*). Для повышения чувствительности обнаружения АФ в растворах и тканях предполагается применение производных ThT со спектрами смещенными в сторону больших длин волн, в область прозрачности биологических тканей. В связи с этим, актуальным является создание новых производных ThT, обладающие более длинноволновым спектром поглощения и испускания, а также сильной зависимостью квантового выхода и длительности флуоресценции от вязкости микроокружения.

В качестве решения проблемы нами было предложено использовать производные тиофлавина с более длинной полиметиновой цепочкой для смещения максимума поглощения в более длинноволновую область. Для изучения зависимости интенсивности флуоресценции от барьера торсионного вращения были также получены производные, содержащие метильные группы в положениях 2 и 6 бензольного кольца, содержащего донорную группу [4].

Синтез исходных красителей осуществлялся на основе тозилата 2-метил-1-этилбензтиазолия (I), который конденсировали, если R = H, с пара-диметиламинобензальдегидом (II), или (2E)-3-[4-(диметиламино)-фенил]пропеналем-2 (III) и, если R = CH₃, с 4-диметиламино-2,6-диметилабензальдегидом (IV) в уксусном ангидриде с катализом N-метилморфолином.

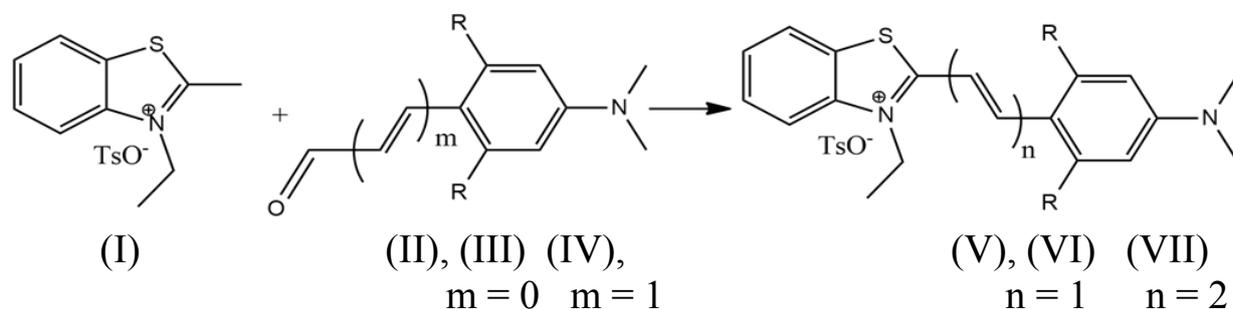


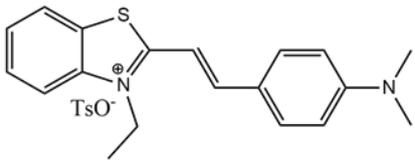
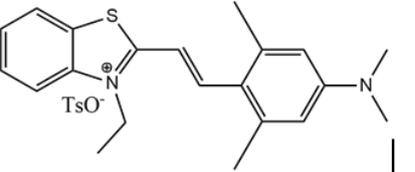
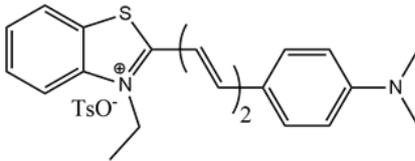
Рисунок 1 – Схема получения красителей (V), (VI), (VII)

Спектры поглощения красителей в растворах регистрировались с помощью спектрофотометра PV 1251A фирмы Solar в ацетонитриле и воде. В отсутствии амилоидных фибрилл наблюдается узкий максимум

поглощения, положение которого зависит как от длины сопряжения, так и от типа растворителя. Добавление АФ к водному раствору красителей приводит к существенному изменению их спектров поглощения. При возрастании концентрации АФ происходит увеличение оптической плотности на длине волны 570 нм для обоих красителей, в то время как оптическая плотность на длине волны 520 нм уменьшается. При изменении концентрации фибрилл прослеживается наличие изобестической точки на 550 нм, что свидетельствует о существовании двух типов молекул красителя. К первому типу мы относим свободные молекулы. Ко второму типу мы относим молекулы, которые взаимодействуют непосредственно с фибриллами. Важно отметить, что поглощение фибрилл в этой области отсутствует.

Образец синтезированного красителя (VII) был проанализирован с использованием жидкостного хроматографа Agilent 1200 Rapid Resolution LC и масс-детектором Agilent 6410 Triple Quad и диодно-матричным детектором. По хромато-масс спектрам определено, что синтезированный краситель является индивидуальным веществом без наличия каких-либо значительных примесей. Для соединения (VII) на масс-спектре для пика со временем вывода 4,228 минут характерна молекулярная масса 335 г/моль, что совпадает с молекулярной массой протонированного иона соединения (VII).

Таблица 1 – Структура и спектральные свойства полученных красителей (V), (VI), (VII)

Структура	Спектральные свойства
V 	Максимум поглощения (ацетонитрил): 520 нм Максимум флуоресценции (вода): 597 нм. Максимум поглощения (вода+АФ): 570 нм. Изобестическая точка: 550 нм.
VI 	Максимум поглощения (ацетонитрил): 520 нм Максимум флуоресценции (вода): 516 нм. Максимум поглощения (вода+АФ): 575 нм. Изобестическая точка: 550 нм.
VII 	Максимум поглощения (ацетонитрил): 560 нм

В результате проделанной работы были реализованы высокоэффективные синтетические схемы по получению моно- и дикарбоцианиновых красителей с и без метильных групп по 2 и 6 положению.

Созданные соединения, имеющие более длинноволновый спектр поглощения, могут найти применение в качестве основы модифицированных флуоресцентных зондов для тестирования амилоидных фибрилл в живых клетках и тканях.

Литература

1. Amyloid fibrils. Abnormal protein assembly. / R. N. Rambaran, L. C. Serpell // *Prion*. – 2007. – Vol. 2, № 3. – P. 112-117.
2. Conformational changes and disease – serpins, prions and Alzheimer's / Carrell R.W., Goopu B. // *Curr. Opin. Struct. Biol.* – 1998. – V. 8. – P. 799–809.
3. Amyloid fibril formation and protein misassembly: a structural quest for insights into amyloid and prion diseases / Kelley J.W. // *Structure*. – 1997. – V. 5. – P. 595–600.
4. Novel indotricarbocyanine dyes covalently bonded to polyethylene glycol for theranostics/ Lugovski A.A. [et al.] // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. – 2016. – v.316, №3. – p. 31—36.

Н.А. Сорока (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **Е.В. Пивоварчик**, преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК ИЗ ЛАТУНИ МАРКИ ЛЦ40С_д, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

В качестве материалов для изготовления запорной и газовой арматуры широкое распространение нашли медно-цинковые сплавы марок ЛЦ40С и ЛЦ40С_д. При изготовлении вышеназванных изделий методом литья под давлением на поверхности отливок периодически возникают дефекты, выраженные в появлении пятен на поверхности детали, что приводит к браку изделий по чистоте поверхности.

Целью работы является изучение механических свойств (микротвердость поверхностного слоя, твердости материала) отливок из латуни марки ЛЦ40С_д с выраженным дефектом в виде пятен на поверхности и без.

Изучение микротвердости поверхностного слоя отливки проводили с использованием автоматического микротвердомера модели НWММТ-Х7 (Япония), оснащенного оптической видеокамерой uEye-1540-с. В качестве образцов использовали изготовленные отливки из сплава ЛЦ40С_д, поверхность которых предварительно шлифовали на глубину 0,5 мм до значений шероховатости Ra 0,8 мкм. Деформирование осуществляли при нормальной температуре (20 °С) путем вдавливания ал-

мазной пирамиды Виккерса под нагрузкой 100 г, со скоростью 50 мкм/с и выдержкой под нагрузкой в течение 10 с. Определение размеров отпечатков индентора осуществлялось в программе «Промеры», входящей в состав программного комплекса «MetalTest», после чего по ГОСТ 9450–76 [1] производили вычисление величины микротвердости.

Измерение твердости материала отливки методом Бринелля проводили на твердомере модели ИТ 5010 с использованием цилиндрических образцов, изготовленных путем механической обработки (точение) из отобранных проб расплава со следующими конструктивными размерами: диаметром 30 мм и высотой 20 мм согласно ГОСТ 9012–59 [2] при температуре 23 °С. Шероховатость поверхности исследуемых образцов составляла Ra 1,25 мкм. Образец подносили к индентору и затем вдавливали индентор в образец с плавно нарастающей нагрузкой в течение 2–8 с; после достижения максимальной величины нагрузки равной 2452 Н. В качестве индентора применен шарик с диаметром 5 мм. Нагрузку на индентор выдерживали в течение 30 с, после чего снимали приложенную нагрузку, отводили образец от индентора и измеряли при помощи линейки измерительной металлической ГОСТ 427–75 [3] диаметр получившегося отпечатка.

Результаты исследования микротвердости поверхностного слоя в отливках из сплава ЛЦ40Сд представлены в таблице 1, твердости материала отливки показаны в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты исследования микротвердости поверхностного слоя в отливках из сплава ЛЦ40Сд

Порядковый номер исследования	Микротвердость поверхностного слоя (HV), кгс/мм ² для номера исследуемого образца соответственно		
	1	2	3
1	190,4	206,0	236,9
2	185,9	213,0	240,1
3	179,3	230,6	233,7
4	204,2	227,5	226,5
5	178,6	223,5	256,2
6	183,6	241,2	249,1
7	187,3	231,6	234,8
8	188,9	214,8	251,4
Среднее значение микротвердости (HV), кгс/мм ²	187,3	223,5	241,1

Примечание: 1 – образец, поверхность которого не была поражена пятнами, 2, 3 – образцы, поверхность которых была поражена пятнами

Можно видеть (таблица 1), что микротвердость поверхностного слоя в отливке, не пораженной пятнами, составляет в среднем $187,3 \text{ кгс/мм}^2$, в то время как микротвердость поверхностного слоя в отливках пораженного пятнами (образец 2 и 3) находится в среднем в пределах от $223,5$ до $241,1 \text{ кгс/мм}^2$, превышая микротвердость в образце с номером 1 на 24 %.

Показано (таблица 2), что твердость материала отливки, определенная по методу Бринелля лежит в диапазоне от 69 до 77 единиц. Установлено, что максимальные значения твердости материала изготавливаемой отливки наблюдаются в отливках, поверхность которых была поражена пятнами, и составляют 77 и 78 НВ соответственно. В отливках, не пораженных пятнами, значение твердости ниже и находится в пределах 68–71 НВ.

Таблица 2 – Результаты исследования твердости материала отливки

Порядковый номер исследования	Твердость материала отливки (НВ), для номера исследуемого образца соответственно		
	1	2	3
1	68	76	72
2	70	76	78
3	71	75	77
4	70	77	76
5	71	77	77

Примечание: 1 – образец, поверхность которого не была поражена пятнами, 2, 3 – образцы, поверхность которых была поражена пятнами

Полученный результат можно объяснить наличием в структуре исследуемого образца более твердой фазы, а именно β' - фазы, которая имеет более высокую твердость по сравнению с α -фазой [4–5], а также повышенным содержанием алюминия в сплаве. Увеличение прочности поверхностного слоя и твердости материала отливки способствует повышению прочности и как следствие, увеличивает вероятность образования трещин при эксплуатации запорной арматуры.

Литература

1. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников: ГОСТ 9450–76. – Переизд. март 1993 с Изм. 1, 2 (ИУС. 1981. №11; ИУС. 1992. №1). – Взамен ГОСТ 9450–60; Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 33 с.

2. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю: ГОСТ 9012–59, ИСО 6506–81. – Переизд. май 2011 с Изм. 1, 2, 3, 4, 5, Попр. (ИУС.

1963. № 6; ИУС. 1979. № 7; ИУС. 1985. № 1; ИУС. 1986. № 6; ИУС. 1990. № 2; ИУС РБ. 2001. № 3; ИУС РБ. 2003. № 3). – Взамен ОСТ 10241–40; введ. РБ 17.12.92. – Минск: БелГИСС, 2011. – 39 с.

3. Линейки измерительные металлические. Технические условия: ГОСТ 427–75. – Переизд. Март 1994 с Изм. 1, 2, 3 (ИУС. 1982. №4; ИУС. 1986. №2; ИУС. 1992. №12). – Взамен ГОСТ 427–56; Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 7 с.

4. Рыбалкина, М.В. Стойкость термообработанных латуней к питтингообразованию / М.В. Рыбалкина, А.В. Капачинских // Коррозия: материалы, защита. – 2003. – № 3. – С. 12–16.

5. Шевакин, Ю.Ф. Структурообразование и свойства латуни ЛС59-1 при горячей деформации / Ю.Ф. Шевакин, Б.Н. Ефремов, Е.В. Юшина // Известия вузов. Цветная металлургия. – 1990. – № 5. – С. 84–90.

Е.В. Суслин (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **А.В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СИНТЕЗ ГИДРОФОБНЫХ ПОКРЫТИЙ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

В последние годы метод химического осаждения из растворов стал широко использоваться в современной микроэлектронике, что обусловлено возможностью создания материалов сложного химического состава и структуры, получение которых методом газофазного осаждения затруднено или невозможно. Одним из прогрессивных методов получения силикатных систем является золь-гель метод, позволяющий синтезировать различные виды материалов при невысоких температурах.

Этот метод обладает такими преимуществами, как простота используемого оборудования, экономичность, экологичность, гибкость технологии. С помощью золь-гель метода могут быть синтезированы разнообразные классы материалов различного состава: аэрогели, многокомпонентные гели, кварцевые стекла, пленки и др.

Значительное развитие в последнее время получили так называемые органически-модифицированные силикаты (ОРМОСИЛ) [1], в которых фрагменты органических соединений встроены в металл (кремний) - кислородный каркас полимерного соединения.

Образование ОРМОСИЛ-структуры проводилось путем согидролиза и поликонденсации в общем органическом растворителе тетраэтоксисилана (ТЭОС) и легирования следующими элементами: бором (В), фосфором (Р), сурьмой (Sb).

В данной работе для нанесения тонких пленок были получены растворы, составы которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы пленкообразующих растворов.

ТЭОС /H ₂ O, моль	Концентрация, масс. %		
	Бор (В)	Фосфор (Р)	Сурьма (Sb).
0,865	5	2	1

Таблица 2 – Расчет краевого угла смачивания воды.

№	Покрытие	Температура отжига, °С	Рассчитанный угол θ , °
1	золь 6	400	40,61
4	золь 6 В	400	58,00
5	золь 6 Sb	400	59,49
8	золь 6 Р	400	51,64

Золь наносили методом центрифугирования. Скорость вращения составляла 2000 об/мин. Данная скорость вращения является достаточной для равномерного распределения золя по поверхности пластины. После нанесения золя на поверхность пластин они были помещены в печь, где были нагреты пошагово с интервалом 100 °С до температуры 400 °С.

С помощью дозатора на кремнийоксидные образцы наносили капли глицерина и воды по 0,5 мл. Затем рассматривали капли под увеличительными микроскопами и фотографировали их в окуляре. Краевой угол рассчитали по формуле 1 через высоту и радиус капли [2]:

$$\theta = \left(\arctg \frac{h}{r} \right) \cdot 2 \quad (1)$$

где θ – краевой угол, h – высота капли, r – радиус капли.

Результаты измерений представлены в таблицах 2 и 3:

Таблица 3 – Расчет краевого угла смачивания глицерина.

№	Покрытие	Температура отжига, °С	Рассчитанный угол θ , °
1	золь 6	400	44,68
4	золь 6 В	400	53,71
5	золь 6 Sb	400	62,71
8	золь 6 Р	400	69,65

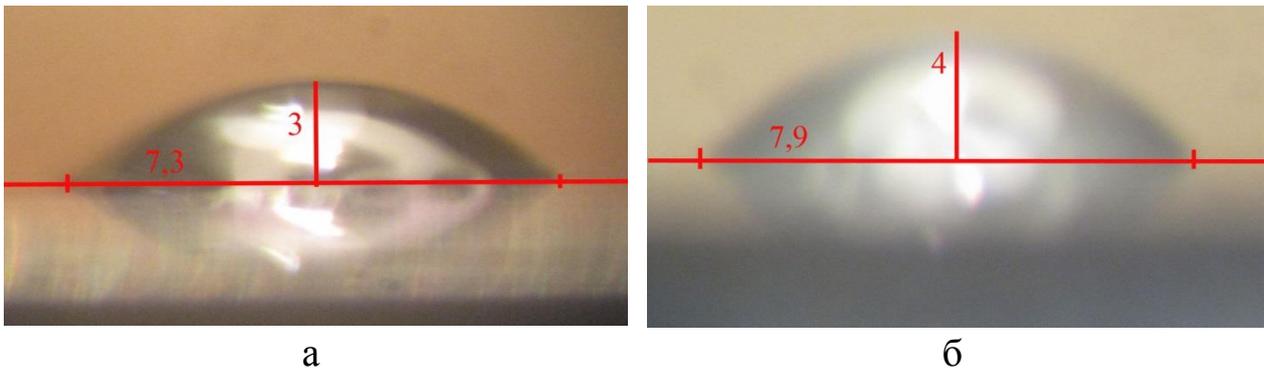


Рисунок 1 – Изображение капли глицерина на пленке из чистого золя (а) и с содержанием бора(б)

Литература

1. Calvert J.M. and Gallagher M.K. A new approach to ultralow-k dielectrics. // J. Semiconductor International, 2003, v.26, №12, p. 56-60.
2. Матюхин С.И., Фроленков К.Ю. Измерение краевого угла смачивания как метод исследования адгезионных свойств поверхности и энергетического состояния молекул на границе раздела двух фаз // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2003. – Т.5, №2. – С. 216-220.

Е.В. Третьяк (МГУ имени А.А. Кулешова, Могилев)

Науч. рук. **И.В. Ивашкевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ ДЛЯ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА НА СТЕКЛЯННЫХ ПОДЛОЖКАХ

Как известно, оксид цинка обладает некоторыми уникальными электрофизическими и оптическими свойствами, относится к группе прозрачных проводящих оксидов и часто используется как широкозонный полупроводник. Эти свойства важны для использования в тонкопленочных транзисторах, жидкокристаллических дисплеях, солнечных ячейках, в светоизлучающих диодах. Также оксид цинка проявляет стабильность на воздухе, в водных и органических средах и характеризуется высокой чувствительностью к изменению состояния окружающей среды [1].

Спектральная эллипсометрия – это один из информативных неразрушающих оптических методов исследования слоистых структур, который позволяет определить толщину (d) и дисперсию оптических характеристик (показателей преломления n и поглощения k) отдельных слоев этих структур.

Для того чтобы рассчитать эллипсометрические параметры Ψ и Δ , мы будем использовать основное уравнение, которое имеет вид:

$$\operatorname{tg}\Psi e^{i\Delta} = \frac{R_p}{R_s}.$$

В свою очередь, данное уравнение связывает между собой эллипсометрические параметры и комплексные значения коэффициентов отражения по амплитуде R_p и R_s для p – и s – поляризованного света [2].

В данной работе представлены решения прямой задачи спектральной эллипсометрии для пленок оксида цинка на стеклянной подложке. Эти решения были получены для установления оптимальных условий измерения спектров $\operatorname{tg}\Psi(\lambda)$ и $\cos\Delta(\lambda)$ этих пленок.

Прямые задачи спектральной эллипсометрии решали с помощью программного обеспечения Spel (Spectral Ellipsometer), к спектральному эллипсометру ES-2 [3]. Были получены решения прямой задачи для следующих моделей: пленка (n_1, k_1, d_1) – полубесконечная подложка (n_2, k_2) ; пленка (n_1, k_1, d_1) – подложка конечной толщины (n_2, k_2, d_2) в воздухе ($n_0=1$) в спектральном диапазоне 400 – 1000 нм.

На рисунке 1 представлено решение прямой задачи для однослойной модели при толщине пленки $d_1 = 100$ нм и углах падения излучения $\varphi = 60^\circ, 65^\circ, 70^\circ$. При этом дисперсия оптических параметров пленки оксида цинка и стеклянной подложки задавалась из библиотеки ПО Spel. Из рисунка видно, что при $\varphi = 65^\circ$ спектры $\operatorname{tg}\Psi(\lambda)$ и $\cos\Delta(\lambda)$ более чувствительны к параметрам пленки.

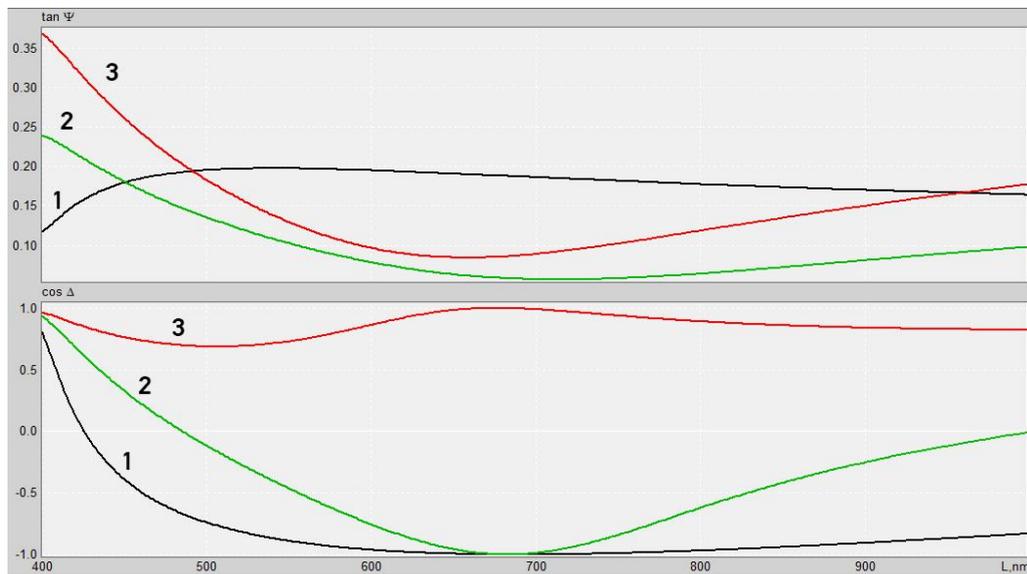


Рисунок 1 – Рассчитанные спектры для однослойной модели (кривые 1 – при угле падения $\varphi = 60^\circ$; кривые 2 – при $\varphi = 65^\circ$; кривые 3 – при $\varphi = 70^\circ$)

Для исследования влияния отражения излучения от нижней границы подложки на спектры $\operatorname{tg}\Psi(\lambda)$ и $\cos\Delta(\lambda)$ было получено решение прямой задачи для двухслойной модели, которая учитывала конечную толщину стеклянной подложки $d_2 = 2$ мм. На рисунке 2 представлены рассчитанные

спектры $\text{tg}\Psi(\lambda)$ и $\text{cos}\Delta(\lambda)$ для однослойной и двухслойной моделей при угле падения $\varphi = 65^\circ$ и выше указанных параметрах пленки и подложки.

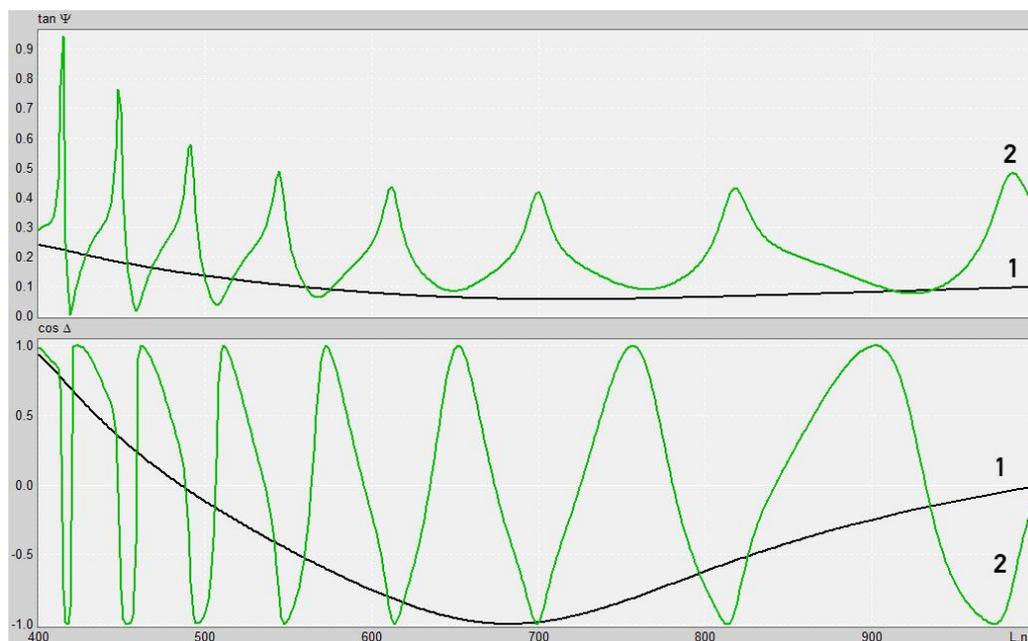


Рисунок 2 – Рассчитанные спектры для однослойной (1) и двухслойной (2) модели при $\varphi = 65^\circ$

Из рисунка 2 видно, что отражение от нижней границы подложки приводит к интерференционной картине в спектрах $\text{tg}\Psi(\lambda)$ и $\text{cos}\Delta(\lambda)$. Чтобы исключить влияние отражения от нижней границы подложки, а значит уменьшить количество определяемых параметров при решении обратной задачи, необходимо при измерении спектров $\text{tg}\Psi(\lambda)$ и $\text{cos}\Delta(\lambda)$, использовать, например, иммерсионную жидкость с показателем преломления n_2 .

Таким образом, проводить измерения спектров $\text{tg}\Psi(\lambda)$ и $\text{cos}\Delta(\lambda)$ пленок оксида цинка на стеклянных подложках в спектральной области 400 – 1000 нм следует при угле падения излучения $\varphi = 65^\circ$. При этом, следует исключить отражение от нижней границы подложки.

Литература

1. Воробьева, Н.А. Нанокристаллический ZnO(M) (M=Ga, In) для газовых сенсоров и прозрачных электродов: дис. ... к.х.м.: 02.00.01 / Н.А. Воробьева. – Москва, 2015. – 180 с.
2. Аззам, Р. Эллипсометрия и поляризованный свет / Р. Аззам, Н. Башара. – М.: Мир, 1981. – 583 с.
3. Инструкция по эксплуатации на универсальный двухканальный спектральный эллипсометр ES-2 – Фрязино, 2005. – 19 с.

И.А. Трофимчик, П.Р. Бубешко (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВОЧНОГО СЛОЯ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Известно [1–3], что наиболее эффективным способом защиты металлических конструкций механических автотранспортных средств от коррозионного воздействия является нанесение на защищаемую поверхность лакокрасочного покрытия. В свою очередь лакокрасочное покрытие включает в себя лакокрасочные материалы такие как: шпатлевки, грунтовки, эмали, лаки [3–5]. Каждый из материалов играет в формировании покрытия немаловажную роль, но основным является нанесение грунтовочного слоя, так как основное назначение грунта это защита от коррозии и изоляция металлической подложки от негативного воздействия окружающей среды. Реализация процесса состоит в нанесении на металлическую поверхность лакокрасочного материала согласно требований изготовителя данной продукции. Затем после полного высыхания, нанесенное покрытие, образует прочную защитную пленку, обладающую хорошими адгезионными свойствами.

Целью данной работы является исследование адгезионной прочности грунта при использовании различных каталитических элементов (отвердителей) при выполнении ремонтных работ.

Исследования прошли следующие составы грунтовочного покрытия: двухкомпонентный реактивный грунт PROTECT 340 (Wash Primer); двухкомпонентный эпоксидный грунт SOLL EP (S-EP 1); двухкомпонентный акриловый грунт BASS 2K ACRYL FULLER HS; двухкомпонентный кислотный грунт JETA PRO 2K.

Грунт наносили на стальные пластины с размером 50×50 мм и толщиной 4 мм. С целью получения различной шероховатости поверхности стальных пластин поверхность зачищали вручную, используя шлифовальные шкурки с зернистостью P80 (200–250 мкм), P120 (100–125 мкм), P180 (63–80 мкм). Измерение шероховатости поверхности подготовленных образцов проводили после обработки абразивным материалом, а затем после нанесения грунтовочного покрытия осуществляли, используя портативный профилометр модели SURFTEST SJ-210 по средствам трех измерений.

Нанесение жидких грунтовочных составов осуществлялось пневматическим распылением, при помощи краскопульты с гравитационным

питанием модель HD 1016. Технические характеристики системы распыления грунтовочного материала (диаметр сопла – 1,4, 1,6 и 1,8 мм, расход воздуха – 180 л/мин, размер факела – 160–230 мм), давление воздуха в сети – 4 МПа, расстояние от окрашиваемой поверхности – 150 мм, количество слоев – 2, температура – 20 °С. Время высыхания первого и второго слоя составило 10 мин. Полное высыхание слоя грунта на поверхности образцов происходило через 10 часов.

Грунтовочный состав NOVOL PROTECT 340 (Wash Primer) готовили в пропорции 1:1 (25 мг грунта PROTECT 340 и 25 мг катализатора от SOLL EP-1) и 1:1 (25 мг грунта PROTECT 340 и 25 мг катализатора 5550 HRD от JETA PRO 5550). Грунтовочный состав SOLL EP (S-EP1) готовили в пропорции 2:1 (40 мг грунта SOLL EP и 20 мг катализатора H 5910 от NOVOL PROTECT 340) и 2:1 (40 мг грунта SOLL EP и 20 мг катализатора 5550 HRD от JETA PRO 5550). Грунтовочный состав JETA PRO 5550 готовили в пропорции 1:1 (25 мг грунта JETA PRO 5550 и 25 мг катализатора H 5910 от NOVOL PROTECT 340) и 1:1 (25 мг грунта JETA PRO 5550 и 25 мг катализатора от SOLL EP-1). Грунтовочную смесь на основе двухкомпонентного акрилового грунта BASS 2K ACRYL FULLER HS готовили в пропорции 5:1 (50 мл грунта и 10 мл отвердитель HS).

Определение адгезионной прочности грунтовочных составов осуществляли по стандартным методикам методом решетчатых надрезов. Исследования показали, что толщина грунтовочного слоя после сушки у всех исследуемых образцов различна, изменяется в зависимости от технологических режимов нанесения грунтовки (диаметр сопла, давление воздуха в сети) находится в пределах от 21 до 103 мкм и не зависит от шероховатости поверхности образца. Максимальная толщина слоя грунтовки наблюдается при использовании состава BASS 2K ACRYL FULLER HS, минимальная при использовании грунта PROTECT 340 (Wash Primer), промежуточное значение получено при использовании грунта SOLL EP (S-EP 1).

Установлено, что для получения максимальной адгезионной прочности грунта, оптимальное значение шероховатости металлической поверхности перед нанесением составляет 0,4 Ra, т.е. для обработки металлической подложки под нанесение материала, подходит абразив P-180.

Также установлено, что нанесение краскопультom с дюзой 1,4 мм, связана с повышенными трудозатратами и требует большего времени и расхода материала, т.е. краскопульт с диаметром сопла 1,4 мм, имеет не высокую пропускную способность, что приводит к длительному времени нанесения, в результате которого значительная часть грунтовочной

смеси «улетучивается». Установлено, что максимальной адгезионной прочностью обладают грунтовочные покрытия, при соблюдении следующей комбинации технологических параметров нанесения материала на подложку: расстояние до окрашиваемой поверхности – около 150 мм; диаметр сопла (дюза) краскопульта – 1,8 мм; входящее давление – 3 МПа.

В ходе проведения исследований выяснили, что лучшей адгезионной прочностью, при проведении ремонтных (покрасочных) работ кузовных элементов механических транспортных средств, обладает двухкомпонентный реактивный грунт PROTECT 340 (Wash Primer).

Изменение второго (каталитического нейтрализатора) компонента в составе грунтовочной смеси, оказывает значительное влияние на формирование и состав слоя грунта. Установлено, что толщина грунта существенно изменяется в зависимости от вида добавленного отвердителя, что объясняется различной степенью пора заполнения, а также наблюдается несовместимость некоторых видов грунтов с разным отвердителем.

Установлено, что наилучший результат адгезионных испытаний (0 балл) получен при использовании грунтовочного состава NOVOL PROTECT 340 (Wash Primer) при добавлении катализатора 5550 HRD.

Литература

1. Розенфельд, И.Л. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями / И.Л. Розенфельд, Ф.И. Рубинштейн, К.А. Жигалова: Химия, 1987. – 224 с.

2. Ламбурна, Р. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика. Спб.: Химия, 1987. – 512 с.

3. Ваниев, М.А. Изучение технологических характеристик растворных лакокрасочных материалов и эксплуатационных характеристик покрытий на их основе. Метод. реком. к лаб. работе / М.А. Ваниев, Н.В. Сидоренко, И.М. Гресь, Н.Г. Булычева. Волгоград: Волгоградский гос. техн. ун-т. – 2010. – 12 с.

4. Кочнова, З.А. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты / З.А. Кочнова Е.С. Жаворонок, А.Е. Чалых. – М.: ООО «Пэйнт медиа», 2006. – 200 с.

5. Фомин, Г.С. Лакокрасочные материалы и покрытия. Энциклопедия международных стандартов. – 2-е изд. перераб. и доп. М.: Изд-во «Протектор», 2008. – 752 с.

М.В. Федоренко (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **В.Г. Сорокин**, канд. техн. наук, ст. преподаватель

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КРЫШКИ ПК-50 ДЛЯ ПОЖАРНОГО КРАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В борьбе с разрушительной стихией – пожаром – могут быть использованы различные средства тушения. Эти методы ликвидации возгорания в наше время, предполагают наличие специальных средств – гидрантов. Пожарный гидрант – это водозаборное приспособление, предназначенное для тушения пожаров и локализации очагов возгорания. И так как он является неотъемлемой частью системы пожаротушения, за пожарным гидрантом требуется тщательный уход [1].

Пожарный кран ПК-50. Применим в системах противопожарного водопровода жилых домов, государственных учреждений, офисов, магазинов, гостиниц и других зданий и сооружений. Применяется для управления подачей воды с температурой до + 50 °С и рабочим давлением 1,6 МПа (16 кг/см²) в пожарном вентиле.

На рисунке 1 представлен общий вид пожарного крана ПК-50, в конструкции которого имеется крышка, являющаяся основным элементом запорного устройства, регулирующего подачу воды под давлением в пожарный шланг [1].



Рисунок 1 – Общий вид пожарного крана ПК-50 с крышкой



Рисунок 2 – Общий вид крышки ПК-50

Общий вид крышки пожарного крана представлен на рисунке 2.

На ПУП «Цветлит» первоначально для изготовления крышки пожарного крана использовали латунь марки - ЛСд. Хотя ЛСд – это латунь литейная, изготавливаемая из лома и отходов, тем не менее этот материал дорогостоящий, поэтому на предприятии было принято решение производить это изделия из алюминиевого литейного сплава АК12. Это сплав на основе системы алюминий - кремний - магний (силумин). Из сплава получают плотные герметичные отливки сложной формы, не испытывающие в процессе эксплуатации значительных нагрузок, сплав отличается высокой герметичностью.

Однако ходе эксплуатации крышки из алюминиевого сплава и проведении испытаний на герметичность конструкции пожарного крана ПК-50 в сборе, было замечено, что наблюдается течь (просачивание) жидкости у основания крышки, изготовленной методом литья под давление, у 10% готовой продукции [1]. Возможно это недостатки в конструкции крышки или технологии её изготовления методом литья. Жидкая среда проникает через поры, образующиеся у основания крышки и выделяется в виде водяного налёта и капель. Этот факт является серьёзной проблемой, так как пожарный кран выпускается в значительных объёмах и специалисты завода ПУП «Цветлит» вынуждены устранять 10 % отказы за счёт предприятия, что приводит к значительным экономическим убыткам.

В данной работе рассмотрено одно из направлений решения проблемы, возникшей на предприятии ПУП «Цветлит», в котором предлагается оптимизировать конструкцию крышки ПК-50 путём нанесения на внешнюю поверхность крышки для пожарного крана полимерного покрытия из ПАб (отходов химического производства на ОАО «Гродно Азот»).

Покрытия для исследований формировали двумя способами – в псевдооживленном слое и электростатическим методом.

Для проведения стендовых испытаний были использованы готовые изделия – крышки пожарного крана ПК-50, которые не прошли испытания герметичности на стенде, входящем в производственный цикл изготовления этого изделия.

Для этих испытаний брали 20 штук готовых (отбракованных) крышек пожарного крана ПК-50, наносили на внешнюю поверхность покрытия двумя вышеописанными способами и далее проводили испытания на стенде для проверки герметичности.

Нами проведены исследования прочностных характеристик, которые проводили на установке ИМПУЛЬС 1-Р. Кроме того определяли показатель адгезии полимерного покрытия.

Результаты исследований прочностных характеристик покрытий на базе ПА6, сформированных различными способами показали, что наиболее целесообразно использовать электростатический метод нанесения.

По результатам испытаний на адгезионные характеристики оба образца показали одинаковые баллы, поэтому полученные покрытия пригодны для оптимизации крышки пожарного крана ПК-50.

При проведения стендовых испытаний использовали бракованные крышки для пожарного крана с нанесённым полимерным покрытием из ПА6 электростатическим методом. Стенд для испытаний предоставлен на рисунке 3 [2, 3].

Из проверенных на подготовленных нами образцов пожарных кранов с крышками, на которые предварительно было нанесено покрытие из ПА6 с внешней стороны все 100 % прошли испытания.



Рисунок 3 – Стенд для испытаний ПК 50

Результаты исследований, проведенные в работе, нашли заинтересованность у технического персонала и руководства завода ПУП «Цветлит» и будут выступать как один из возможных вариантов решения возникшей проблемы на отдельном производственном участке.

Литература

1. Производственное унитарное предприятие «Цветлит»: Сведения полученные из сборочного и литейного цеха.
2. Википедия: Испытания трубопроводной арматуры. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. Испытания запорной арматуры. – Дата доступа: 28.02.2018.
3. Penzaallbiz: Испытательные стенды. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: http://penza.all.biz/stend-3-h-pozicionnyj-dlya-ispytaniy-na-g1814571#.WLI-GG_yjcs. – Дата доступа: 19.03.18.

И.И. Халуца (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **В.А. Лиопо**, д-р физ.-мат. наук, профессор

СТРУКТУРА НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХСЛОЙНЫХ СЛОИСТЫХ СИЛИКАТОВ

В ходе исследования была проанализирована структура двухслойных слоистых силикатов с точки зрения использования их в качестве наполнителей модификаторов в полимерах. В результате исследования было выяснено, что двухслойные силикаты являются наиболее подходящими модификаторами для полимеров, в связи с наличием в них активных зарядовых центров.

На современном этапе развития материаловедения приоритетным направлением является создание новых материалов и композитов с использованием микро- и наноконпонентов. Постоянная потребность человечества в этих полимерных материалах способствует интенсивным разработкам в области химии, физики и технологии переработки полимеров и лежит в основе роста их промышленного производства.

Двухслойные слоистые силикаты используются в качестве полуфабрикатов при создании строительных материалов, так как являются важнейшими компонентами глин. Кроме этого эти минералы используются в качестве композитов на полимерной основе.

Двухслойными называются такие силикаты, основной блок которых состоит из октаэдрических и тетраэдрических слоёв. Внешнее основание тетраэдров образуют гексагональную сетку (рисунок 1) [1].

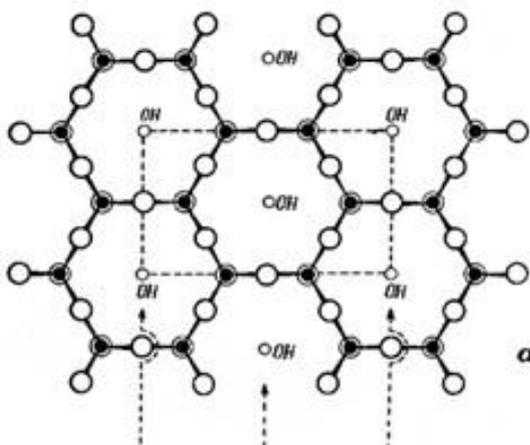


Рисунок 1 – Сетка из внешних оснований тетраэдров

Схема структурного тетраэдра полиэдра приведена на рисунке 2. В вершинах находятся атомы кислорода, в центре ионы металла.

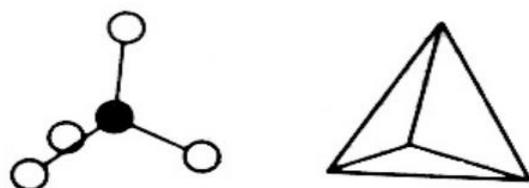


Рисунок 2 – Схема структуры полиэдра

Кроме тетраэдрического слоя в силикатах рассматриваемого типа имеется два плотно упакованных кислородных слоя, в октаэдрических пустотах которого размещаются ионы металла. Тетраэдрическая и октаэдрическая сетки образованы так, что атомы кислорода в вершинах тетраэдров являются одновременно и вершинами октаэдров. Внутри этого двойного тетра-октаэдрического слоя между анионами вершин структурных полиэдров взаимодействие между атомами обусловлено валентной связью. Схема структуры двухслойного силиката приведена на рисунке 3 [2].

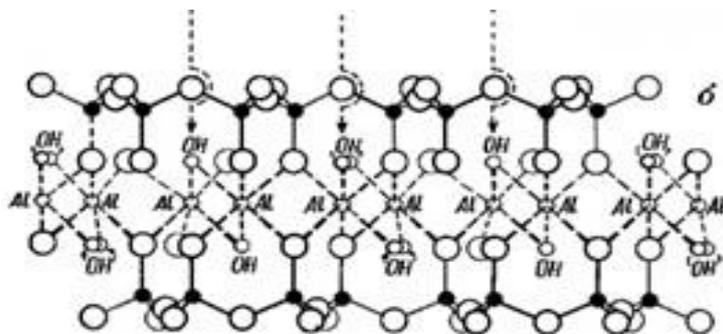


Рисунок 3 – Структурная схема двухслойного силиката

В октаэдрическом слое атомы кислорода, находящиеся под центрами гексогональных сеток из внешних оснований тетраэдров, замещены гидроксилами, которые обладают дипольным моментом. Эти диполи характеризуются однонаправленными дипольными моментами. На внешней поверхности двухслойного блока возникают электрически заряженные ячейки электростатической мозаики. Эта ячейка вызывает поляризацию в прилегающей к данному слою ячейке другого двухслойного блока и кристалле в целом. Именно поэтому эти кристаллы приобретают электретные свойства. Такие природные минералы являются своеобразными электрическими аналогами магнитных минералов.

Для структурных полиэдров двухслойных силикатов характерен изоморфизм металлических ионов, что приводит к наличию большого числа кристаллов этого типа. Двухслойные структурные блоки связаны друг с другом слабыми Ван-Дер-Вальсовыми силами. Это позволяет, во-первых, сравнительно просто получать нанообъекты с одной наноразмерностью, а во-вторых объясняет склонность таких кристаллов к поглощению воды (гидротации) [3].

Среди двухслойных слоистых силикатов чаще всего встречаются и активно используются такие минералы, как тальк, диккит и галлуазит.

Тальк – это минерал с формулой $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. Качество талька определяется его белизной. Стоит отметить, что тальк – это минерал, который почти не растворяется в воде и кислотах. Необходимые условия для образования талька – это температура около $400^\circ C$ и достаточное количество воды. Он образуется в результате взаимодействия доломитов и вод из горячих источников.

Диккит – $Al_2Si_2O_5(OH)_2$ – часто встречается в глинистых месторождениях Беларуси.

Галлуазит – $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ – характеризуются смешанной структурой слоев с различной гидратацией межслоевых промежутков и с изменяющейся взаимориентацией прилегающих друг к другу блоков.

Эти минералы используются в качестве модификаторов при создании полимерных композитов.

Анализ их структуры позволяет из большого числа различных двухслойных силикатов выбрать те, которые, исходя из их структурной формулы, обладают электретыми свойствами, что повышает модифицирующую активность при создании композитов.

Литература

1. Халупа, И. И. Систематизация двухслойных слоистых силикатов / И.И. Халупа // Физика конденсированного состояния 2017. – С. 105-107
2. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физикохимия, технология, применение/ С.В.Авдейчик [и др.]; под ред. В.А.Струка, В.Я.Щербы. - Минск: Технология, 2007. – 431 с., [8] л. ил.: ил.
3. Бетехтин, А.Г. "Курс минералогии", под научн. ред. Б.И. Пирогова и Б.Б. Шкурского. М.: "Высшая школа" – 2008. – 79 с.

В.А. Черчук (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В.Е. Гайшун**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА, СОДЕРЖАЩИХ ОКСИДЫ МЕТАЛЛОВ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Несмотря на значительный прогресс в технологии нанесения тонких покрытий золь-гель методом, относительно мало исследований посвящено разработке физико-химических основ процесса получения материалов, легированных полупроводниковыми наночастицами и нанокристаллами

редкоземельных соединений. Также проводилось мало исследований подобных процессов для использования в оптоэлектронике.

Материалы с добавками ионов редкоземельных металлов уже довольно давно используются в оптоэлектронике и светотехнике. Редкоземельные ионы, испускающие свет, являются активаторами, а матрица (чаще всего оксид) – сенсibilизатором. Спектроскопические свойства материала (абсорбция, длина волны излучения, эффективность перехода) главным образом определяются природой РЗМ.

РЗЭ химически высоко активны. На воздухе они быстро покрываются пленкой оксидов типа R_2O_3 , которая предохраняет их от дальнейшего окисления. При температурах выше 180-200 оС происходит интенсивное окисление РЗЭ. При прокаливании оксидов типа R_2O_3 образуются тугоплавкие белые порошки [1].

В нашей работе планировалось добавление наночастиц и нанокристаллов редкоземельных соединений. РЗЭ характеризуются уникальными оптическими свойствами. Введение небольших количеств некоторых РЗЭ в стали различных марок способствует очищению от примесей, повышает жаропрочность и сопротивление коррозии. Сплавы Се с железом и магнием отличаются малым коэффициентом расширения и используются в машиностроении при производстве деталей поршневых двигателей, также используются и сплавы Се с алюминием. Присадка РЗЭ к чугунам улучшает их механические свойства. Добавка РЗЭ к сплавам из хрома, никеля и железа практикуется в производстве нагревательных элементов промышленных электропечей.

Покрyтия, разработанные в лаборатории и используемые при обработке кремниевых подложек, были синтезированы золь-гель методом, который относится к химическим способам синтеза покрытий.

Покрyтие наносилось наиболее известным способом – методом центрифугирования, при котором на вращающуюся пластину наносится доза золь-гель раствора композиции. После сброса излишков раствора и испарения спирта на поверхности получается тонкая пленка необходимой нам композиции. Способ центробежного нанесения пленки характеризуется тем, что осаждающийся слой формируется путем растекания под действием центробежных сил. Основными факторами, определяющими впоследствии толщину и гомогенность формируемых Се/Ag-слоев, являются плотность и пленкообразующие свойства исходного золя [2].

Характерной особенностью спектров поглощения и пропускания металлических НЧ размеров более 2 нм является присутствие интенсивной и широкой полосы в видимой области или в прилегающих к ней ближних к ИК- и УФ-областях. Эту полосу называют полосой поверхностного плазмонного резонанса (ППР) или, реже, полосой резонанса Ми. Из

всех металлов серебро имеет наибольшую интенсивность полосы ППР, у золота и меди она немного слабее [4].

Видно, что при наличии серебра в растворе наблюдается рост относительной интенсивности пика плазменного резонансного поглощения, что можно наиболее отчетливо увидеть на 1 графике. При этом форма пика чаще всего даже не меняется. Наличие асимметрии формы спектрального контура говорит о том, что в растворе частицы серебра либо частично агрегированы, либо их форма отличается от сферической.

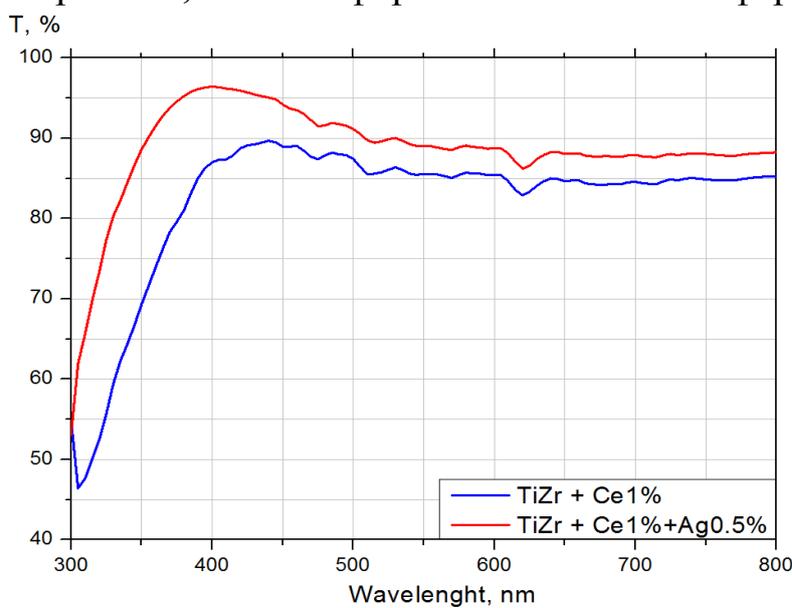


Рисунок 3 – Коэффициенты пропускания титан-циркониевого золя, легированного редкоземельными элементами

Планируются дальнейшие исследования покрытий на основе перечисленных растворов с добавлением редкоземельных и полупроводниковых соединений.

Литература

1. Klein Lisa C. Sol-Gel technology for thin films, fibers, performs, electronic and specialty shapes // New jersey. – 1988. – С. 194-197, 382-386.
2. Sol-gel science and technology. Processing characterization and applications. Volume I: Sol-gel processing // Sumio Sakka, Hiromitsu Kozuka // p. 59-65, 331-334;
3. Mackenzie J.D. Sol-Gel researches-achievements since 1981 and prospects for the future // J. Sol-Gel Sci. Tech. – 2003. – Vol.26, № 1-3. – С. 23-27.
4. Пат. 2399589 РФ, МПК А61К8/29. Способ получения дисперсий TiO_2 в форме наночастиц, дисперсии, полученные указанным способом, и применение дисперсий TiO_2 для придания поверхностям заданных свойств / Балди Джованни, Битосси Марко, Барцанти Андреа; заявитель и патентообладатель КОЛОРОББИЯ Италия С.П.А. 2007125485/15; заявл. 2005.12.05; опубл. 20.09.2010; Бюл. 26.

А.Н. Шах (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.В. Бабкин**, директор ООО «Айтибо»

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ О СОТРУДНИКАХ КОМПАНИИ

В большинстве компаний отсутствует система, позволяющая получать подробную информацию о сотруднике. К такой информации относятся контактная информация, должностная, информация о навыках, местоположении сотрудника в офисе, расположение офисной мебели, офисного оборудования. Для хранения указанных данных могут применяться различные источники, вследствие чего существует проблема интеграции информации. Также существует проблема ориентирования сотрудника, особенно для новых сотрудников, в офисном пространстве (поиск сотрудника, определение местоположения коллег). Для менеджера персонала, отвечающего за расположение сотрудников в офисе, существует проблема поиска свободного места и правильной группы для нового сотрудника. Указанные проблемы позволит решить система, которая объединяет информацию о сотрудниках из различных источников, информацию об офисном помещении и офисном оборудовании и представляет полученную информацию на интерактивной конфигурируемой карте офисного помещения.

Новизной указанной системы является использование интеграции информации для ее визуализации на карте офисного помещения. Практическая значимость разрабатываемого приложения состоит в объединении информации в единую систему и использование ее для получения досье о сотруднике. Также приложение позволит производить поиск сотрудника в офисном помещении по различным критериям (ФИО, навык, статус), предоставлять подробную информацию о сотруднике (контактная информация, навыки, проекты), осуществлять менеджмент информации, осуществлять конфигурацию офисного помещения (расположение столов, настройка этажей, комнат), инвентаризацию офисного оборудования, определять статус сотрудника (занят, на месте, отошел и т. д.).

Было проведено исследование над существующими программными продуктами. Было определено, что программных средств предоставляющих карту офисного помещения немного, являются чаще всего внутренними продуктами компании, распространяются на платной основе, имеют ограниченный функционал. К наиболее популярным средствам относятся: loor Plan Mapper, Office Maps, интерактивная карта (решение от компании «Технологика»). Данные продукты предоставляют следующий набор функционала: план-схема офисного помещения, схема расположения сотрудников в офисе, предоставление информации о сотруднике, поиск сотрудника по имени или фамилии, интеграция с календарем (ряд систем позволяют указать время работы сотрудника).

Однако существует ряд недостатков в популярных продуктах предоставляющих карту офисного помещения: карта офисного помещения является статичной, она конфигурируется один раз или конфигурация офисного пространства является недостаточно гибкой (отсутствие шаблонов рабочего места, отсутствие возможности добавлять свои шаблоны рабочего места); информация о пользователе вводится вручную, чаще всего отсутствует интеграция с внешними системами; нет фильтрации пользователей по различным параметрам, чаще всего предоставляется поиск сотрудников по имени или фамилии, фильтрация по навыкам, проектам отсутствует; стоимость, приложения распространяются платно; отсутствие удобного программного интерфейса для взаимодействия с пользователем (карта офисного помещения чаще всего представляет собой черно-белую схему); отсутствие инвентаризации офисного оборудования; отсутствие функционала по синхронизации статуса сотрудника с внешними системами общения (скайп, телеграм и т. д.).

С учетом проведенного анализа существующих программных средств и было принято решения о написании системы интеграции информации о сотрудниках и визуализации ее на интерактивной карте офисного помещения. Для реализации полученной задачи создается совершенно новая система. Будет реализовано веб-приложение. Это связано с удобным дизайном и простым доступом к информации. В качестве подхода выбрана реализация системы в виде двух составляющих: серверной и пользовательской (бэкенд и фронтенд). В качестве языка программирования серверной части принято решения использования популярного устоявшегося языка Java. Пользовательская часть разрабатывается с использованием популярного и удобного фреймворка Angular 4 с использованием обертки для JavaScript в виде TypeScript.

На основании проведенного исследования принято решение об актуальности разрабатываемой системы. Проведенный анализ существующих программных средств позволил выявить достоинства и недостатки, что позволит учесть их в разрабатываемом продукте.

Р.Э. Шваба (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)

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

РЕАЛИЗАЦИЯ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ НАСОСА СТN-GN 40-250 ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОЙ СЕРЫ

Технологическая жидкость под воздействием гидродинамических сил в динамических насосах перемещается в камере, постоянно сообщаемой с входом и выходом насоса. Насосы для перекачки агрессивных жидкостей, в зависимости от условий эксплуатации могут

кардинально отличаться по принципу действия, конструкции, основным параметрам и возможностям. Однако, у них есть и общее свойство: все они выполнены из материалов, устойчивых к коррозионному, растворяющему, разрушающему действию химически активных веществ.

На производстве ОАО «Гродно Азот» в цеху «Олеум» остро стоит вопрос повышения технического ресурса эксплуатации насосного оборудования, работающего в условиях воздействия агрессивных сред при сложных температурных и силовых нагрузках. Среди ключевых задач производства - увеличение межремонтного периода и обеспечение надежных условий работы.

Вертикальный насос CTN-GN 40-250 с трансмиссионным валом, с двухзавитковым спиральным корпусом, имеющим поперечный разъем, для мокрой или сухой установки, с радиальным колесом, однопоточный, одноступенчатый, с обогреваемым корпусом представлен на рисунке 1. Объектом исследования является лопастная часть насоса CTN-GN 40-250. Предмет исследования – условия работы насоса и анализ причин заклинивания рабочего органа при работе в агрессивной среде и повышенных температурах.

Область применения - для перекачивания слабозагрязненной жидкой серы или с незначительным содержанием твердых частиц в химической и нефтехимической промышленности.

При работе с серой необходимо знать и учитывать ее специфические свойства, особенно в тех случаях, когда она перекачивается в жидкой фазе, в то время как ее вязкость значительно зависит от температуры, что определяет эффективность работы насосного оборудования. Перекачка чистой серы может производиться только в температурном диапазоне 120 – 155°C, т.к. при температуре ниже 119°C сера кристаллизуется, а при температуре выше 160°C наблюдается увеличение её вязкости. В таких условиях насосу необходимо обеспечение для поддержания постоянной температуры перекачиваемой среды, т.е. он должен быть представлен в обогреваемом исполнении [1]



Рисунок 1 – Характерный вид насоса CTN-GN 40-250

В результате обследования были выявлены повреждения рабочих органов насоса: повреждение резьбы на рабочем валу (рисунок 2,а) и опорной гайке (рисунок 2,б), следы (борозды) на лопастях рабочего колеса (рисунок 2,в), вышел из строя подшипник качения (рисунок 2,г).

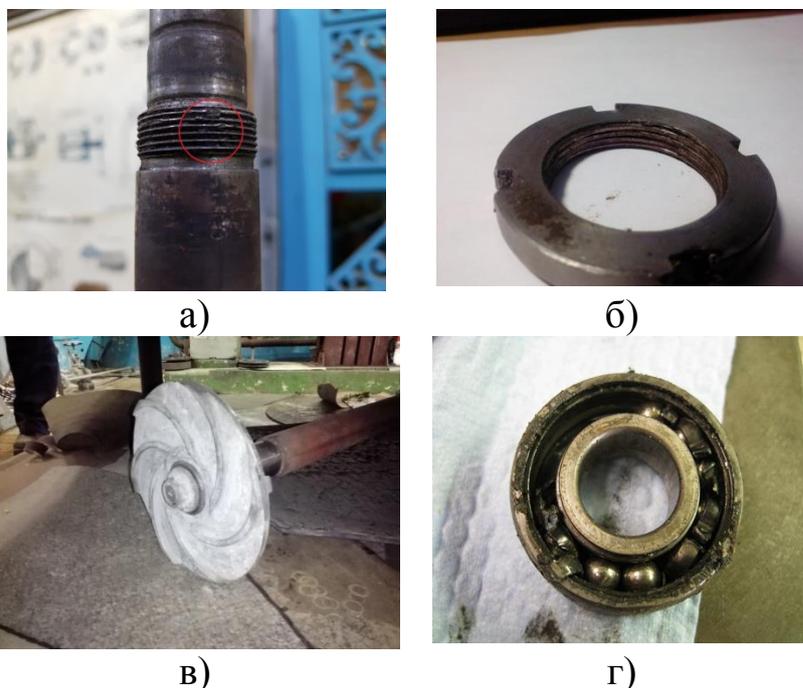


Рисунок 2 – Характерный вид повреждения резьбы:
а) на рабочем валу; б) на опорной гайке

Предположительно на вал действовала сила вдоль его оси, которая и привела к срыву вала с опорной гайки, что в дальнейшем привело к повреждению подшипника и рабочего колеса. Колесо, в свою очередь, вступило в контакт с крышкой корпуса насоса. Так как рабочий вал изготовлен из стали 45, а корпус насоса из нержавеющей стали 12Х18Н10Т можно предположить, что при проектировании насоса не были учтены коэффициенты температурных расширений материалов этих двух материалов.

Диаграмма температурного удлинения корпуса насоса из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и рабочего вала из стали 45 относительно друг друга представлена на рисунке 3. По горизонтальной шкале определяется температура ($^{\circ}\text{C}$) системы насоса, по вертикальной шкале – удлинение рассматриваемых рабочих органов.

Из диаграммы (рисунок 3) следует отметить, что действительно имеет место существование изменений в междетальном пространстве. Изначальный зазор между корпусом и рабочим колесом составляет 0,5 мм. Это требование, которое предусматривает корректную работу насоса СТН-GN 40-250. При увеличении температуры корпус насоса удлиняется больше и быстрее чем вал, что приводит к дополнительным осе-

вым нагрузкам на вал. Таким образом, очевидно, что для устранения данной проблемы требуется либо замена материала вала на нержавеющей сталь. Самый простой и дешёвый способ решения проблемы - увеличение технологического зазора между рабочим колесом и корпусом насоса.

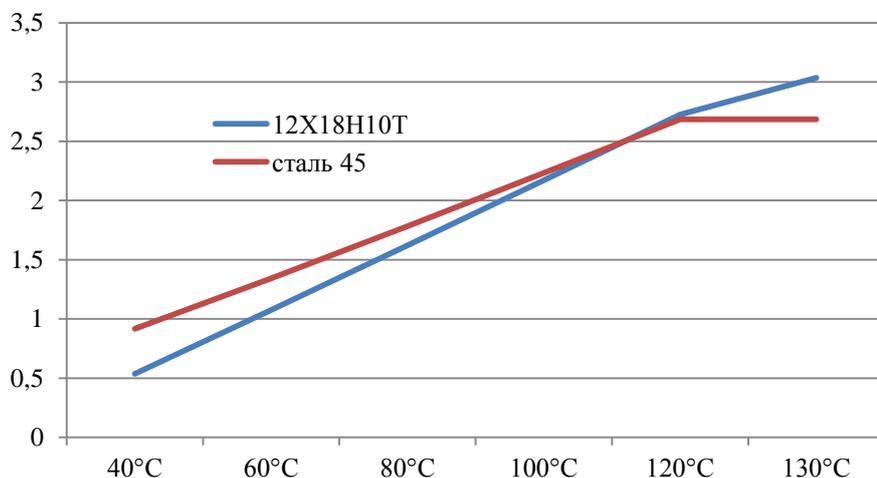


Рисунок 3 – Диаграмма температурного расширения вала из стали 45 и корпуса из стали 12X18H10T

Литература

1. Насосы KSB для технологических процессов производства элементарной серы и сероочистки дымовых газов // Сфера нефтегаз [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: http://www.s-ng.ru/pdf/main_1899.pdf – Дата доступа: 06.03.2018.

2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок пнаэ Г-7-002-86. :// gostrf [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://gostrf.com/normadata/1/4293842/4293842075.htm> – Дата доступа: 06.03.2018.

А.А. Шкаль (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Н.С. Ковальчук**, канд. техн. наук, доцент

ТЕРМОРЕЗИСТИВНЫЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ДАТЧИКА РАСХОДА ГАЗА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Возрастающая потребность в микромеханических сенсорах и микро-электромеханических системах обусловлена динамичным развитием малоразмерных аппаратов и устройств нового поколения. Эта тенденция определяет динамику мирового рынка изделий МСТ (микросистемной

техники). Проблема точного дозирования исходных газовых реагентов высокой степени чистоты, контроля и детектирования газов при работе комплексных систем существует в новых технологических процессах микроэлектроники, химии, фармакологии, биохимии, медицины, в системах охраны окружающей среды и др. областях промышленности.

В области техники измерения расходов применяются более двух десятков различных методов, в которых используются разнообразные физические эффекты. Каждый метод может иметь несколько вариантов реализации, что обусловлено существованием широкого диапазона расходов, которые необходимо измерять (от больших - свыше 1000 л/ч до сверхмалых - менее 1 л/ч). Использование различных физических эффектов в качестве основы для реализации процесса измерения обуславливает разнообразие конструкций расходомеров, их размеров, материалов и, в конечном итоге, их стоимость. Совершенствование первичных преобразователей, как неотъемлемой части регуляторов расхода газов (РРГ) ведется с целью повышения надежности и точности контроля газового потока. Возрастающие требования к этим характеристикам, а также к экономической эффективности устройств контрольно-измерительной техники, в наибольшей степени удовлетворяется теплообменными измерительными преобразователями.

Конструктивные решения при проектировании новых систем часто базируются на эмпирических зависимостях и сдерживаются отсутствием данных расчетных моделей. В настоящий момент мы знаем, что работы в области физического дизайна, подбора материалов для производства датчиков расхода газа требуют широкого компьютерного моделирования динамики потока, анализа параметров напряженно-деформированного состояния и изменения электрофизических параметров терморезисторов.

Для понимания функционирования и предсказания технических характеристик микросистем необходимо всестороннее моделирование поведения как отдельных материалов и деталей, так и узлов и конструкций в целом.

Современной промышленностью выпускается много видов датчиков расхода газа, основанных на различных физических принципах измерения. В данной теме решает множество задач, таких как:

- Компьютерное моделирование терморезистивных чувствительных элементов в тепловых и газовых датчиках.
- Газодинамический расчёт течения газов в датчике.
- Исследование работы первичных преобразователей в виде терморезистивных элементов.
- Изучение регулятора расхода газа с нитевидным полупроводниковым первичным преобразователем.

С.Ч. Шматко (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **В.А. Струк**, д-р техн. наук, профессор

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Крепежные элементы используют для фиксации функциональных (теплоизолирующих или звукоизолирующих) панелей к конструктивным составляющим промышленных и жилых зданий и сооружений [1]. Среди большого разнообразия конструкций крепежных элементов наиболее широкое распространение в технологии строительного производства получили металлополимерные и полимерные дюбеля, обеспечивающие фиксацию плоских плит при тепловой реабилитации и строительстве зданий [1]. Типовая конструкция металлополимерного дюбеля включает корпус из полимерного или композиционного материала, в центральном отверстии которого расположен металлический распорный элемент, который в процессе монтажа обеспечивает распирающее действие крепежной зоны и фиксацию плоской панели из функционального материала. При безусловной эффективности подобной конструкции ей присущи существенные недостатки, связанные со снижением крепежного усилия с течением времени эксплуатации вследствие коррозионных повреждений металлического распорного элемента и недостаточными теплоизолирующими характеристиками вследствие образования мостиков теплопроводности.

В полученной конструкции дюбеля фасадного отмеченные недостатки устранены благодаря использованию распорного элемента из композиционного материала с повышенной стойкостью к воздействию коррозионных факторов. Вместе с тем, подобная конструкция дюбеля фасадного ограничено используется в практике вследствие сравнительно высокой стоимости распорного элемента из композиционного материала на основе термопластов с повышенным содержанием наполнителя (20÷30 мас. %). Разработана оригинальная конструкция дюбеля фасадного, включающая полимерный корпус, металлический распорный элемент и заглушку из композиционного термопластичного материала [2]. Наличие в конструкции заглушки из композиционного материала, с одной стороны, позволяет уменьшить размеры распорного элемента, снизив его стоимость, а с другой – ликвидировать мостик теплопроводности благодаря блокированию теплового потока от стеновой панели в окружающую среду.

Разработанная конструкция дюбеля фасадного с заглушкой предполагает осуществление операции предварительной сборки для увеличения

производительности процесса монтажа в практическом строительстве. Для осуществления этой операции разработано приспособление (рисунок 1), которое позволяет осуществлять сборку элементов дюбеля с получением технологичной в применении заготовки. Приспособление для предварительной сборки дюбеля фасадного металлополимерного включает стол для точной фиксации корпуса и пневматическое устройство для фиксации заглушки в центральном отверстии корпуса. Собранный заготовку дюбеля фасадного размещают в отверстии стеновой панели и теплоизолирующего элемента, зафиксированного с помощью клеевого состава. После этого осуществляют подачу заглушки на определенное расстояние, обеспечивающее осевое перемещение металлического распорного элемента и раскрытие элементов устройства крепления.

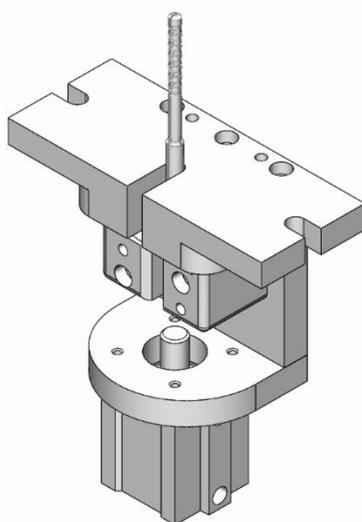


Рисунок 1 – 3D-модель приспособления для сборки дюбеля

Проведенные испытания 3D-модели приспособления для сборки дюбеля металлополимерного фасадного свидетельствуют о высокой технологичности и целесообразности использования в технологии тепловой реабилитации зданий и сооружений.

Для обеспечения заданной технологической нормативной документацией эксплуатационных параметров дюбелей фасадных металлополимерных и оптимизации их стоимостных параметров разработаны составы композиционных материалов на основе термопластичных связующих для изготовления корпуса и заглушки. Для изготовления корпуса дюбеля разработан композиционный материал на основе регенерированного полипропилена, модифицированного термоэластопластом (ТЭП) или полиэтиленом высокого давления (ПЭВД). Модифицирование матричного полимера позволяет повысить параметры его морозостойкости при сохранении необходимых параметров деформационно-прочностных характеристик, обеспечивающих технологичность сборки

дюбеля и его монтажа. При этом значительно снижается стоимость дюбеля фасадного по сравнению с аналогами, выполненными из первичных материалов.

Для изготовления заглушки дюбеля фасадного разработанной конструкции выбран композиционный материал на основе полиамида 6, модифицированного сочетанием наполнителей разной дисперсности – стекловолокном и коллоидным графитом. Сочетание наполнителей обеспечивает эффект многоуровневого модифицирования, который приводит к синергическому увеличению параметров деформационно-прочностных характеристик и стойкости к старению. Разработана многопозиционная технологическая оснастка для промышленного выпуска партий дюбеля фасадного металлополимерного с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик.

Литература

1. Климентьев, С. В. Что мы знаем об анкерах и дюбелях? – Волгоград: ООО «Орвия», 2004 – С. 72.
2. Дюбель термоизолирующий. Патент РБ на полезную модель № 11241 ВУ. МПК F16 В 13/00, E04 В 1/50 / Авдейчик С. В., Белецкий С. С., Струк В. А., 2016.

П.И. Шупан (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **С.Д. Лещик**, канд. техн. наук, доцент

ФОРМИРОВАНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ СТРУКТУР ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МАГНЕТИТА В ЭТАНОЛЕ

Известно, что наночастицы практически любого материала образуются при воздействии на него достаточно мощного лазерного импульса. Лазерная абляция твердых мишеней, погруженных в жидкость является известным способом получения различных наночастиц [1].

Магнитные наночастицы, наряду с другими видами наночастиц, являются предметом активного и всестороннего изучения в физике, химии, биологии и медицине. Как и любые другие виды наночастиц, в наноразмерном состоянии они проявляют ряд необычных свойств, связанных с проявлением квантово-размерных эффектов, например, суперпарамагнетизм, большой магнитокалорический эффект, повышенная намагниченность и т. д. Магнитные свойства частиц зависят от их химического состава, размера, формы, типа кристаллической решетки, микроструктуры, окружающей матрицы и других факторов.

В вышеперечисленных областях применяются магнитные наночастицы магнетита (Fe_3O_4), маггемита ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), гематита ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и других соединений и металлов [2].

Практический интерес представляет генерация наночастиц магнетита (Fe_3O_4) с помощью метода импульсной лазерной абляции (ИЛА), что позволит контролировать размер и распределение частиц по размерам. Тем более, что ранее получены наноразмерные частицы металлических материалов методом ИЛА в жидкостях [1].

При проведении абляции магнитного железняка (магнетита) жидкость достаточно быстро приобретает характерный бурый оттенок. На дне кюветы еще в процессе абляции оседают частицы минерала размером в десятки и сотни микрометров, а также более крупные фрагменты мишени. Наносuspензию формируют частицы, которые конденсируются из парогазового облака, состоящего как из материала мишени, так и окружающей жидкости, образовываться в результате выброса вещества из кратера с последующим охлаждением в жидкости (гидродинамическое распыление). Кроме этого происходит также деформация и разрушение материала мишени из-за возникающих термоупругих напряжений, вызванных лазерным нагревом. Данные механизмы приводят к образованию более крупных частиц. По всей видимости, роль так называемых фотомеханических механизмов образования частиц при абляции достаточно хрупкого минерала велика.

Установлено, что наносuspензия магнетита склонна к агрегатированию находящихся во взвешенном состоянии частиц, о чем свидетельствует то, что интенсивность окраски с течением времени уменьшается и появляется осадок.

На рисунке 1 приведены характерные изображения частиц, генерируемых при импульсной лазерной абляции магнитного железняка в этаноле. Как можно видеть, образуются частицы преимущественно неправильной формы. Видны скопления продуктов абляции в виде коротких цепочек, крупных конгломератов, а также отдельные частицы микронных размеров.

Наносuspензия магнетита в этаноле медленнее образует осадок, чем водная. Так, например, если из водной suspension осадок образуется уже через один час, то спиртовая suspension дает осадок по истечении примерно суток. И в том и другом случае наблюдаются хлопьевидные образования.

Размерное распределение продуктов абляции магнетита в этаноле сразу после эксперимента по ее получению приведено на рисунке 2. Как можно видеть, подавляющее большинство продуктов абляции имеет размер до 100 нм (более 90%).

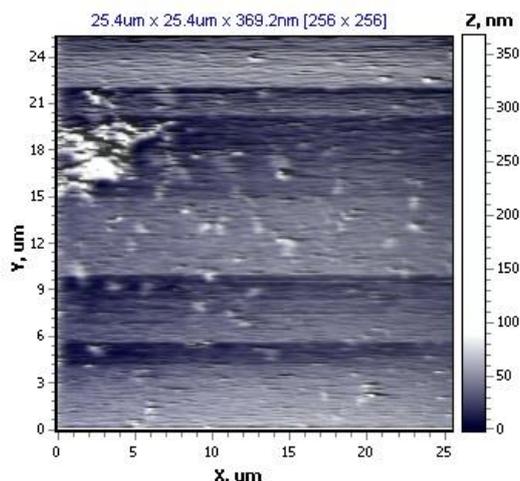


Рисунок 1 – Характерные изображения частиц, полученных импульсной лазерной абляцией магнетита в этаноле лазерными импульсами с длиной волны равной 532 нм и плотностью мощности излучения $Q = 1,7 \times 10^8 \text{ Вт/см}^2$ (поле сканирования $24 \times 24 \text{ мкм}$)

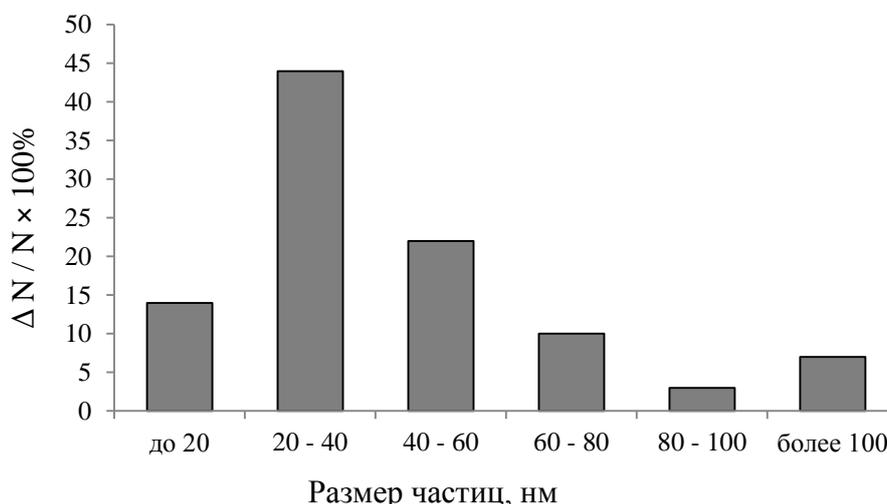


Рисунок 2 – Гистограмма распределения по размерам частиц, полученных при абляции магнетита в этаноле лазерными импульсами с длиной волны равной 532 нм и плотностью мощности излучения $Q = 1,7 \times 10^8 \text{ Вт/см}^2$

Основное количество продуктов лазерной абляции магнетита в этаноле представляет собой устойчивые агрегаты размером от 20 до 40 нм (по оси Z на АСМ-изображениях). Доля крупных частиц (более 100 нм.) незначительна и составляет около 7 %.

Таким образом, установлено, что импульсная лазерная абляция магнетита в этаноле позволяет получать наносuspензии с содержанием частиц нанометрового и субмикронного уровня. Получены данные о форме и размерных характеристиках частиц. Выявлено, что при абляции минеральной мишени формируются частицы как близкие по форме к сферическим, так и частицы неправильной формы.

Литература

1. Лещик, С.Д. Формирование ультрадисперсных структур при импульсной лазерной абляции титана и свинца / С.Д. Лещик [и др.] // Весн. ГрДУ імя Я. Купалы. Сер 6, Тэхніка. – 2017. – Т.7. – № 2. – С.18–26.

2. Егунова, О. Р. Магнитные наночастицы магнетита в разделении и концентрировании / О.Р. Егунова [и др.] // Изв. Сарат. ун-та. – 2014. – Т.14. – №. 4. – С. 27–35.

Е.В. Щуплова (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Т.В. Тихоненко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ И УЧЕТА VPN КЛЮЧЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ OPENVPN

Корпоративные компьютерные сети в настоящее время являются неотъемлемой частью современных компаний. При построении таких сетей важное значение уделяется обеспечению информационной безопасности. В связи с чем возрастает актуальность использования технологий защищенных виртуальных каналов, и в частности – VPN (англ. Virtual Private Network – виртуальная частная сеть).

На сегодняшний момент существует множество сервисов на основе VPN. Однако большинство из этих решений отличаются достаточно невысокой степенью автоматизации, требуют квалифицированного обслуживающего персонала и не дают возможности для конечного потребителя самостоятельно управлять сертификатами удаленного доступа для удовлетворения своих потребностей. Поэтому главной целью разработки системы генерации и учета VPN ключей пользователей являлось создание веб-приложения, позволяющего пользователю автономно управлять ключами VPN для подключения к необходимым серверам.

В качестве основной была использована технология OpenVPN – свободная реализация технологии VPN с открытым исходным кодом. Эта реализация доступна практически для всех распространенных платформ, безопасна и гибка в настройке. Это надежное и проверенное временем решение.

Для создания приложения были выбраны следующие инструменты:

- высокоуровневый язык программирования Python;
- микрофреймворк для создания веб-приложений Flask;
- реляционная система управления базами данных Oracle MySQL;
- программное обеспечение для автоматизации развёртывания и управления приложениями в среде виртуализации Docker CE;

– открытый шаблон Bootstrap 3 Admin Template (Gentelella Admin).

Использование данной информационной системы позволяет организации-заказчику услуг VPN самостоятельно управлять полным жизненным циклом VPN-сессии – генерировать сертификаты ключей удаленного доступа, отзываться их по своему желанию, видеть полный список ключей и их статусы. В то же время сохраняется возможность управления выданными сертификатами удаленного доступа и со стороны организации-поставщика услуг VPN.

Готовый программный продукт обладает удобным и понятным для пользователя интерфейсом, является кроссплатформенным и не требует специализированных знаний. Поэтому разработанная система автоматической генерации и учета VPN ключей пользователей очень актуальна для решения корпоративных задач малого и среднего бизнеса.

А.А. Юсенко (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **В.А. Лиопо**, д-р физ.-мат. наук, профессор

АКТИВНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ ЦЕНТРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МОДИФИКАТОРОВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Для объяснения взаимодействия поверхности кристалла с различными молекулярными приповерхностными плёнками, были выбраны кристаллы слюды, так как они позволяют получить молекулярно-ровные поверхности и рассматривать их взаимодействие с молекулами воды, так как её молекулы обладают явно выраженным дипольным моментом.

Появление электрически заряженных областей на ювенильных поверхностях диэлектриков (электростатическая мозаика) может быть объяснено разницей дефектности структур кристалла по обе стороны от плоскости раскола [1]. В этом случае область раскола в начальный момент рассматривается как потенциальный барьер, по обе стороны от которого находятся прилегающие к нему различные по высоте энергетические уровни (рисунок 1) [2]. Следовательно, коэффициент проницаемости барьера зависит от направления движения заряда. Именно поэтому на ювенильных поверхностях диэлектриков образуются участки с положительными и отрицательными зарядами (ячейки мозаики).

Для объяснения появления зарядовой мозаики в металлах необходимо рассмотреть потенциалы приповерхностных областей кристаллов. Волновая функция электрона в объеме и вблизи границы кристалла, когда поверхность не оказывает на электрон влияния, и поверхностная

волновая функция различны при любой форме поверхностного потенциала [2].

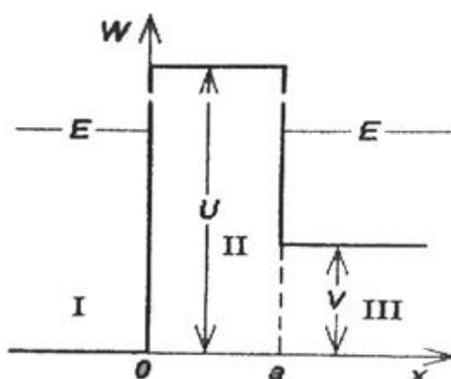


Рисунок 1 – Схема возникновения зарядов на поверхности диэлектрика вследствие барьерного эффекта

В качестве примера на рисунке 2 приведены модельные функции изменения значения потенциала вблизи границы кристалла [2].

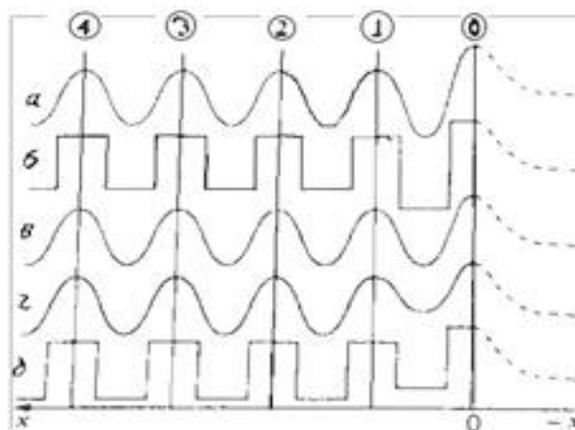


Рисунок 2 – Примеры внутренних и приповерхностных потенциалов $U(x)$, (сплошная линия). Пунктир - изменение потенциала во внешней, прилегающей к кристаллу области, а, б – уменьшение $U(x)$ перед поверхностным барьером, в - неизменный потенциал вплоть до поверхности, г, д - увеличение потенциала перед поверхностным потенциальным барьером. Поверхность кристалла - при $x = 0$

Экспериментальные исследования показывают, что поверхность, как двумерный дефект, может оказывать влияние на глубину до 5 атомных слоев [1].

Энергетические состояния электронов на поверхности и в объеме кристалла различны. Именно эта ситуация является наиболее вероятной, так как на поверхности кристаллов создаются дополнительные энергетические (таммовские) уровни, то есть поверхностная энергетическая структура действительно отличается от объемной [3]. Если адсорбент-адсорбат образуют соединение, то атомные уровни электронов в металле вырождаются, образуя зону конечной ширины [3].

При абсолютном нуле, когда суммарная энергия всех электронов должна быть наименьшей, то все электроны должны были опуститься на нижний уровень. Но с учетом принципа Паули, электронами будут заполнены все уровни до максимального значения, называемого уровнем Ферми. В общем случае уровень Ферми может быть различным для разных кристаллографических направлений. При температурах, не превышающих комнатных, наибольшая энергия электрона в металле соответствует уровню Ферми E^F . Очевидно, что вне кристалла потенциал в приповерхностных областях не равен нулю, т.е. $U(-r) \neq 0$ при малых $-r$. Знак “минус” говорит о том, что рассматривается внешняя область кристалла. При повышении температуры отдельные электроны могут пройти через поверхностный барьер. В этом случае говорят о термоэлектронной эмиссии [2].

Различие плоскостей с неодинаковыми кристаллографическими индексами проявляется в разных высотах уровней Ферми E_j^F ($j = 1; 2$) (рисунок 3), а также в том, что работы выхода электронов с этих поверхностей тоже различны, как и расстояние между атомными слоями. При контакте этих двух поверхностей между ними возникает разность потенциалов $\Delta = \Delta W/l$, которая приведет к перемещению электронов из области с более высоким уровнем Ферми (E_2^F на рисунке 3) в область с более низким E_1^F [2].

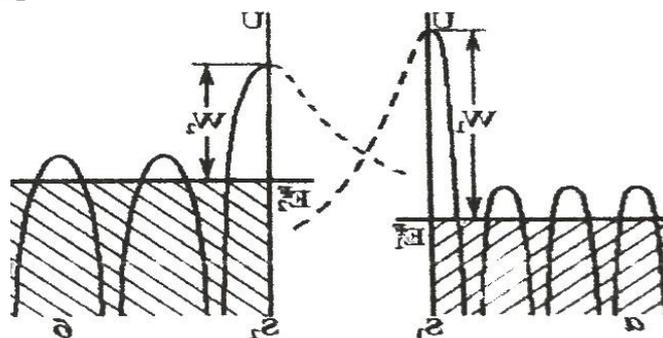


Рисунок 3 – Пример контакта грани-металлических кристаллитов с различными уровнями Ферми

Кроме указанных причин возникновения поверхностно активных центров, следует назвать нескомпенсированность атомных связей в поверхностном слое, и стохастическое распределение зарядов при создании nano-частиц.

Именно этим объясняется модифицирующее действие нанокристаллов в полимерных композитах.

Литература

1. Лиопо В.А., Авдейчик С.В. / Полимер-силикатные материалы: физикохимия, технология, применение/ с.104-109.

2. Лиопо В.А., Михайлова Л.В., Овчинников Е.В. Механизмы формирования структуры нано-композиционных материалов на основе полимерных и олигомерных матриц/ Том 2 2012г. С.206-222.

3. Н. Ашкрофт, Н. Мэрмин/ Физика твердого тела/ Т.2 М.: Наука 1986 г./ 149с.

П.С. Яночкин (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В.Е. Гайшун**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ SiO_2 , TiO_2 И ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Введение. В современном мире нанотехнологии развиваются стремительными темпами. Одним из перспективных направлений в этой отрасли является синтез тонкопленочных покрытий, которые могут применяться для нужд оптики и оптоэлектроники, а также исследование оптических свойств полученных материалов. Известно, что SiO_2 покрытия могут характеризоваться хорошими оптическими показателями [1,2]. В данной работе исследовано влияние на эти показатели добавления переходных элементов в состав SiO_2 и TiO_2 золь-гель покрытий.

Использование золь-гель технологии позволяет значительно снизить стоимость изготавливаемых покрытий за счет более простого аппаратного оформления по сравнению с покрытиями, наносимыми с использованием дорогостоящих и сложных технологий, например, магнетронного напыления [3].

Методика исследований. Пленкообразующие растворы были приготовлены из изопророксида и этоксида титана, циркония и кремния следующим образом. Требуемое количество этоксида титана [Titan (IV) etoxidTi(OC₂H₅)₄], пропоксида циркония [Zirconium (IV) propoxideZr(ON₂CH₂CH₃)₄] и ТЭОСа [Si(C₂H₅O)₄] смешивали с требуемым количеством изопропилового спирта, перемешивали и добавляли в полученную смесь концентрированную азотную кислоту.

Формирование пленок на поверхности подложек проводилось методом центрифугирования с использованием установки для прецизионного нанесения пленок APOGEE.

Затем полученные образцы помещались в печь, где проводилась поэтапная термообработка при температуре 400 °С. Термообработка проходила в течение 30 минут, затем стёкла извлекались и остывали на воздухе.

Исследование оптических свойств полученных образцов проводилось с помощью флуориметра Solar SM-2203, используя который были

сняты значения коэффициента поглощения изготовленных тонких пленок, синтезированных золь-гель методом. Измерения проводились с шагом длины волны в 5.0 нм, спектральная ширина щели равна 1.0 нм.

Результаты и их обсуждение. На рисунках 1 и 2 представлены коэффициенты поглощения для пленок на основе SiO_2 и $\text{TiO}_2+\text{ZrO}_2$, легированных серебром и медью. Коэффициенты поглощения пленок на основе диоксида кремния меньше коэффициентов поглощения покрытий на основе $\text{TiO}_2+\text{ZrO}_2$.

При легировании раствора наночастицами серебра (рисунок 1) можно заметить отчетливый плазмон поглощения на длине волны 420 нм после термической обработки в течение 30 минут, в отличие от легирования растворов медью (рисунок 2). При добавлении меди в состав SiO_2 покрытия (рисунок 2) происходит относительно плавное снижение значений коэффициентов поглощения с увеличением длины волны.

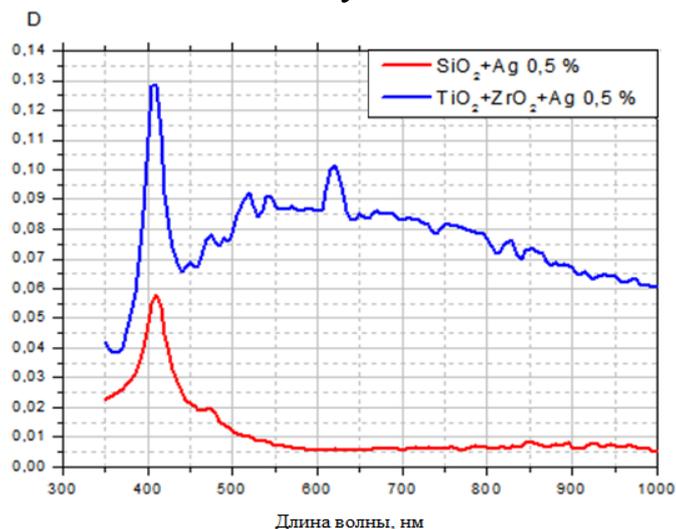


Рисунок 1 – Коэффициенты поглощения $\text{SiO}_2 + \text{Ag}$ (0,5 масс%) и $\text{TiO}_2+\text{ZrO}_2+\text{Ag}$ (0,5 масс%)

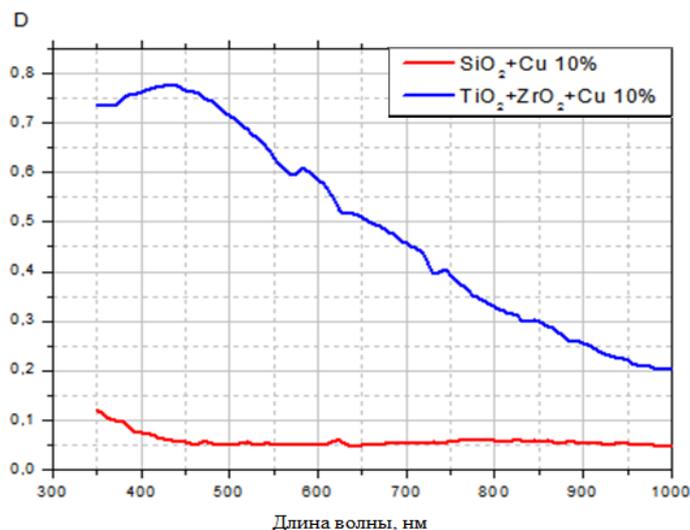


Рисунок 2 – Коэффициенты поглощения $\text{SiO}_2 + \text{Cu}$ (10 масс %) и $\text{TiO}_2+\text{ZrO}_2+\text{Cu}$ (10 масс%)

Таким образом золь-гель технология была успешно применена для получения тонких пленочных покрытий из требуемых элементов. А полученные покрытия на основе диоксида кремния обладают низкими коэффициентами поглощения, благодаря чему они могут использоваться в областях оптики и оптоэлектроники.

Литература

1. Study on preparation and characters of one multi-function SiO₂ film / J. Wang [et al.] // Physics Procedia – 2011. – №18. – P. 143–147.

2. Preparation of SiO₂ anti-reflection coatings by sol-gel method / W. Zhang [et al.] // Energy Procedia – 2017. – №130. – P. 72–76.

3. 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.

Э.А. Янушкевич (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.В. Бабкин**, директор ООО «Айтибо»

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ТЕСТИРОВАНИИ РАБОТЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Тестирование программного обеспечения является составной частью жизненного цикла разработки. Тестирование можно разделить на статическое, при котором предполагается, что программный код не будет выполняться и динамическое, которое предполагает запуск программного кода, при котором может производиться анализ поведения программы во время ее работы. В большинстве компаний отсутствует система, которая позволяет провести автоматизацию динамического тестирования клиентской и серверной части на сценарии описанные пользователем. К такому сценарию можно отнести:

1) Тестирование производительности (проводится с целью определения, как быстро работает система или ее часть под определенной нагрузкой).

-нагрузочное тестирование (предназначено для проверки системы на работоспособность при стандартных нагрузках и для определения максимальной, при которой работоспособность системы не будет нарушена.

-стресс тестирование (предназначено для проверки системы на работоспособность при нестандартных нагрузках и для определения максимально возможного пика, при которых системы работает правильно и

для выявления результатов, при которых система переходит в нерабочее состояние.

2) Регрессионное тестирование (проводится с целью проверить, не влияет ли новый функционал или исправленные дефекты на существующую функциональность приложения).

3) Автоматизированное тестирование (при котором основной функционал выполняется автоматически при помощи инструментов для автоматизированного тестирования).

Учитывая, что в открытом доступе нету приложения, которое сможет объединить в себе тестирование производительности, регрессионного тестирования и автоматизированного тестирования, при котором пользователь смог задавать соответствующий сценарий для различных приложений, было принято решение написать собственное приложение для динамического анализа и автоматизированного тестирования веб-приложений. В качестве языка программирования было принято решение использовать язык Java, а для функционального тестирования был выбран Selenium, так как он один из самых лучших бесплатных инструментов для функционального тестирования.

На основании проведенного исследования принято решение об актуальности разрабатываемой системы.

Е.Ю. Ярошевич (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **В.Г. Сорокин**, канд. техн. наук, ст. преподаватель

ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ SMC и BMC КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В течение последних нескольких десятков лет композитные материалы заняли ведущее место в авиакосмической, транспортной, в том числе в автомобильной, электротехнической и многих других областях промышленной деятельности. SMC и BMC композиционные материалы делают возможным изготовление и реализацию изделий, отвечающих высоким требованиям к механическим нагрузкам и термостойкости, причем это могут быть и крупногабаритные детали и элементы [1].

SMC (Sheet Mould Compound) – листовый материал (рисунок 1), содержащий смолу, наполнители, армирующие волокна. SMC – материал, который может перерабатываться методом прессования при повышенных температурах 120–160 °С. С двух сторон SMC защищен полимерной пленкой [1-3].



Рисунок 1 – SMC материал

ВМС (Bulk Mould Compound) – материал, представляющий собой особую пасту, содержащую полиэфирную или винилэфирную смолу, наполнители, армирующие волокна. ВМС – материал перерабатывается прессованием или инъекцией [4, 5].

Фактически SMC и ВМС материалы имеют одинаковый состав и отличаются друг от друга технологией производства и переработки в готовые изделия.

Благодаря своей небольшой массе, SMC-материал нашел широкое применение при конструировании и изготовлении кузовных элементов, как грузовых машин, так и легковых автомобилей. Простота формовки и высокая прочность дают возможность совмещать и объединять сложные конструктивные элементы без использования болтовых или сварных соединений.

В работе предложена технология изготовления SMC-материала с повышенными параметрами прочности поверхностного слоя для изготовления бампера легкового автомобиля. Как правило, этот элемент часто подвергается ударной и деформационной нагрузке, поэтому повышение параметров прочности на сжатие, изгиб с сохранением высоких характеристик эластичности для этого нагрузке.

На СЗАО «Липласт–СПб», которое производит изделия из стеклопластика и полимерных материалов для автотракторной техники, были изготовлены образцы для исследований и испытаний в виде пяти листов (многослойных), у которых верхний слой был сформирован с применением углеродного волокна производства ОАО «СветлогорскХимволокно».

При изготовлении образцов использовали специализированное оборудование, принципиальная схема которого представлена на рисунке 2.

Далее были проведены сравнительные испытания образцов для определения плотности, предела текучести при растяжении, прочности при разрыве, относительного удлинения, температуры хрупкости, стой-

кости к растрескиванию, электрических характеристик и цвета окрашенных композиций.

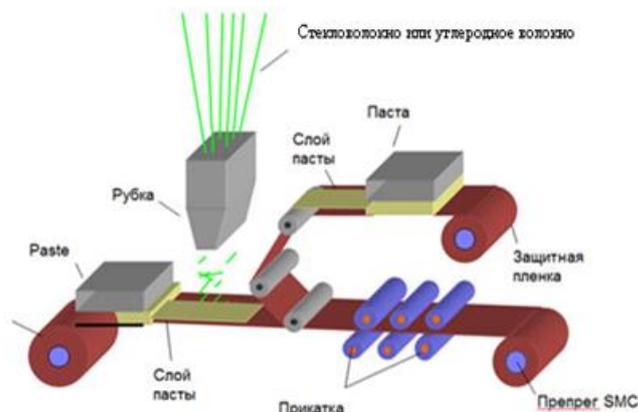


Рисунок 2 – Схема производства SMC композиционного материала

Прочность при изгибе определяется по ГОСТ 4648–71.

Прочность на изгиб является мерой, показывающей, насколько хорошо материал сопротивляется изгибу, или "какова жесткость материала".

Испытания на растяжения и сжатие проводили по ГОСТ 11262–80.

Для испытаний использовали разрывную машину ИР 5047–50. На ней размещали устройство с нагружающим наконечником и опорами. Расхождение и сближение их производили с постоянной скоростью.

Образцы, изготовленные методом механической обработки или прессованием, имели форму «лопатки».

Испытания образцов на ударную прочность по Шарпи осуществляли по ГОСТ 4647–80.

Проведенные испытания показали, что «сэндвич», в котором присутствует углеродное волокно, по сравнению с традиционным SMC-материалом, показал значительное повышение параметров предела текучести при растяжении, прочности при разрыве и сжатии, относительного удлинения, температуры хрупкости, стойкости к растрескиванию.

Предложенный метод повышения эксплуатационных характеристик автомобильного бампера даёт ощутимый экономический эффект, повышает качество конечного продукта и может быть реализован в технологическом процессе изготовления кузовных элементов на готовых изделиях из этих материалов путём оптимизации технологии их изготовления на СЗАО «Липласт–СПб».

Литература

1. Карбер, М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. Пособие / М.Л. Карбер [и др.] // под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

2. Крыжановский, В.К. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский [и др.]. – СПб: Профессия, 2004. – 464 с.

3. Композиционные материалы SMC/BMC: [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.tnrc.ru/rus/produkcija/smc-bmc/> – Дата доступа: 15.03.2018.

4. BMC и SMC – промышленные композиционные конструкционные материалы. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://plastinfo.ru/information/articles/320/> – Дата доступа: 15.03.2018.

5. BMC и SMC композиционные материалы. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: http://www.composite.ru/tehnologii/smc_i_bmc/ – Дата доступа: 18.03.2018.

Секция 2. Моделирование физических процессов

Председатели:

Андреев Виктор Васильевич, д-р физ.-мат. наук, доцент.

Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Н.Т. Авласевич (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А.М. Ляликов**, д-р физ.-мат. наук, профессор

РАЗДЕЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МАКРОДЕФЕКТОВ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ РЕШЕТОК СОСТАВНОГО ДИФРАКЦИОННОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

Большой класс дифракционных оптических элементов (ДОЭ), применяемых в измерительной технике, составляют различные типы решеток. Основой ДОЭ является пространственно-периодическая или квазипериодическая структура его поверхности или показателя преломления. Наличие многомерной периодической структуры в виде композиции совмещенных в пространстве элементарных периодических структур сильно усложняет дифракционный спектр такого оптического элемента и, соответственно, затрудняет процедуру контроля. Для дифракционных решеток такого вида при измерительном контроле их качества требуется выявление дефектов отдельной элементарной структуры. Поэтому необходима отдельная визуализация макродефектов элементарных решеток составного ДОЭ, которая даст возможность исключить влияние на результат контроля других элементарных структур.

В данной работе рассмотрена дифракция света на ДОЭ, представляющем собой композицию подложки и нескольких совмещенных элементарных дифракционных решеток, и показана возможность отдельной визуализации макродефектов отдельной элементарной решетки. В случае составного ДОЭ, представляющего собой тонкую прозрачную подложку определенной формы с выполненной в ней двумерной дифракционной решеткой, амплитудный коэффициент пропускания такого элемента можно представить в виде произведения комплексных пропусканий подложки и пропусканий первой и второй элементарной решеток. Обозначим периоды скрещенных элементарных амплитудных решеток T_1 и T_2 . Для упрощения математических записей предположим, что штрихи первой и второй решеток ориентированы соответственно параллельно осям y и x системы координат, совмещенной с плоскостью дифракционного оптического элемента. Ось z нормальна к поверхности составного дифракционного элемента.

Амплитудный коэффициент пропускания такого дифракционного оптического элемента можно представить в виде:

$$\tau(x, y) = \exp i[\psi(x, y)] \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \tau_{nm} \exp i \left\{ \frac{2\pi n x}{T_1} + n[\varphi_1(x, y)] \right\} \times \exp i \left\{ \frac{2\pi m y}{T_2} + m[\varphi_2(x, y)] \right\}, \quad (1)$$

где $\psi(x, y)$ – функция, пропорциональная толщине $\Delta z(x, y)$ подложки, τ_{nm} – коэффициенты (n и m принимают целые значения $0, \pm 1, \pm 2, \dots$), $\varphi_1(x, y)$ и $\varphi_2(x, y)$ – функции, описывающие дефекты первой и второй решеток, связанные с отклонением периодов структур от нормы.

При освещении дифракционного оптического элемента коллимированным пучком когерентного света с действительной амплитудой a распределение освещенности $A_\Sigma(x, y)$ на выходе дифракционного элемента определится из выражения

$$A_\Sigma(x, y) = a\tau(x, y). \quad (2)$$

В этом случае дифракционная картина, наблюдаемая в задней фокальной плоскости объектива, будет формироваться набором волн

$$A_\Sigma(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} A_{nm}(x, y). \quad (3)$$

На рисунке 1 представлено схематическое изображение дифракционных максимумов, сформированных волнами (3). Первая цифра в скобке соответствует индексу n , а вторая – m .

Используя выражения (1) – (3) можно показать, что волны $A_{n0}(x, y)$, которые расположены на горизонтальной прямой, проходящей через максимум $A_{00}(x, y)$, несут информацию только об функции $\varphi_1(x, y)$, описывающие дефекты первой решетки. Соответственно – волны $A_{0m}(x, y)$, которые расположены на вертикальной прямой, проходящей через максимум $A_{00}(x, y)$, несут информацию только о функции $\varphi_2(x, y)$, описывающие дефекты второй решетки. Вне отмеченных прямых расположены дифракционные максимумы, сформированные световыми волнами, испытавшими дифракцию одновременно на структурах первой и второй решеток. Можно показать, что эти волны содержат фазовую информацию, отображаемую в виде $\{[n\varphi_1(x, y) + m\varphi_2(x, y)]\}$.

На фотографии рисунок 2 приведена картина дифракционного спектра дифракционного оптического элемента в виде скрещенных

элементарных решеток [1]. Стрелками «1» и «2» отмечены соответствующие порядки дифракции волн на первой и второй структурах решеток, соответственно вида $A_{n0}(x, y)$ и $A_{0m}(x, y)$.

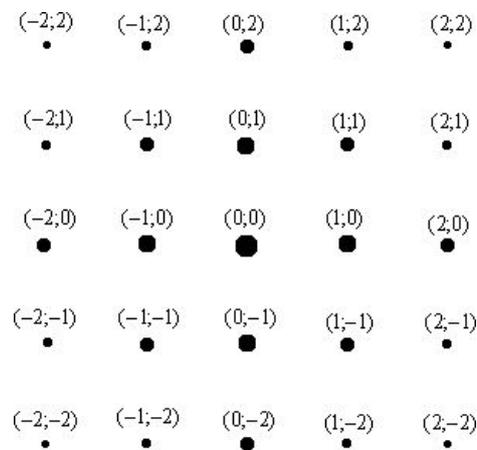


Рисунок 1 – Схематическое изображение распределения интенсивности в фокальной плоскости объектива при дифракции света на двумерной решетке

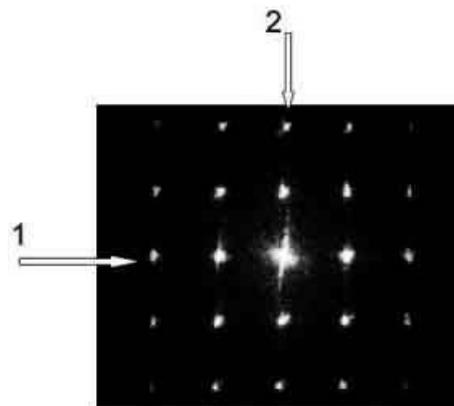


Рисунок 2 – Фотография дифракционного спектра дифракционного оптического элемента.

Для отдельной визуализации дефектов, как подложки, так и отдельных элементарных решеток дифракционного оптического элемента используется фильтрация соответствующих дифракционных порядков и различные интерференционные способы, используемые в голографической интерферометрии фазовых объектов для отображений поведения функций $\varphi_1(x, y)$ и $\varphi_2(x, y)$ в виде интерференционных или теневых картин.

Литература

1. Визуализация дефектов отдельной компоненты составного дифракционного оптического элемента / Н. Т. Авласевич, А. М. Ляликов // Проблемы физики, математики и техники. – 2017. – № 3(32) – С. 7–13.

А.В. Астрейко (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Д.Г. Кроль**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАСЧЕТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА МЕТОДОМ ИНВЕРСИИ

Современное развитие машиностроения невозможно без создания новых, более совершенных и точных механизмов и машин. На современном этапе более 90% механизмов в машиностроении содержат плоские рычажные механизмы, в состав которых входят группы Ассур 2 класса. Механизмы, где имеются группы Ассур классов выше второго, отличающиеся более сложными законами движения рабочих органов, применяются не столь широко [1]. Успешному применению подобных механизмов длительное время препятствовало отсутствие соответствующих алгоритмов анализа и синтеза. В данной работе мы частично решаем эту проблему для механизмов с группой Ассур 3-го класса. Цель работы – определение кинематических параметров механизма с группой Ассур 3 класса.

Рассмотрим плоский рычажный механизм, рисунок 1. В данном механизме звено 2 является входным звеном. Далее этот механизм будем называть первичным. Первичный механизм состоит из двух структурных групп: начального механизма $I(1,2)$ и группы Ассур 3-го класса $III(3-6)$.

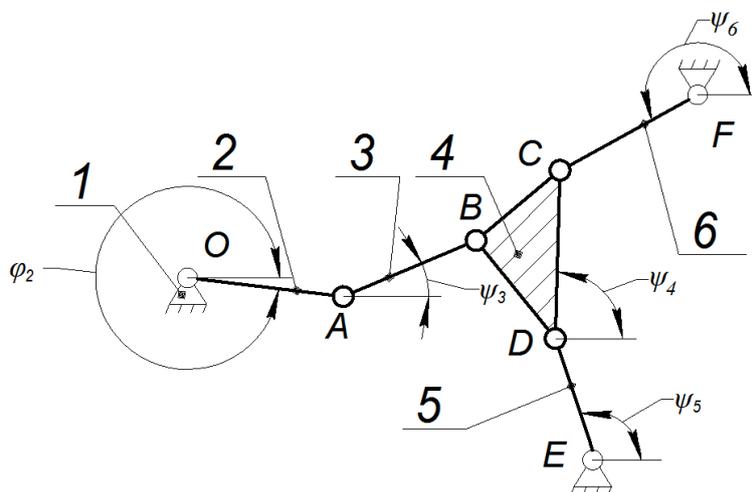


Рисунок 1 – Расчетная схема механизма

Формула строения первичного механизма имеет вид:

$$I(1,2) \rightarrow III(3-6) \quad (1)$$

Решение задачи кинематики первичного механизма связано с известными трудностями на самом первом этапе кинематического

анализа: определения положений звеньев механизма, т.е. угловых координат $\psi_3, \psi_4, \psi_5, \psi_6$. При аналитическом способе кинематического анализа координаты $\psi_3, \psi_4, \psi_5, \psi_6$ определяются из системы нелинейных уравнений, имеющих несколько вариантов решений (по количеству сборок механизмов). В общем случае, см. например [2], для рассматриваемой группы Ассур 3-го класса число сборок равно шести.

Для упрощения и дальнейшего решения задачи кинематического анализа применим метод инверсии [3]. Суть метода заключается в замене входного звена, а при необходимости в одновременной замене входного звена и стойки. Для механизма, см. рисунок 1, назначим звено 5 входным, т.е. этот механизм будет состоять уже из трех структурных групп: начального механизма $I(1,5)$ и двух групп Ассур 2-го класса. В дальнейшем будем называть этот механизм обращенным. Формула строения обращенного механизма имеет вид:

$$I(1,5) \rightarrow II(4,6) \rightarrow II(2,3) \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что обращенный механизм является типовым, для которого разработаны алгоритмы кинематического анализа [4]. Для обращенного механизма все кинематические характеристики будем обозначать верхним индексом *. Задаваясь положением ψ_5^* звена 5, находим аналитически либо графически (методом планов) угловые координаты звеньев $\phi_2^*, \psi_3^*, \psi_4^*, \psi_6^*$. После определения положений звеньев механизма решаем задачу о скоростях и ускорениях. Для этого воспользуемся, например, методом планов для кинематического анализа механизмов с группами Ассур 2-го класса. Выбирая произвольно значение угловой скорости 5-го звена $\omega_5^* = \text{const}$, строим план скоростей и план ускорений механизма (планы строим для обращенного механизма). Из плана скоростей находим угловые скорости всех звеньев: $\omega_2^*, \omega_3^*, \omega_4^*, \omega_6^*$. Из плана ускорений определяем угловые ускорения звеньев: $\varepsilon_2^*, \varepsilon_3^*, \varepsilon_4^*$ и ε_6^* . Первую передаточную функцию от звена i к звену 2 определяем по формуле:

$$\frac{d\psi_i}{d\phi_2} = \frac{\omega_i^*}{\omega_2^*}. \quad (3)$$

Вторую передаточную функцию от звена i к звену 2 находим по формуле:

$$\frac{d^2\psi_i}{d\phi_2^2} = \frac{\varepsilon_i^* - (d\psi_i/d\phi_2) \cdot \varepsilon_2^*}{(\omega_2^*)^2}. \quad (4)$$

Здесь $i = 3, 4, 5, 6$. Уравнения (3) и (4) определяют кинематические передаточные функции звеньев, которые в общем случае (см. например

[4]) не зависят от скорости и ускорения входного звена и совпадают для первичного и обращенного механизмов.

Угловая скорость и угловое ускорение звена первичного механизма определяются по формулам [4]:

$$\omega_i = \frac{d\psi_i}{d\varphi_2} \omega_2, \quad \varepsilon_i = \frac{d^2\psi_i}{d\varphi_2^2} \omega_2^2 + \frac{d\psi_i}{d\varphi_2} \varepsilon_2, \quad i = 3, 4, 5, 6. \quad (5)$$

Таким образом, с помощью метода инверсии, получены кинематические параметры звеньев [см. (5)] механизма 3-го класса.

Вывод. Кинематический анализ механизмов 3-го класса может быть выполнен путем условной замены входного звена с одновременным понижением класса механизма до 2-го типовыми алгоритмами кинематического анализа групп Ассур 2-го класса.

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергетические системы, процессы и технологии 2.9». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.

Литература

1. Джолдасбеков У.А. Графо-аналитические методы анализа и синтеза механизмов высоких классов. – Алма-Ата, 1983, 256 с.
2. Пейсах Э. Е. Определение положений звеньев трехповодковой и двухповодковой четырехзвенных групп Ассур с вращательными параметрами. – Машиноведение. – 1985. – № 5. – С. 55–61.
3. Shai O., Mohr E. Transforming engineering knowledge through graph representations: transferring the Willis method to linkages and trusses // Engineering with computers. – 2004. – Vol. 20. – Iss. 1. – P. 2–10.
4. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для вузов / М. З. Коловский [и др.]. - 2-е изд., испр. - Москва: Академия, 2008. – 558 с.

Е.А. Берёза (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.Ю. Иванов**, д-р физ.-мат. наук, профессор

РАННИЕ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПЛАЗМЕННОГО ФАКЕЛА ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА МЕТАЛЛ

Статья посвящена исследованию динамики изменения плотности и скорости движения различных частиц на ранних стадиях формирования лазерного факела при воздействии импульсного лазерного излучения умеренной интенсивности на металлический образец.

Исследование воздействия лазерного излучения на твердое тело, ставшее актуальным практически одновременно с появлением лазеров,

в наши дни является одним из приоритетных направлений в науке и уже привело к появлению ряда новых отраслей техники и технологий [1]. Тем не менее, в настоящее время доля лазерного оборудования, используемого в народном хозяйстве, невелика. Одним из важнейших факторов, сдерживающих широкое внедрение лазеров в промышленность и другие отрасли экономики, является недостаточный уровень понимания основных физических процессов, определяющих специфику взаимодействия лазерного излучения с веществом и, в частности, возникновения и развития лазерного факела [2].

При увеличении плотности мощности потока лазерного излучения удельная поглощенная энергия становится сравнимой с удельной теплотой испарения вещества мишени. Вследствие этого оно начинает интенсивно испаряться (испарительный режим воздействия лазерного излучения на вещество).

При дальнейшем увеличении плотности мощности светового потока происходит оптический пробой паров вещества мишени. У поверхности облучаемого образца образуется плазменный сгусток, причем из-за экспоненциального нарастания степени ионизации и, следовательно, коэффициента поглощения лазерного излучения. Образование плазменного слоя имеет характер резкой «вспышки» (лазерный факел).

Начало образования плазменного сгустка при действии светового излучения на поверхность твердого тела имеет эрозионную природу. Это подтверждается слабым изменением давления у мишени в момент плазмообразования при замене указанного газа. Окончанию испарительного режима и возникновению плазмы соответствует резкий подъем температуры и первый пик давления, наблюдаемого у мишени. Уменьшение давления у мишени после образования плазменного сгустка связано с экранировкой облучаемого образца от излучения лазера. В результате этого испарение замедляется, образуется первый (испарительный) максимум давления. Размеры области первоначального плазменного образования определяются диаметром пятна лазерного излучения.

Сформировавшаяся в момент «вспышки» ударная волна в ходе своего распространения увлекает в движение массы холодного газа, окружающего мишень. Плазменное облако также начинает расширяться. Механизм развития лазерного факела на этой стадии зависит от плотности мощности лазерного излучения и от параметров газа, окружающего мишень (его начальной плотности и т.п.).

Ударные волны, формирующиеся в области вблизи облучаемого образца, действуют на предварительно прогретую в ходе доиспарительного и испарительного режимов области мишени. Это приводит к ее деформации.

Известно, что при лазерном воздействии на образец с параметрами излучения (длиной волны, пространственно-временной структурой) у поверхности мишени формируется лазерный факел (плазменное образование). При лазерном воздействии на металл, окруженный газом при давлении 10^5 Па, лазерный факел может достигать размеров в несколько сантиметров. Исследование проводится современными методами численного решения систем дифференциальных уравнений. Проводятся плазодинамические расчеты, описывающие ранние стадии развития плазменного образования, формирующегося при воздействии лазерного излучения на металлические образцы. Имеют место компоненты – продукты эрозии облучаемого образца, в нашем случае – плотности газа (плазмы). Уравнения движения этих компонент имеют вид:

$$\rho \frac{\partial \vec{g}}{\partial t} + \rho(\vec{g} \cdot \nabla)\vec{g} = -\nabla p$$

(уравнение Эйлера),

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{g}) = A(t)\delta(\vec{r} - \vec{r}_0)$$

(уравнение непрерывности).

Здесь ρ – плотность газа (плазмы), \vec{g} – скорость движения частиц, p – парциальное давление газа (плазмы), $A(t)$ – плотность мощности продуктов абляции, $\vec{r} - \vec{r}_0$ – уравнение границы плазменного факела [3].

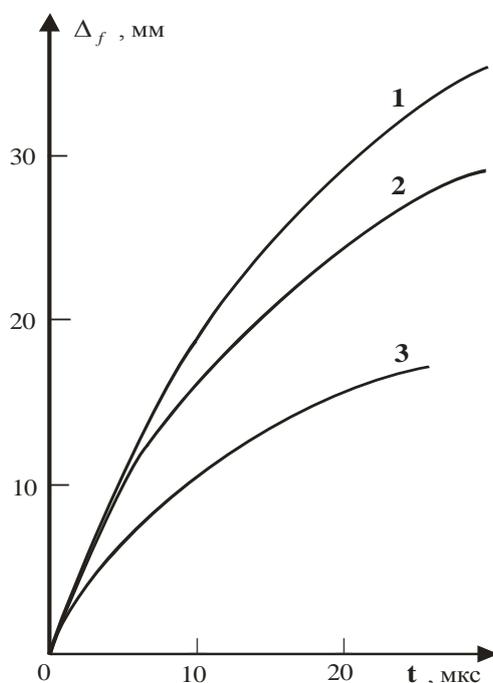


Рисунок 1 – Временные зависимости смещения фронта ударной волны (кривая 1), ЛЭПФ (кривая 2) и светящегося плазменного образования (кривая 3) от поверхности алюминиевого образца, подвергающегося воздействию лазерного излучения с плотностью потока 22 МВт/см^2

Расчет данных уравнений показывает, что в первые 10 мкс сразу после воздействия возникает интенсивное (взрывное) испарение мишени, что приводит как к образованию радианной плазмы, так и к формированию ударных волн из-за очень высокой плотности газа (плазмы).

На рисунке 1 представлены временные зависимости смещения фронта ударной волны (кривая 1) и фронта лазерной эрозионной плазмы (кривая 2) от поверхности металлических образцов. На этом же рисунке приведена временная зависимость смещения фронта светящегося плазменного образования (кривая 3).

Литература

1. Иванов, А.Ю. Акустическая диагностика процесса лазерной обработки материалов: монография / А.Ю.Иванов. – Гродно: ГрГУ, 2007. – 208 с.

2. Гладуш, Г.Г. Особенности сварки металлов излучением импульсно-периодического Nd:YAG-лазера малой мощности / Г.Г. Гладуш, А.Ф. Глова, С.В. Дробязко // Квантовая электроника. – 2006. – Т. 36, № 11. – С.1080 – 1082.

3. Tarasenko, N.N. Laser treatment of nanoparticles in liquids. / N.N. Tarasenko, A.V.Butsen, N.V. Tarasenko, V.V.Pankov // VII International conference “Plasma physics and plasma technology” (Minsk, Belarus, September 17 – 21, 2012). Contributed papers. In two volumes. – Minsk, “Kovcheg”. – 2012. – Volume II. – P. 479–482.

А.В. Бужан (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В.Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ТЕОРЕМА ГАУССА И ЗАРЯДЫ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Использование теоремы Гаусса для нахождения поля, создаваемого системой симметрично расположенных зарядов, позволяет избежать вычисления сложных интегралов. Однако, при нахождении поля, создаваемого зарядами, находящимися на некоторой поверхности, в точке, принадлежащей этой поверхности, теорема Гаусса напрямую неприменима. В таких случаях следует произвести непосредственный расчёт электрической напряжённости. Произведём такой прямой расчёт электрического поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной поверхностью цилиндра радиуса ρ_0 :

а) внутри цилиндра; б) вне цилиндра; в) на поверхности цилиндра.

Ось Oz направим вдоль оси цилиндра. Разобьём поверхность цилиндра на прямолинейные полосы, параллельные оси, столь узкие, что каждую из них можно считать заряженной нитью. Поле нити, рассчитываемое непосредственным интегрированием, будем считать известным.

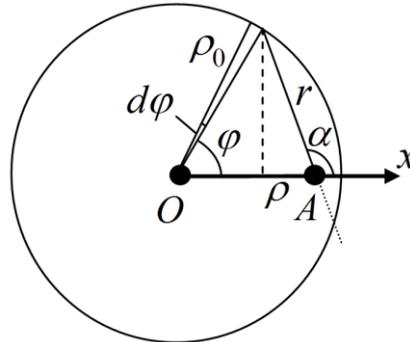


Рисунок 1 – Поле внутри цилиндра

а) Пусть точка A находится на расстоянии $\rho < \rho_0$ от оси цилиндра. Пусть ось Ox , перпендикулярная оси Oz , проходит через точку A (рис. 1). Рассмотрим полосу, для которой полярный угол принадлежит промежутку $[\varphi; \varphi + d\varphi]$. Эта полоса создаёт в точке A поле (поле бесконечной нити),

$$dE = \frac{d\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}; \quad dE_x = -\frac{d\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \cos \alpha, \quad (1)$$

линейная плотность заряда такой нити равна

$$d\lambda = \sigma dl = \sigma \rho d\varphi, \quad (2)$$

где r – расстояние от выделенной полосы до точки A , α – угол между осью Ox и перпендикуляром от A к полосе. Учтём теоремы косинусов и синусов:

$$r^2 = \rho_0^2 + \rho^2 - 2\rho\rho_0 \cos \varphi, \quad \frac{\sin \alpha}{\rho_0} = \frac{\sin \varphi}{r}. \quad (3)$$

Для x -проекции напряженности поля, создаваемого полосой, имеем

$$dE_x = \frac{d\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \sqrt{1 - \frac{\rho_0^2}{r^2} \sin^2 \varphi} = \frac{\sigma \rho_0 d\varphi}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho - \rho_0 \cos \varphi}{\rho_0^2 + \rho^2 - 2\rho\rho_0 \cos \varphi}. \quad (4)$$

Интегрируя выражение (4) по углу φ в пределах $[0; 2\pi]$, получим

$$E_x = \int_0^{2\pi} \frac{\sigma \rho_0}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho - \rho_0 \cos \varphi}{\rho_0^2 + \rho^2 - 2\rho\rho_0 \cos \varphi} d\varphi = \frac{\sigma \rho_0}{4\pi\epsilon_0 \rho_0} \left[\int_0^{2\pi} d\varphi + \int_0^{2\pi} \frac{\rho^2 - \rho_0^2}{\rho_0^2 + \rho^2 - 2\rho\rho_0 \cos \varphi} d\varphi \right]. \quad (5)$$

Воспользуемся известным интегралом (вычисление которого требует использования теории функции комплексной переменной)

$$\int_0^{2\pi} \frac{1}{1-a \cdot \cos \varphi} d\varphi = \frac{2\pi}{\sqrt{1-a^2}}. \quad (6)$$

С учётом (6), напряженность поля E_x будет равна

$$E_x = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\rho^2 - \rho_0^2}{|\rho^2 - \rho_0^2|} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\rho - \rho_0}{|\rho - \rho_0|}. \quad (7)$$

Поскольку точка A находится внутри цилиндра, то

$$E_x = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 - \rho} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} - \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} = 0, \quad (8)$$

две другие компоненты равны нулю по соображениям симметрии. Таким образом, напряжённость поля внутри тонкостенного бесконечно длинного цилиндра равна нулю, что согласуется с теоремой Гаусса.

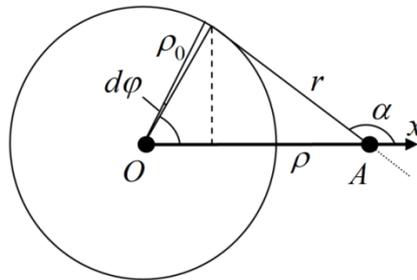


Рисунок 2 – Поле вне цилиндра

б) Пусть точка A находится на расстоянии $\rho > \rho_0$ от оси цилиндра (рис. 2). Для нахождения напряжённости $\vec{E}(\rho)$ в этом случае последовательность действий будет такой же, как и в пункте а), формулы (1)–(7) полностью справедливы и в этом случае. Однако, для точек, находящихся вне цилиндра, модуль в выражении (7) раскроется как $|\rho - \rho_0| = \rho - \rho_0$, поэтому в этом случае

$$E_x = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\rho - \rho_0}{\rho - \rho_0} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \frac{\rho_0}{\rho}. \quad (9)$$

Если учесть, что $\sigma = \lambda / (2\pi\rho_0)$, где λ – линейная плотность заряда цилиндра, то выражение (9) примет вид

$$E_x = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} \frac{1}{\rho}. \quad (10)$$

Это означает, что заряженный цилиндр создаёт вне себя такое же поле, как и заряженная струна с той же линейной плотностью заряда, расположенная вдоль оси цилиндра. Этот результат получается и при использовании теоремы Гаусса.

в) Пусть теперь точка A находится на расстоянии $\rho = \rho_0$ от оси (рис. 3).

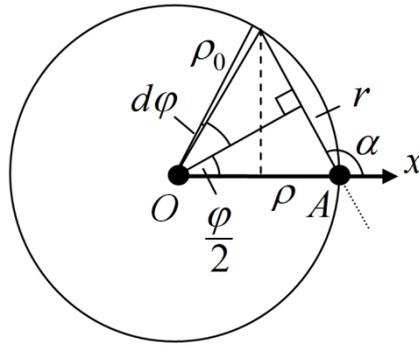


Рисунок 3 – Поле на поверхности цилиндра

Выражения (1) и (2), разумеется, не изменятся, что же касается формул (3), то условие $\rho = \rho_0$ позволяет записать очевидные из рисунка 3 выражения для r и $\cos \alpha$:

$$r = 2\rho_0 \sin \frac{\varphi}{2}, \quad \cos \alpha = -\frac{r}{2\rho_0} = -\sin \frac{\varphi}{2}. \quad (11)$$

Используя выражения (1), (2) и (11), получим

$$dE_x = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sin \frac{\varphi}{2}} \sin \frac{\varphi}{2} d\varphi = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} d\varphi. \quad (12)$$

Интегрирование этого выражения элементарно, а учитывая, что $\sigma = \lambda / (2\pi\rho_0)$, получим

$$E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\rho_0}. \quad (13)$$

Любопытно отметить, что в точке на поверхности цилиндра, для которой применение теоремы Гаусса оказывается самым сложным, прямой расчёт поля согласно принципу суперпозиции приводит к самому простому и легко вычисляемому интегралу.

Таким образом, напряжённость электрического поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечно длинной цилиндрической поверхностью, на расстоянии ρ от оси цилиндра есть

$$E(\rho) = \begin{cases} 0, & \rho < \rho_0; \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma}{\epsilon_0}, & \rho = \rho_0; \\ \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot \frac{\rho_0}{\rho}, & \rho > \rho_0. \end{cases} \quad (14)$$

В заключение отметим, что в литературе обычно приводится другой ответ, отличающийся от (14) при $\rho = \rho_0$. [1-3]

Литература

1. М. Планк. «Введение в теоретическую физику. Том 3. Электричество и магнетизм», 1933. стр. 42.
2. Д.В. Сивухин. «Общий курс физики. Том 3. Электричество и магнетизм», 1983. стр 31.
3. А.Н. Матвеев. «Электричество и магнетизм», 1983. стр 82.

А.К. Газенко, А.В. Ларькин (БГУ, Минск)
Науч. рук. **А.В. Ларькин**, ст. преподаватель

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ И ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК (ЦИКЛ МОДЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ)

Введение. В настоящее время актуальным и важным для Республики Беларусь является вопрос подготовки квалифицированных специалистов в области использования атомной энергии. Цикл модельных лабораторных работ разработан для специализации «Физика ядерных реакторов и атомных энергетических установок» специальности «Ядерная физика и технологии» первой ступени высшего образования.

Методика эксперимента. В рамках работы проведено моделирование термодинамических циклов Карно, Отто, Дизеля и Ренкина. С использованием методов термодинамического и эксергетического анализа получены следующие расчётные формулы КПД циклов и уравнения баланса:

$$\text{Цикл Карно} \begin{cases} Q_1 = \int T dS = T_1 (S_2 - S_1) = T_1 \Delta S \\ Q_2 = T_2 (S_2 - S_1) = T_2 \Delta S \end{cases} \quad \eta_T = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

где Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя при изотермическом расширении, Q_2 – количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику при изотермическом сжатии, ΔS – разность энтропий, η_T – термический КПД.

$$\text{Цикл Отто} \begin{cases} q_1 = c_v (T_3 - T_2) = c_v T_1 (\Delta \varepsilon^{k-1}) \\ q_2 = c_v (T_4 - T_1) = c_v T_1 \left(1 - \frac{\Delta}{\varepsilon^{k-1}} \right) \end{cases} \quad \eta_T = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

где q_1 – количество теплоты, подводимого к рабочему телу в изохорном процессе, q_2 – количество теплоты, отводимого от рабочего тела

в изохорном процессе, $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ – степень сжатия, k – константа адиабаты, c_v – теплоемкость рабочего тела в рассматриваемом интервале температур.

$$\text{Цикл Дизеля} \begin{cases} q_1 = c_p (T_3 - T_2) = \frac{kRT_1}{k-1} (\Delta - \varepsilon^{k-1}) \\ q_2 = c_v (T_4 - T_1) = \frac{RT_1}{k-1} \left(\frac{\Delta^k}{\varepsilon^{k(k-1)}} - 1 \right) \end{cases} \quad \eta_T = 1 - \frac{1}{k} \frac{p^k - 1}{p-1} \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

где q_1 – количество теплоты, подводимого к рабочему телу в изобарном процессе, q_2 – количество теплоты, отводимого от рабочего тела в изохорном процессе, $p = \frac{v_3}{v_2}$ – степень предварительного расширения.

[1]

$$\text{Цикл Ренкина} \quad \eta_T = \frac{l_3}{e_{ex}^T - e_{вых}^T} \quad \eta_{ка} = \frac{e_{вых}^{ка}}{e_{ex}^{ка} + e_q^{ка}} \quad \eta_{nn} = \frac{e_{вых}^{nn}}{e_{ex}^{nn}} \quad \eta_n = \frac{e_{вых}^n}{e_{ex}^n}$$

$$\eta = \eta_T \cdot \eta_{ка} \cdot \eta_n \cdot \eta_{nn}$$

где η_T – эксергетический КПД турбогенератора, $\eta_{ка}$ – эксергетический КПД котлоагрегата, η_{nn} – эксергетический КПД паропровода, η_n – эксергетический КПД насоса, η – полный эксергетический КПД установки, e – эксергия, l_3 – полезная работа.

Результаты и обсуждение. С помощью программного пакета MATLAB выполнено моделирование различных термодинамических циклов, что позволило провести их визуализацию и выполнить термодинамический анализ КПД. Входными данными для цикла Карно являются температуры нагревателя и холодильника, для циклов Отто и Дизеля – температура, давление и объем, для цикла Ренкина – параметры элементов теплосиловой паротурбинной установки:

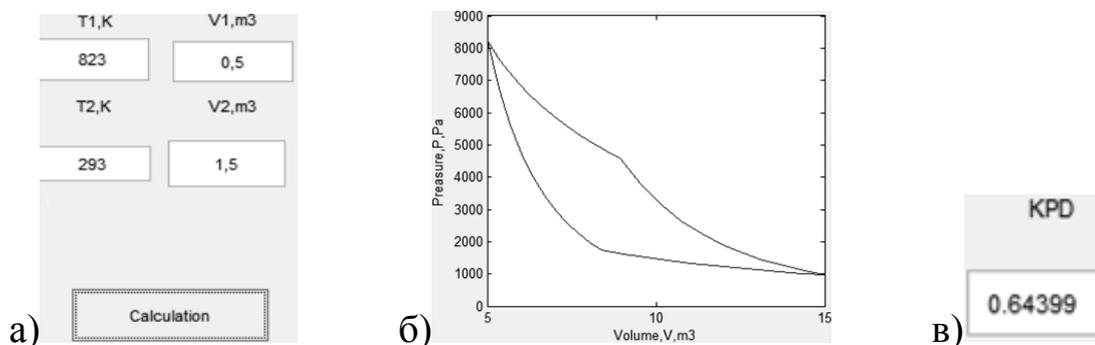


Рисунок 1 – Интерфейс программы, моделирующей цикл Карно:
 а) – входные данные; б) – реальный цикл Карно, построенный в координатах p - V ; в) – рассчитанный термодинамический КПД цикла.

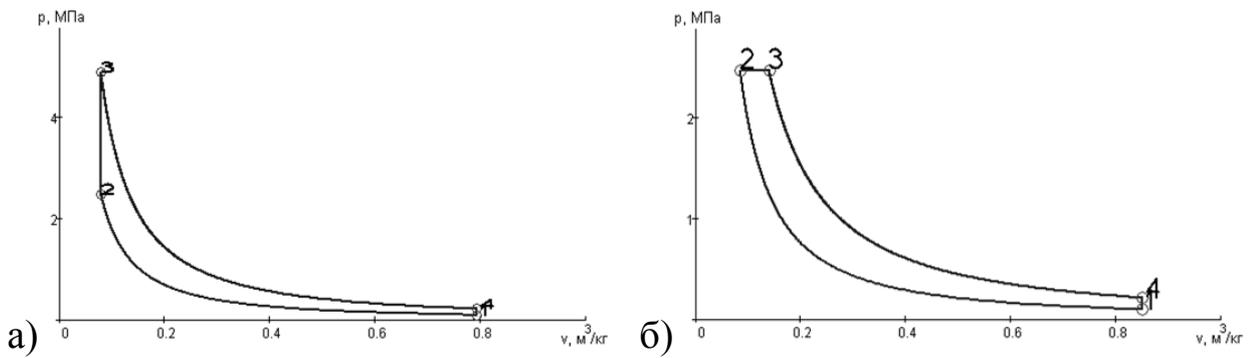


Рисунок 2 – Смоделированные циклы для сравнительного анализа, построенные в координатах p-V: а – цикл Отто; б – цикл Дизеля



Рисунок 3 – Интерфейс программы с данными: а) – входные; б) – выходные

Так, например, термический КПД цикла Дизеля при температуре холодильника равной 300К, нагревателя 1200К и степенью сжатия равной 10, равен 55,59%. При таких же начальных параметрах КПД цикла Отто выше и равен 60,19%.

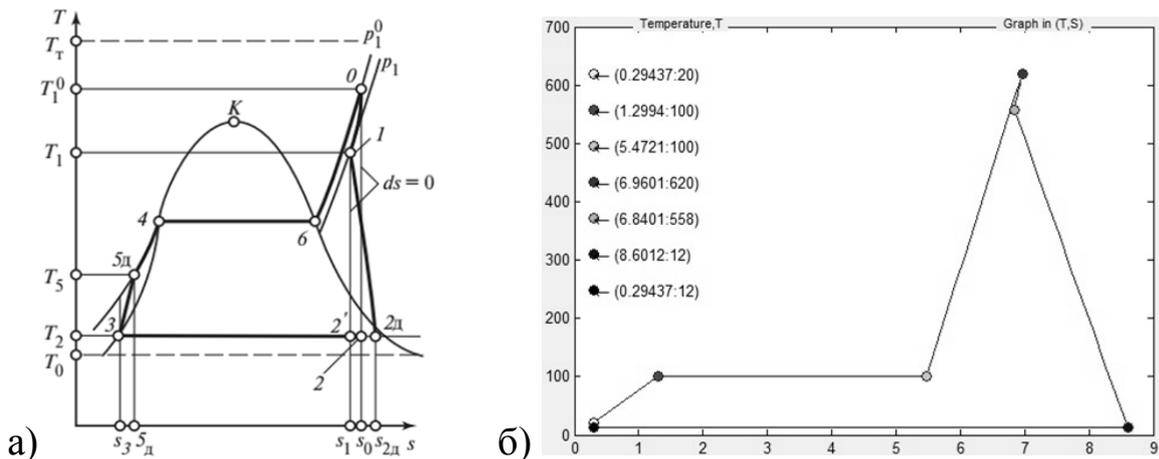


Рисунок 4 – Цикл Ренкина с перегревом пара: а) – реальный; б) – реальный, смоделированный в программе (при температуре пара 620 °С).

Моделирование цикла Ренкина показывает, что для повышения КПД цикла Ренкина необходимо проводить перегрев пара. В то же время в ходе эксергетического анализа данного цикла установлено, что максимальные потери работоспособности энергетической установки происходят в котлоагрегате.

Заключение. Созданная компьютерная модель для аналитического изучения термодинамических циклов позволяет провести исследование циклов с помощью термодинамического анализа эффективности тепловых процессов, а также эксергетического метода расчета потерь работоспособности, являясь наглядным пособием для изучения свойств и характеристик термодинамических циклов и тепловых схем ядерных энергетических установок студентами специализации «Физика ядерных реакторов и атомных энергетических установок».

Литература

1. Бородин, А.И. Лекции по технической термодинамике / А.И.Бородин Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томск. гос. архит.-строит. ун-та, 2007. – 160 с.

Е.Д. Головин (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В. Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

МУЛЬТИПОЛЬНЫЕ МОМЕНТЫ ЗАРЯДОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ПРЯМОЙ

Электрический мультиполь – система электрических зарядов, обладающая определённой симметрией [1, 2]. Мультиполь характеризуется его порядком: мультиполем нулевого порядка является заряд; мультиполем 1-го порядка - диполь (система двух разноимённых, одинаковых по величине зарядов); мультиполем 2-го порядка - квадруполь (система четырёх равных по величине зарядов, помещённых в вершины параллелограмма так, что каждая сторона соединяет разноимённые заряды); 3-го порядка - октополь и т. д. Поле мультиполя на больших расстояниях R от него ($R \gg r$, где r - размеры системы) можно представить как суперпозицию полей мультиполей различного порядка. Для статических полей потенциал мультиполя l -того порядка убывает при $R \gg r$ как $\frac{1}{R^{l+1}}$ и обладает определённой угловой зависимостью.

Основная характеристика мультиполя - его мультипольный момент, который определяет величину и угловую зависимость поля мультиполя, а также энергию его взаимодействия с внешними полями. Мультипольный момент статической системы зарядов зависит только от их величины и расположения. Так, дипольный момент электрического диполя $\vec{p} = e\vec{l}$ (e - заряд, \vec{l} - вектор, начало которого совпадает с отрицательным зарядом диполя, конец - с положительным).

В данной работе рассмотрим мультиполи 2-го и 3-го порядка (квадруполь и октуполь) с постоянными мультипольными моментами и покажем, что поля квадруполя и октуполя могут создаваться системами зарядов, которые (все) расположены на одной прямой.

Найдем напряженность, создаваемую квадруполем (системой четырех зарядов, расположенных в вершинах квадрата) на расстоянии $R \gg l$, где l -расстояние между двумя противоположными зарядами, как сумму напряженностей в ситуации, изображенной на рисунке 1:

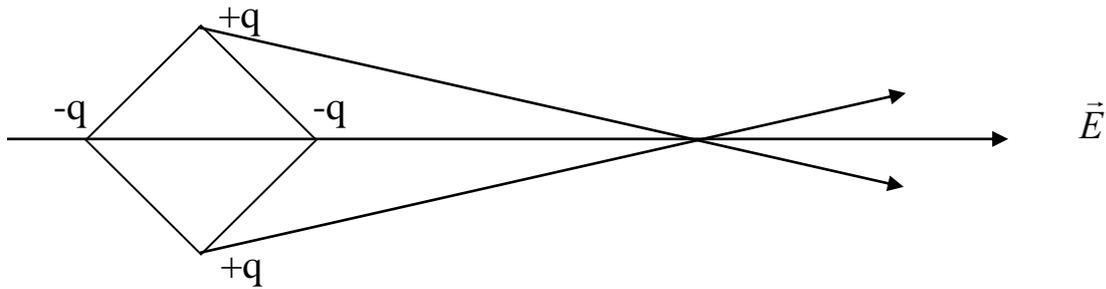


Рисунок 1

$$E = \frac{kq}{R^2} - \frac{kq}{(R + \sqrt{2}l)^2} - \frac{2kq \cos^3 \alpha}{\left(R + \frac{\sqrt{2}}{2}l\right)^2}, \quad (1)$$

$$\cos^3 \alpha = \left(\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}l + R}{\sqrt{\frac{l^2}{2} + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}l + R\right)^2}} \right)^3.$$

Так как $l^2 \ll R$, то можно считать, что

$$\cos^3 \alpha \approx 1, \quad (2)$$

тогда напряженность поля квадруполя равна:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2} \frac{4l^2}{R^2 + 3\sqrt{2}lR + 4l^2}. \quad (3)$$

Заметим, что эта формула соответствует случаю расположения зарядов $-q, +2q, -q$ на прямой линии с расстояниями между ними равными $\frac{\sqrt{2}}{2}l$, то есть квадруполь может быть представлен в виде трех зарядов, расположенных на одной прямой.

Рассуждая аналогично, для октуполя получим:

$$E = \frac{kq}{R^2} - \frac{kq}{(R + \sqrt{3}l)^2} + \frac{3kq \cos^3 \alpha}{\left(R + \frac{2\sqrt{3}}{3}l\right)^2} - \frac{3kq \cos^3 \alpha}{\left(R + \frac{\sqrt{3}}{3}l\right)^2}. \quad (4)$$

Учитывая, что $\cos^3 \alpha \approx 1$, имеем,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2} \frac{-48l^2 R + 16\sqrt{3}l^3}{9R^3 + 36\sqrt{3}lR^2 + 84l^2 R + 16\sqrt{3}l^3}. \quad (5)$$

И в этом случае заметим, что формула (4) соответствует случаю расположения зарядов $-q$, $+3q$, $-3q$, $+q$ на одной прямой с расстояниями между ними равными $\frac{\sqrt{3}}{3}l$, то есть квадруполь будет представлен в виде четырех зарядов, расположенных на прямой с напряженностью, рассчитанной по формуле (5).

Можно также показать, что поля указанных систем зарядов, расположенных вдоль одной прямой, в других точках, находящихся далеко от систем зарядов, также дают правильные формулы для напряженности.

Таким образом для расчета напряженности квадруполя и октуполя можно использовать их модели в виде зарядов, расположенных на одной прямой.

Литература

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория поля, 7 изд., М., 1988;
2. Ахиезер А. И., Берестецкий В. Б., Квантовая электродинамика, 4 изд., М., 1981.

И.А. Голод (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
 Науч. рук. **Д.Г. Кроль**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ СКОРОСТИ И КРИВИЗНЫ ФАЗОВОЙ ГРАНИЦЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО РАСПЛАВА

Процессы высокоскоростной кристаллизации глубоко переохлажденного расплава служат основой перспективных способов получения материалов с новыми функциональными свойствами. В настоящее время в экспериментальных условиях достигнуты скорости роста 20–70 м/с при глубине переохлаждения расплава до 300°К. История данного вопроса и библиография изложены в [1].

Важным аспектом проблемы роста является задача о формировании неоднородной структуры теплового поля на фазовой границе (ФГ). В настоящей статье рассматривается рост кристалла из однокомпонентного переохлажденного расплава с позиций теории локально-неравновесного теплопереноса. Данная работа продолжает исследования [2, 3] и имеет следующие цели: 1) изучить градиентные свойства теплового поля на линии роста; 2) проанализировать корреляцию «кривизна – скорость перемещения вершины дендрита».

Рассмотрим ФГ (двумерную плоскую либо осесимметричную), обладающую нестационарной кривизной. Уравнение линии роста постулируем в следующем виде: $f \equiv x + A(t) - [B(y)]^{p(t)} = 0$. Эта априорная зависимость основана на экспериментальных сведениях о нестационарных свойствах скорости и кривизны ФГ. Здесь t – время; в плоском ($\nu = 0$) двухмерном случае x, y – прямоугольные декартовы координаты; в случае осевой симметрии ($\nu = 1$) координата x соответствует оси симметрии; y – радиальная координата; $B = B(y)$ – непрерывная функция; $B(y) \geq 1$, $\dot{B}(y) \equiv dB/dy \geq 0$ при $y \geq 0$, причем $B(y=0) = 1$. Закон движения вершины дендрита ($y=0$): $x_j(t, y=0) \equiv x_0(t) = 1 - A(t)$, $t \geq 0$. ФГ движется влево, $dx_0/dt = -\dot{A}(t) < 0$. Скорость и средняя кривизна ФГ $x_j = B^p - A$ представляются формулами: $N = (\dot{p}B^p \ln B - \dot{A})/G$, $G = [1 + p^2 B^{2(p-1)} \dot{B}^2]^{1/2}$, $B_1 = pB^{p-1} \dot{B}$, $p = p(t) \geq 1$, $K = K_1 + K_2$, $K_1 = \frac{B_2}{G^3}$, $K_2 = \frac{\nu B_1}{yG}$, $B_2 = pB^{p-1} \ddot{B} + p(p-1)B^{p-2} \dot{B}^2$, $\sin \beta = \frac{1}{G}$.

Работаем с двумерными уравнениями теплопереноса:

$$c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial q_1}{\partial x} + \frac{\partial q_2}{\partial y} + \frac{\nu}{y} q_2 = 0, \quad q_1 + \gamma \frac{\partial q_1}{\partial t} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}, \quad q_2 + \gamma \frac{\partial q_2}{\partial t} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}.$$

Основные обозначения: T – температура, $\mathbf{q}(q_1, q_2)$ – вектор удельного теплового потока; λ – коэффициент теплопроводности; c – объемная теплоемкость; γ – время релаксации теплового потока; $w^2 = \lambda/(\gamma c)$ – квадрат скорости распространения тепловых возмущений; $\nu = 0, 1$. После перехода к криволинейным координатным осям (касательная, главная нормаль и бинормаль к поверхности ФГ) применяем алгоритм, изложенный в [2] и получаем нормальные производные на ФГ $(\partial T/\partial n)_j$, $(\partial q_n/\partial n)_j$, $(\partial q_s/\partial n)_j$. Развернутая запись этих выражений здесь не приводится. Отметим только что, они подсчитываются на основе динамиче-

ских условий совместности на ФГ кристаллизации, которую мы моделируем поверхностью сильного разрыва теплового поля:

$$q_{sj} \equiv q_j \cos(\beta - \beta_j) = q_* \cos \beta; \quad (2)$$

$$q_{nj} \equiv q_j \sin(\beta - \beta_j) = q_* \sin \beta + N(u_j - u_*) - L(N + \gamma(\partial N / \partial t)); \quad (3)$$

$$T_j = T_c - \frac{T_c U}{L} K - \frac{|N|}{\mu}; \quad q_j = |q_j|, \quad q_* = |q_*|; \quad U, \mu - \text{const}. \quad (4)$$

Звездочкой отмечены параметры расплава; индекс j указывает, что значение функции определено на правой стороне разрыва, в твердой фазе; L – теплота фазового перехода единицы объема вещества; μ – кинетический коэффициент роста; U – поверхностная энергия границы раздела фаз; T_c – равновесная температура кристаллизации; $c = du/dT$. Для определенности анализируем вариант $N = Nn$, $q_* = q_* i_1$, принимая $N < 0$, $q_* > 0$. На рисунке представлены результаты расчета плоской ФГ при $A_1(t) = a_1(1 - \cos \omega_1 t) / \omega_1$, $B(y) = 1 + n_1 y$, $p(t) = 1 + a_2(1 - \sin \omega_2 t)$, $a_2 > 0$, $t \geq 0$, $q_*(x) = q_*^1 \sin^2(k_* x)$, $q_*^1, k_* - \text{const}$, $q_*^1 > 0$, $x \in [x_1, 0]$, $x_1 < 0$, $N_m = -N$. Здесь мы учитываем известные в литературе данные о существовании периодических по времени возмущений скорости и кривизны вершины дендрита. Расчеты были проведены в безразмерных переменных. В качестве масштабов величин при обезразмеривании были приняты теплофизические параметры расплава чистого никеля, переохлажденного на 67°K , см. [3]. Пример расчета: $y = 1,0$; $v = 0$; $n_1 = 1$; $k_* = 1$; $q_*^1 = 0,01$; $\omega_1 = 0,5$; $\omega_2 = 1$; $a_1 = 0,1$; $a_2 = 0,4$. Информация, представленная на рисунке, позволяет судить об интервалах, в которых меняются основные параметры теплового поля на линии роста. Расчеты показали, что характер колебаний функции $p(t)$ не влияет принципиальным образом на свойства данной теплофизической системы. Меняются отдельные фрагменты фазовых портретов, но основные закономерности эволюции линии роста сохраняются.

Представлены результаты аналитического и численного исследования тепловых свойств двухмерных линий роста, обладающих плоской и осевой симметриями. Анализ выполнен для случаев периодического по времени возмущения скорости и кривизны фазовой границы. Обнаружены существенные количественные различия между режимами колебаний вблизи вершины дендрита и на конечном удалении от нее.

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергетические системы, процессы и технологии 2.9». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.

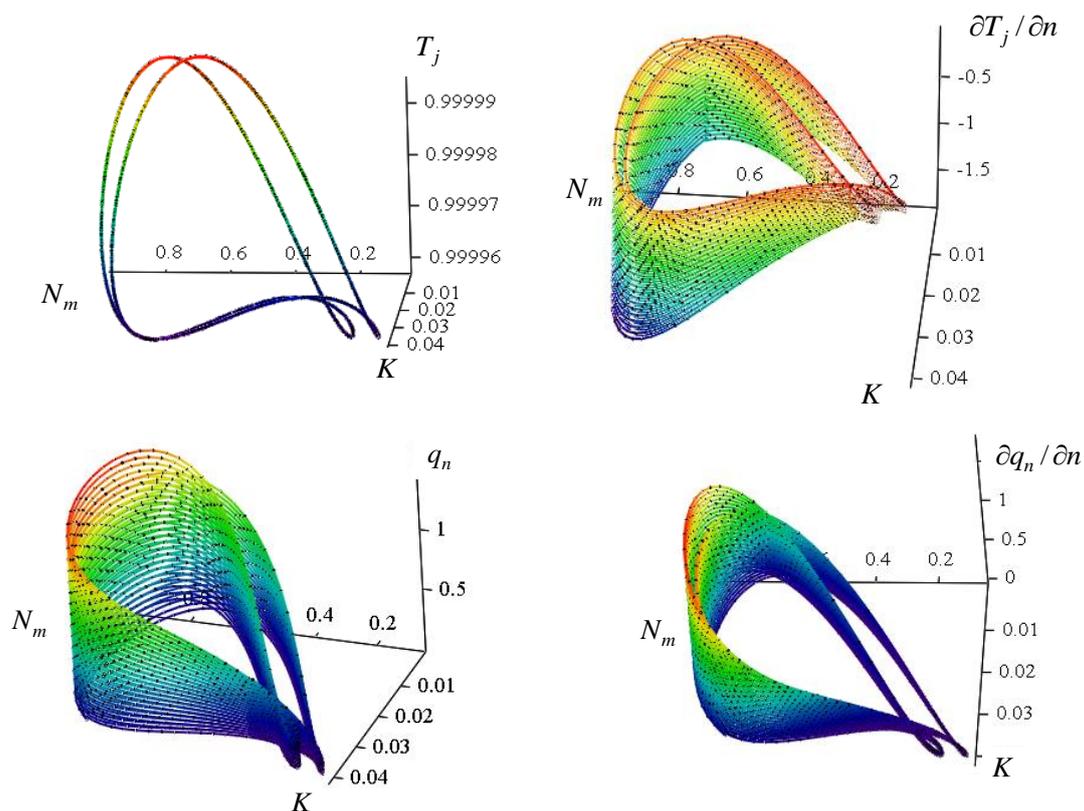


Рисунок 1– Тепловые процессы на периферии дендрита

Литература

1. Herlach, D. M. Metastable Solids from Undercooled Melts / D. M. Herlach, P. Galenko, D. Holland-Moritz. – Oxford: Pergamon, 2007. – 448 p.

2 Шабловский, О. Н. Тепловая градиентная катастрофа и рост двумерного свободного дендрита в переохлажденном расплаве / О. Н. Шабловский // Прикладная физика. – 2007. – №3. – С. 29–37.

3. Шабловский, О. Н. Тепловые свойства фронта кристаллизации однокомпонентного чистого переохлажденного расплава / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль // Расплавы. – 2005. – № 4. – С. 69–81.

Е.А. Голубева, Р.А. Аль-Абси (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
 Науч. рук. **В.В. Можаровский**, д-р техн. наук, профессор

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБ ИЗ НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ И РЕЛАКСАЦИИ

Композиционные материалы и их конструкции обладают рядом особенностей: слоистое строение, конструктивная ортотропия, деформирование во времени под нагрузкой и т.д. Поэтому новые методы расчета и

экспериментальные исследования этих особенностей с позиции прочности труб являются актуальными.

Целью проведения исследований является изучение свойств ползучести и релаксации труб из неоднородных материалов под воздействием внутреннего давления.

В представленной работе объектом исследования является труба из неоднородных материалов с учетом явлений вязкоупругости. Характерными признаками материалов являются их релаксационные свойства: изменение напряжений при неизменных деформациях (релаксация) и изменение деформаций при постоянных напряжениях (ползучесть) [1].

Рассматривается труба из неоднородного материала под воздействием внутреннего давления с внутренним радиусом a и внешним радиусом R ; P – давление, оказанное на внутреннюю поверхность (рисунок 1).

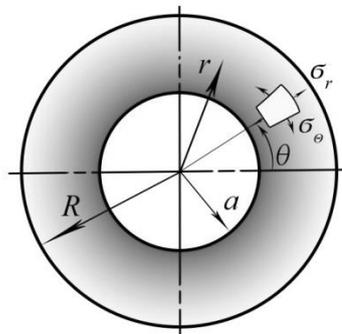


Рисунок 1 – Труба из неоднородного материала

При исследовании напряженно-деформированного состояния на основании решения упругой задачи для неоднородной трубы используем методы расчета, представленные в работе [2], в которой подробно показаны основные формулы для нахождения напряжения в зависимости от свойств материалов. На основании решения упругой задачи для неоднородной трубы [2] рассматривали вязкоупругий случай.

Для описания явлений ползучести и релаксации были использованы обобщенные ядра вида [3]

$$R(\tau) = A^* \tau^{\alpha-1} e^{-\lambda\tau} E_{\frac{1}{\alpha}}(\beta^* \tau^\alpha; \alpha);$$

$$K(\tau) = A^* \tau^{\alpha-1} e^{-\lambda\tau} E_{\frac{1}{\alpha}}(\beta \tau^\alpha; \alpha),$$

в которые входит функция типа Миттаг-Леффлера

$$E_\rho(x, \mu) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{\Gamma(\mu + k\rho^{-1})},$$

где $\Gamma(x)$ – гамма-функция; μ – произвольный параметр A^* , β , λ , α – реологические параметры. Реологические параметры ядер определяются по методам наименьших квадратов и интегральных преобразований.

Результаты для вязкоупругой задачи были получены с использованием слабосингулярного ядра Ржаницына-Колтунова при $\delta^* = 0$ в виде графиков, берем $R(t) = Ae^{-\lambda t} t^{\alpha-1}$ и резольвенту

$$K(t) = At^{-1} e^{-\lambda t} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(A\Gamma(\alpha)t^\alpha)^i}{\Gamma(i\alpha)} \right], \text{ где } \Gamma(\alpha) - \text{ гамма-функция, } A = 0,015,$$

$\lambda = 0,05$, $\alpha = 0,075$ определялись с помощью обработки результатов эксперимента по методу наименьших квадратов.

Проведен анализ экспериментальных исследований вязкоупругих свойств для труб из неоднородных материалов. Разработана и апробирована компьютерная программа деформирования во времени, а также были построены графики, характеризующие такие свойства, как ползучесть и релаксация. Тестирование программы осуществлялось в сравнении с результатами других исследователей, полученных при расчете напряжения и деформации в трубе из композиционных материалов. Предложенная методика может применяться в инженерных расчетах для различных конструкций из неоднородных материалов.

Литература

1. Колтунов, М.А. Ползучесть и релаксация / М.А. Колтунов – М., 1976. – 276 с.
2. Tutuncu, N Exact solutions for stresses in functionally graded pressure vessels / N. Tutuncu, M. Ozturk Composites: Part B 32, 2001. – P. 683-686.
3. Можаровский, В.В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В.В. Можаровский, В.Е. Старжинский – Мн., 1988. – 271 с.

А.В. Зенкевич (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.Ю. Иванов**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ОБРАЗЦОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЖИДКОСТИ

Показано, что при использовании излучения лазера ГОР-100М, работающего в режиме свободной генерации, форма поверхности кратера, формирующегося на поверхности облучаемого образца, расположенного в воде, принципиально отличается от топографии лунки, сформировавшейся в результате воздействия лазерного импульса с теми же параметрами на аналогичный образец, окруженный воздухом при нормальном давлении (105 Па).

Излучение рубинового лазера ГОР-100М, работавшего в режиме свободной генерации (длительность импульса $\tau \sim 1,2$ мс, длина волны $\lambda = 0,694$ мкм), пройдя через фокусирующую систему, направлялось на образец, располагавшийся в кювете с водой. В качестве фокусирующих применялись как однолинзовые, так и двухлинзовые системы, которые позволяли строить изображение диафрагмы на поверхности образца. Это позволяло получать на поверхности мишени однородное пятно фокусировки излучения с резкими границами. Диаметр D полученного таким образом пятна излучения с резкими краями варьировался в ходе экспериментов от 1 до 2 мм. Для изучения пространственной и временной эволюции лазерного факела в ходе воздействия ЛИ на образец использовался метод скоростной голографической кино съемки. Межэлектродный промежуток помещался в одно из плеч интерферометра Маха-Цендера. Интерферометр освещался излучением рубинового лазера ($\lambda = 0,694$ мкм), работавшего в режиме свободной генерации. Длительность импульса излучения зондирующего лазера составляла ~ 400 мкс. Селекция поперечных мод зондирующего лазера осуществлялась диафрагмой, помещенной внутрь резонатора, а продольных – эталоном Фабри-Перо, использовавшимся в качестве выходного зеркала. Зондирующее излучение направлялось в коллиматор, позволявший получать параллельный световой пучок диаметром до 3 см, что позволило наблюдать за развитием пароплазменного облака. Интерферометр был состыкован со скоростной фоторегистрирующей камерой СФР-1М, плоскость фотопленки в которой была сопряжена с меридиональным сечением воздействующего на образец лазерного луча при помощи объектива. Скоростная камера работала в режиме лупы времени. Описанная схема позволяла регистрировать развернутые во времени голограммы сфокусированного изображения лазерного факела. Полученные отдельные кадры голограмм обеспечивали временное разрешение не хуже 0,8 мкс (время экспозиции одного кадра) и пространственное разрешение по полю объекта ≈ 50 мкм. Дифракционная эффективность голограмм позволяла в стационарных условиях восстанавливать и регистрировать интерференционные и теневые картины исследуемого процесса.

Экспериментальные исследования показали, что топография кратера, полученного при воздействии лазерного излучения на свинцовый образец, погруженный в воду (рисунок 1), существенно отличается от формы поверхности кратера, сформировавшегося в результате воздействия лазерного импульса с теми же параметрами на аналогичный образец, окруженный воздухом при нормальном давлении (105 Па). В первом случае поверхность кратера пемзообразная, вспененная, макроскопическая лунка практически отсутствует. Во втором случае

«внутренняя» зона кратера (лунка) имеет ровную поверхность. При этом топография кратера определяется распределением энергии по пятну фокусировки лазерного излучения.



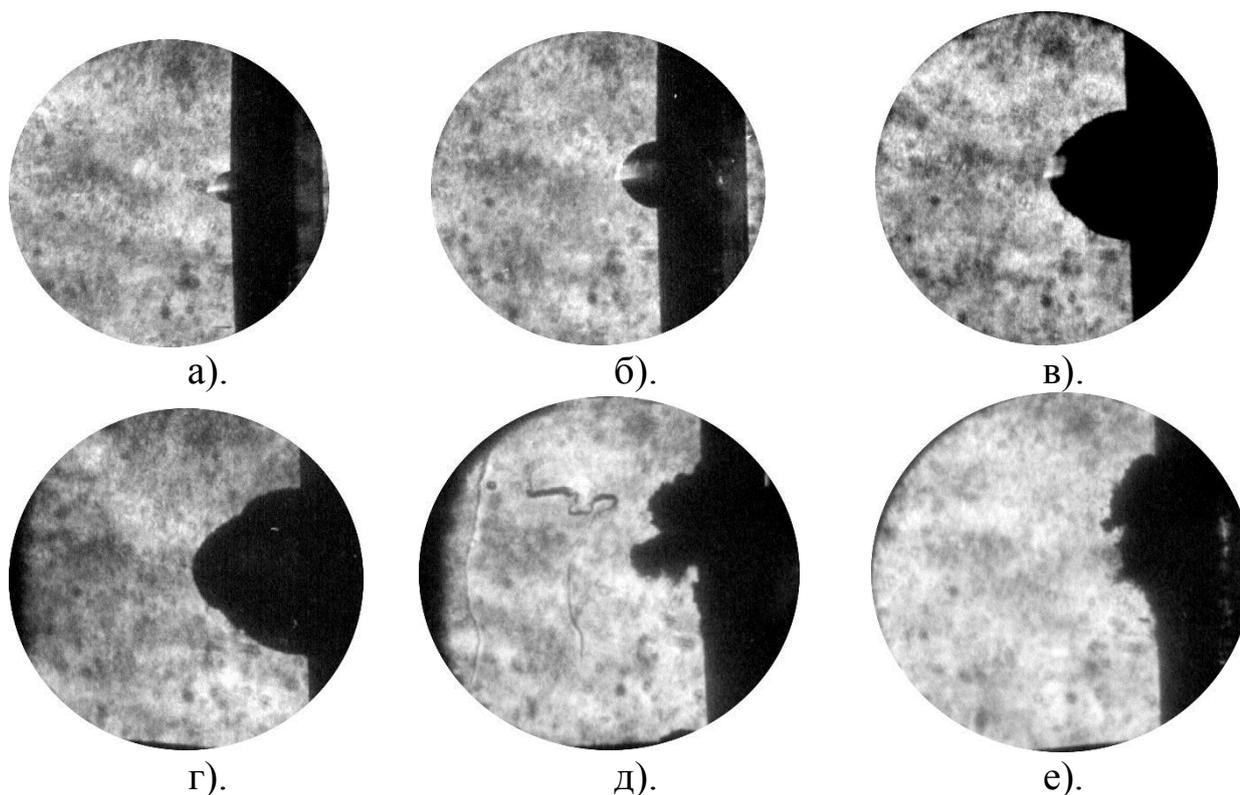
а).

б).

в).

Рисунок 1 – Фотографии кратеров, полученных при воздействии на свинцовый образец, расположенный в воде, лазерных импульсов с энергией 10 Дж (а), 20 Дж (б), 40 Дж (в)

На рисунке 2 представлены теневые картины, восстановленные с голограмм, зарегистрированных описанным методом в различные моменты времени после начала воздействия излучения на вещество.



а).

б).

в).

г).

д).

е).

Рисунок 2 – Теневые картины парогазового образования, зарегистрированные через 10 (а), 50 (б), 500 (в), 1200 (г), 2000 (д), 3000 (е) микросекунд после начала лазерного воздействия на свинцовый образец. Диаметр поля зрения 4 сантиметра

Видно, что у поверхности облучаемого образца формируется парогазовое образование («пузырь»), форма которого первоначально близка

к сферической. Образование быстро увеличивается в размерах, особенно на ранних стадиях процесса. Приблизительно через 1 мс после начала воздействия форма «пузыря» начинает изменяться, на оси лазерного пучка формируется выпуклость. После прекращения воздействия (~ 1,2 мс) размеры парогазового образования стабилизируются, и только через ~ 1,5 мс начинается его медленный распад. Существенно, что при этом не только уменьшаются размеры «пузыря», но и случайным (не повторяющимся от одного эксперимента к другому) образом изменяется его форма. Но даже через 3 мс после начала воздействия лазерного излучения на поверхность металла (то есть через ~ 1,8 мс после прекращения воздействия) пароплазменное образование не исчезает.

Литература

1. Вест, Ч. Голографическая интерферометрия / Ч. Вест. – М.: Мир, 1982. – 504 с
2. Барихин, Б. А. Скоростная голографическая киносъемка лазерной плазмы / Б. А. Барихин, А.Ю. Иванов, В.И. Недолугов//Квантовая электроника. - 1990. -Т. 17, № 11. – С. 1477-1480.
3. Взаимодействие лазерного излучения с металлами / А.М. Прохоров [и др.]. – М.: Наука, 1982. – 537 с.

И.А. Зуев (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Ю.Л. Бобарикин**, канд. техн. наук, доцент

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОКАТА МЕЛКОСОРТНО-ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА 150 ОАО «БМЗ – УКХ «БМК»

Среди характеристик качества сортового проката по-прежнему важнейшими являются показатели точности геометрических размеров прокатываемых профилей. Традиционно особое внимание уделяется точности таких видов сортового проката, как катанка. Это объясняется достаточно малыми размерами профилей и жесткими допусками на геометрические размеры. Несмотря на широкое внедрение новых технологических процессов прокатки, и нового оборудования сортовых и проволочных станов, вопросы обеспечения высокой точности прутков и катанки нельзя считать полностью решенными.

Для повышения точности прокатки круглой стали необходимо стремиться к уменьшению колебаний размеров по высоте, ширине и

«плечам» профиля, что и обуславливает комплексный характер решения данной задачи. В зависимости от условий прокатки и, в частности, от сортамента прокатки и объема производства эта задача может быть решена путем совершенствования технологического процесса прокатки, конструкции рабочих клетей, использования специальных калибрующих клетей, применения различных систем калибровок, автоматизации регулирования натяжения прокатываемой полосы и поднастройки клетей.

Исследованиями точности прокатки круглой стали на среднесортном и проволочном стане показано, что поле разброса размеров по «плечам» профиля составляет 30÷50 % от величины поля допуска обычной точности, в значительной мере увеличивая суммарное поле разброса размеров и овальность поперечного сечения профиля.

Исходя из указанной проблематики улучшения качественных характеристик катанки и увеличения результативности процесса ее производства, целью работы является достижение более высокого качества катанки по точности при непрерывной сортовой прокатке на основе выявления и использования количественных связей между калибровкой прокатных валков калибровочного блока и геометрическими характеристиками профиля.

Цель данной работы заключается в совершенствовании калибровки прокатных валков проволочного прокатного стана 150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», с целью повышения точности геометрических размеров конечного профиля.

В данной работе, анализируется эффективность применения калибровки овал – ребровой овал на последних шести чистовых проходах прокатки при производстве катанки диаметром 5,5 мм.

Для изучения геометрических размеров катанки диаметром 5,5 мм произведенной на стане 150 с использованием базовой калибровки (овал – круг), были отобраны образцы марки стали 80К. Отбор осуществлялся с начала и конца бунта. Используя данные энергосиловых и скоростных параметров реального процесса прокатки, была построена математическая модель прокатки катанки диаметром 5,5 мм с использованием базовой калибровки (овал – круг).

Усредненные результаты фактических геометрических размеров профиля, измеренные в лабораторных условиях, а также в результате моделирования представлены в таблице 1.

Анализируя результаты таблицы 1 видно, что адекватность математической модели составила 97,6 %, таким образом можно сделать вывод, что результаты моделирования соответствуют реальному процессу прокатки катанки диаметром 5,5 мм на стане 150.

Таблица 1 – Геометрические размеры катанки диаметром 5,5 мм

Система калибровки	Минимальный диаметр, мм	Максимальный диаметр, мм	Максимальная овальность, мм
Овал – круг (базовый процесс)	5.396	5.690	0.294
Овал – круг (результаты моделирования)	5.399	5.686	0.287

Используя адекватную численную модель процесса прокатки, была построена математическая модель прокатки катанки по системе калибровки овал – ребровый овал. Используя полученную модель, был осуществлен многократный процесс моделирования прокатки катанки диаметром 5,5 мм в системе калибровки овал – ребровый овал. Полученный в результате моделирования конечный профиль катанки диаметром 5,5 мм был исследован по показателю точности геометрических размеров с учетом допуска (5,5±0,2) мм.

Результаты исследования точности геометрических размеров катанки диаметром 5,5 мм полученной в результате моделирования в системе калибровки овал – ребровый овал представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Геометрические размеры катанки диаметром 5,5 мм

Система калибровки	Минимальный диаметр, мм	Максимальный диаметр, мм	Максимальная овальность, мм
Овал – круг (базовый процесс)	5.396	5.690	0.294
Овал – круг (результаты моделирования)	5.399	5.686	0.287
Овал – ребровый овал	5.440	5.634	0.194

Анализируя результаты, представленные в табл. 2 видно, что точность геометрических размеров катанки полученной в результате моделирования процесса прокатки в системе калибров овал – ребровый овал значительно выше геометрических показателей катанки получаемой при процессе прокатки в системе калибровки овал – круг.

Анализ математического моделирования показывает, что применение калибровки овал – ребровый овал на последних проходах прокатки благодаря благоприятной в деформационном отношении форме ребрового овального калибра позволит получать готовый профиль проката с наименьшими отклонениями геометрических размеров в пределах размерного допуска.

ЗАДАЧА О КОЛЕБАНИИ СТРУНЫ

Как правило, основной задачей при проектировании является получение количественных характеристик физических явлений и расчет с заданной степенью точности хода реальных процессов. Математические модели физики позволяют решать такие задачи полностью.

Волновое уравнение в физике – линейное гиперболическое дифференциальное уравнение в частных производных, задающее малые поперечные колебания тонкой мембраны или струны, а также другие колебательные процессы в сплошных средах (акустика, преимущественно линейная: звук в газах, жидкостях и твердых телах) и электромагнетизме (электродинамике).

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = a^2 \frac{d^2 u}{dx^2}, \quad (1)$$

где $u(x, t)$ – уравнение движения в точке x в момент времени t ,
 $0 \leq x \leq l, 0 \leq t \leq T$,

a – отношение модуля силы натяжения к плотности струны,
 $\frac{T_0}{\rho} = a^2$.

Итак, будем искать решение уравнения по формуле (1), удовлетворяющее однородным граничным условиям

$$U(0, t) = U(l, t) = 0 \quad (2)$$

начальным условиям
$$\begin{cases} U(x, 0) = \varphi(x) \\ U'_t(x, 0) = \psi(x) \end{cases} \quad (3)$$

Уравнение (2) линейно и однородно, поэтому сумма частных решений также является решением этого уравнения.

Общее решение уравнения методом Фурье:

$$U(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} U_n(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos\left(\frac{\pi n}{l}\right) \alpha t + B_n \sin\left(\frac{\pi n}{l}\right) \alpha t) \sin\left(\frac{\pi n}{l}\right) x, \quad (4)$$

Если функции $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ удовлетворяют условиям разложения в ряд Фурье, то

$$\begin{cases} A_n = \frac{2}{l} \int_0^l \varphi(x) \sin\left(\frac{\pi n x}{l}\right) dx \\ B_n = \frac{2}{\pi n \alpha} \int_0^l \psi(x) \sin\left(\frac{\pi n x}{l}\right) dx \end{cases} \quad (5)$$

Рассмотрим решение конкретной задачи.

Уравнение формы струны: $\phi(x) = 0,2x - x^2$, Скорость каждой точки струны: $\Psi(x) = \sin(5\pi x)$, Длина струны: $L=0,2$ м, Модуль силы натяжения: $T_0 = 80100$ Н, Плотность струны: $\rho = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Для решения конкретной задачи необходимо найти коэффициенты A_n, B_n , период функции, а также коэффициент a .

$$A_n = -\frac{0,16}{\pi^3 n^3} ((-1)^n - 1)$$

$$B_n = \frac{1}{\pi n a} \left(\frac{0,2}{\pi(1-n)} \sin(\pi(1-n)) - \frac{0,2}{\pi(1+n)} \sin(\pi(1+n)) \right)$$

Исходная функция примет вид:

$$U(x, t) = \left(\frac{0,32}{\pi^3} \cdot \cos(15\pi t) + \frac{0,2}{3\pi} \sin(15\pi t) \right) \sin\left(\frac{\pi x}{0,2}\right) + \sum_{n=2}^{\infty} \left(-\frac{0,16}{\pi^3 n^3} ((-1)^n - 1) \cdot \cos\left(\frac{3\pi n t}{0,2}\right) + \left(\frac{1}{3\pi n} \cdot \left(\frac{0,2}{\pi(1-n)} \sin(\pi(1-n)) - \frac{0,2}{\pi(1+n)} \sin(\pi(1+n)) \right) \right) \cdot \sin\left(\frac{3\pi n t}{0,2}\right) \right) \sin\left(\frac{\pi n x}{0,2}\right)$$

Период данной функции $T = \frac{2l}{a} = \frac{2 \cdot 0,2}{3} = 0,13$; $a^2 = \frac{T_0}{\rho} = \frac{80100}{8900} = 9$
 $a = 3$

Построим графики функции в программе Scilab при $t = 0$; $t = \frac{T}{4}$; $t = \frac{T}{2}$, где $x \in [0; 0,2]$, $n = 1, 3, 5$

В центральной точке струны при $x=0,1$ наша формула примет вид:

$$U(0,1, t) = \left(\frac{0,32}{\pi^3} \cdot \cos(15\pi t) + \frac{0,2}{3\pi} \sin(15\pi t) \right) \sin(0,5\pi) + \sum_{n=2}^{\infty} \left(-\frac{0,16}{\pi^3 n^3} ((-1)^n - 1) \cdot \cos(15\pi n t) \cdot \sin(0,5\pi n) \right)$$

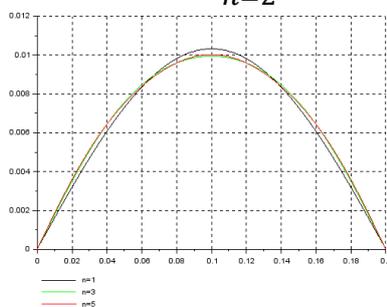


Рисунок 1 – График колебания струны при $t = 0$; $x \in [0; 0,2]$, $n = 1, 3, 5$

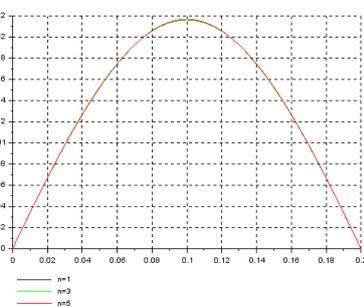


Рисунок 2 – График колебания струны при $t = \frac{T}{4}$; $x \in [0; 0,2]$, $n = 1, 3, 5$

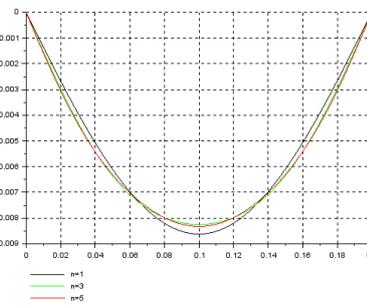


Рисунок 3 – График колебания струны при $t = \frac{T}{2}$; $x \in [0; 0,2]$, $n = 1, 3, 5$

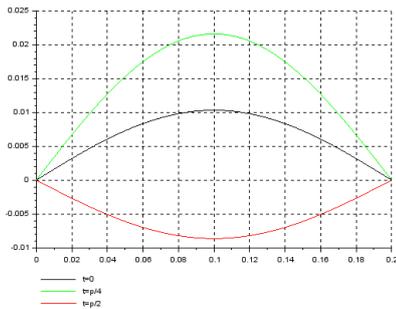


Рисунок 4 – График колебания струны при $t = 0; t = \frac{T}{4}; t = \frac{T}{2}; x[0; 0.2], n = 1$

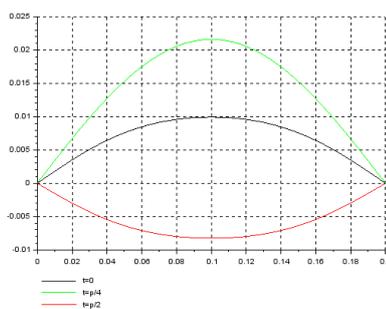


Рисунок 5 – График колебания струны при $t = 0; t = \frac{T}{4}; t = \frac{T}{2}; x[0; 0.2], n = 3$

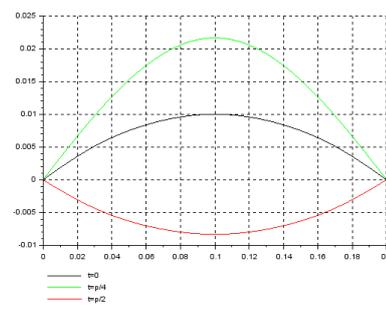


Рисунок 6 – График колебания струны при $t = 0; t = \frac{T}{4}; t = \frac{T}{2}; x[0; 0.2], n = 5$

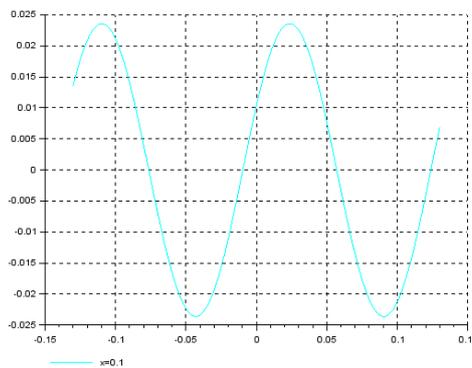


Рисунок 7 – График колебания струны при $t = [-0.13; 0.13]; x = 0.1, n = 1$

Таким образом в любой момент времени t , в любой части струны, мы можем узнать ее форму.

В.П. Караханов (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
 Науч. рук. **В.Ю. Гавриш**, ст. преподаватель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯДА В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Введение. Изучение физических свойств элементарных частиц связано с моделированием их движения. Особенно большое практическое значение подобные исследования имеют для ускорителей, в которых потоки частиц ускоряются внешним электрическим и магнитным полями.

Цель данной работы – продемонстрировать, как без учета квантово-механических эффектов при различных параметрах смоделировать движение частиц во внешнем электромагнитном поле.

Движение частицы в электромагнитном поле. Моделирование движения частицы заряда q массой m проведем в электромагнитном поле с компонентами

$$\vec{E} = \{0, E_y, E_z\}, \quad \vec{H} = \{0, 0, H_z\} \quad (1)$$

(такой выбор направления полей обусловлен дальнейшим решением поставленной задачи). В таком случае уравнения движения частицы

$$m \dot{\vec{v}} = e \vec{E} + \frac{q}{c} [\vec{v} \vec{H}] \quad (2)$$

запишутся в виде [1]

$$\begin{aligned} m \ddot{x} &= \frac{q}{c} \dot{y} H_z, \\ m \ddot{y} &= q E_y - \frac{q}{c} x \dot{H}_z, \end{aligned} \quad (3)$$

$$m \ddot{z} = q E_z.$$

Из последнего уравнения системы (3) посредством интегрирования нетрудно получить, что

$$z(t) = \frac{q E_z}{2m} t^2 + v_{0z} t, \quad (4)$$

т.е. частица движется равноускоренно.

Для решения оставшихся уравнений второе уравнение системы (3) умножим на i и сложим с первым:

$$\ddot{x} + i \ddot{y} = \frac{q}{c} \dot{y} H_z + i q E_y - i \frac{q}{c} x \dot{H}_z, \quad (5)$$

или, упрощая, получим

$$(\ddot{x} + i \ddot{y}) + i \omega (\dot{x} + i \dot{y}) = i \frac{q}{m} E_y, \quad (6)$$

где $\omega = qH/mc$. Рассматривая $\dot{x} + i \dot{y}$ как неизвестное, решение уравнения (6) будем искать как сумму решений данного уравнения с правой частью и без: после нетрудных вычислений имеем, соответственно

$$\dot{x} + i \dot{y} = a e^{i\omega t} + \frac{c E_y}{H_z}, \quad (7)$$

где a – некоторая комплексная неизвестная.

Отделяя действительную и мнимую часть уравнения (7), получаем

$$x = a \cos(\omega t) + c \frac{E_y}{H_z}, \quad \dot{y} = -a \sin(\omega t)$$

(8) или, повторно интегрируя при условии, что $x(0) = y(0) = 0$ из (8) получаем [2]

$$x = \frac{a}{\omega} \sin(\omega t) + c \frac{E_y}{H_z} t,$$

$$y = \frac{a}{\omega} (\sin(\omega t) - 1). \quad (9)$$

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

$$|a| > \frac{cE_y}{H_z} \quad (10)$$

получаем следующую траекторию движения частицы заряда q и массы m :

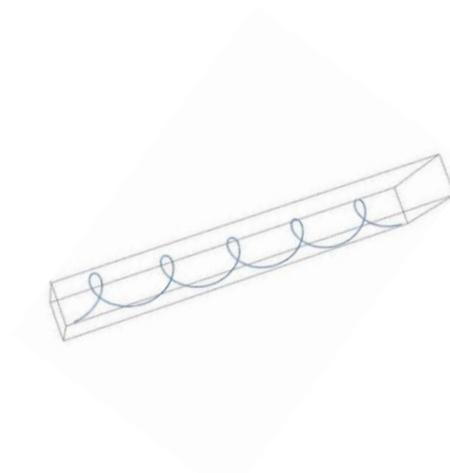


Рисунок 1 – Траектория движения частицы в случае $|a| > \frac{cE_y}{H_z}$

В случае

$$|a| < \frac{cE_y}{H_z}, \quad (11)$$

соответственно, получаем:

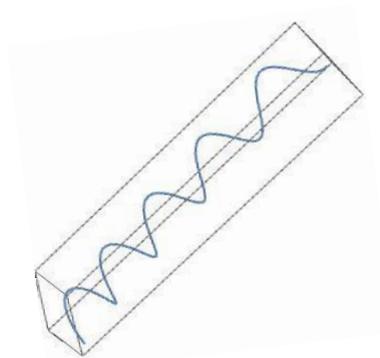


Рисунок 2 – Траектория движения частицы в случае $|a| < \frac{cE_y}{H_z}$

Заключение. Работа посвящена моделированию движения заряженных частиц во внешнем магнитном поле. В ходе работы была показана процедура решения уравнений движения заряженных частиц в электромагнитном поле с последующим моделированием движения при различных параметрах.

Авторы отмечают, что полученные результаты моделирования согласуются с известными результатами [3], что подтверждает достоверность проведенного исследования.

Литература

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособ. для вузов в 10 т.: 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. – Спб.: Издательство «Лань». – 2005. – 496 с.

М.Д. Качан (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
 Науч.рук. **В.А. Лиопо**, д-р физ.-мат. наук, профессор

СУПЕРЯЧЕЙКА ОБРАТНОЙ РЕШЕТКИ КРИСТАЛЛОВ

Ячейке кристалла с параметрами $(a, b, c, \alpha, \beta, \gamma) = (a_j^0 \alpha_j^0)_{j=1,2,3}$ сопоставляется ячейка, которая описывает обратную решетку кристалла с параметрами $(a^*, b^*, c^*, \alpha^*, \beta^*, \gamma^*) = (a_j^* \alpha_j^*)_{j=1,2,3}$. Параметры этих ячеек:

$$a_j^{*(0)} = \frac{a_{j+1}^{0(*)} a_{j+2}^{0(*)} \sin \alpha_j^{0(*)}}{V^{0(*)}}, \quad (1)$$

$$\sin \alpha_j^{0(*)} = \frac{r^{0(*)}}{\sin \alpha_{j+1}^{0(*)} \sin \alpha_{j+2}^{0(*)}}, \quad (2)$$

где

$$r^{0(*)} = (1 - \cos^2 \alpha^{0(*)} \cos^2 \beta^{0(*)} \cos^2 \gamma^{0(*)} + 2 \cos^2 \alpha^{0(*)} \cos^2 \beta^{0(*)} \cos^2 \gamma^{0(*)})^{1/2},$$

где

$V^{0(*)}$ - объемы прямой (обратной) ячеек.

Определяемые по формуле:

$$V^{0(*)} = a^{*(0)} b^{*(0)} c^{*(0)} r^{*(0)}. \quad (3)$$

«Вес» узла обратной решетки описывается значением структурной амплитуды, которая рассчитывается по формуле:

$$F(hkl) = \sum_{j=1}^N f_j \exp 2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j), \quad (4)$$

где f_j - атомная амплитуда рассеяния j -того атома (табличная величина). N - число атомов в ячейке.

Базисом ячейки I-типа является параллелепипед, которому принадлежат узлы (000) ; $(\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2})$, то есть любой точке (любому атому) с координатами (x, y, z) обязательно имеется гомологичная точка (атом) с координатами $(x + \frac{1}{2}, y + \frac{1}{2}, z + \frac{1}{2})$. Следовательно, структурная амплитуда для I-типа решетки примет вид:

$$F(hkl) = 1 + \exp \pi i(\mathbf{h} + \mathbf{k} + \mathbf{l}) \sum_{j=1}^{\frac{N}{2}} f_j \exp 2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j). \quad (5)$$

Постоянное целое число $\mathbf{h} + \mathbf{k} + \mathbf{l}$ может принять два значения $\mathbf{h} + \mathbf{k} + \mathbf{l} = 2n$ (четное), $\mathbf{h} + \mathbf{k} + \mathbf{l} = 2n + 1$ (нечетное).

Все узлы обратной решетки I-типа с нечетной суммой индексов имеют нулевой «вес». Обратная решетка в таком случае имеет вид (рисунок 1(а)). На этом рисунке приведена ячейка с базисом a^*, b^*, c^* , из которого видно что в этой ячейке практически все узлы имеют нулевой «вес» и поэтому необходимо перейти в суперячейке.

Решетка обратна обратной решётки [1] является прямой решёткой. Следовательно, обратная решетка гранецентрированного кристалла описывается объемно-центрированной ячейкой (рисунок 1(б)).

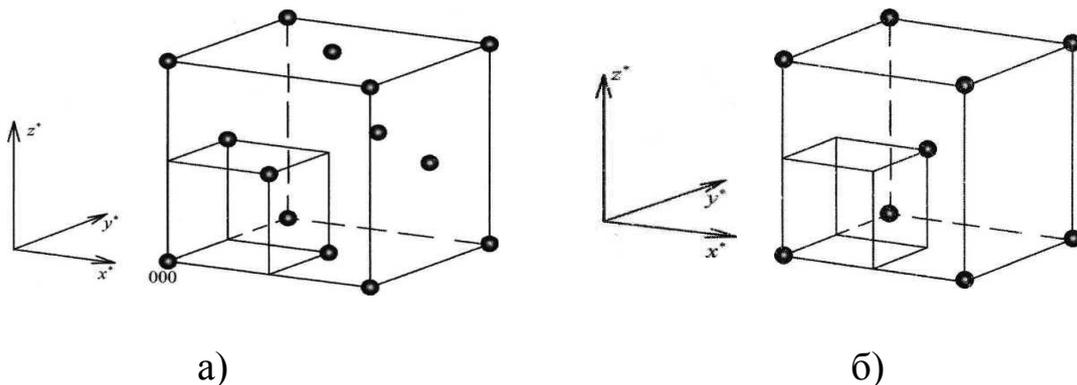


Рисунок 1 – Ячейки обратной (а) и прямой (б) решёток

Базис Бравэ ячеек С - типа имеет значение $000, \frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$. Следовательно, структурная амплитуда таких кристаллов имеет вид:

$$F(hkl) = 1 + e^{\pi i(h+k)} \sum_{j=1}^{\frac{N}{2}} f_j \exp 2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j). \quad (6)$$

Тогда $F(hkl) \neq 0$ только для четной суммы индексов hk на l ограничения не накладываются.

Следовательно, по координатным осям x^* y^* z^* не нулевые узлы будут иметь вид: (для объемно и гранецентрированного кристалла) 200 , 020 , 002 , то есть ячейка построенная на этих узлах будет иметь объем в 8 раз больше чем ячейка с узлами 100 , 010 , 001 , то есть действительно необходимо говорить о суперячейке обратной решетки. Для ячейки С-типа прямого пространства суперячейка обратной решетки имеет узлы $000, 200, 020, 001$. Кроме рассмотренных I, F, C решеток Бравэ возьмем в качестве примера более сложную структуру алмаза.

Ячейка алмаза представляет собой два гранецентрированных куба,

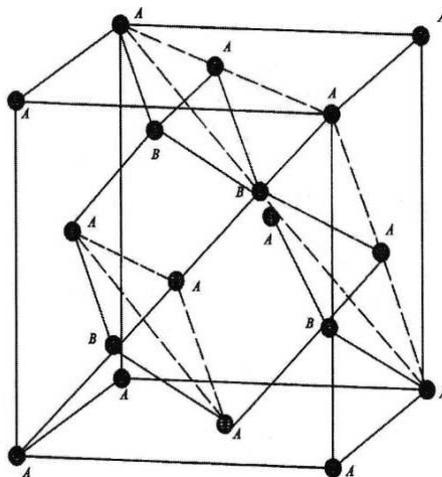


Рисунок 2 – Ячейка решетки кристалла алмаза [2]

сдвинутых друг относительно друга по телесной диагонали куба на трансляцию $(\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4})$ (рисунок 2).

Структурная амплитуда с учетом координат атомов после преобразования примет вид: $F(hkl) = f_c [1 + \exp \pi i(h+k) + \exp \pi i(h+l) + \exp \pi i(k+l) \{1 + \exp [\frac{\pi i(h+k+l)}{2}]\}]$ (7)

Первая скобка в этом выражении не равна нулю для индексов с одинаковой четностью. Если индексы четные, но их сумма равна $4n + 2$, то $F(h,k,l) = 0$. То следует из анализа второй скобки, первые ненулевые узлы для суперячейки алмаза следующие: 400 ; 040 ; 004 . Индексы (h,k,l) в координатной системе $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ все нечетные, то $F(hkl) \neq 0$. Если индексы четные, то их сумма должна делиться на 4 без остатка. Объем этой ячейки в 64 раза больше объема ячейки, построенной на узлах 100 , 010 , 001 .

В результате анализа связей между параметрами прямой и обратной решетки установлено, что формальное соотношение между ними для решёток с не примитивными ячейками Бравэ не могут быть использованы при решении многих задач кристаллофизики, поэтому в результате исследования было предложено для ячеек I, F, C (A, B) типов ввести поня-

тия суперячейки. При анализе, например дисперсионных свойств в обратном пространстве необходимо учитывать не периодичность, a_j^* а периодичность в базисе суперячейки.

Литература

1. Вайнштейн, Б. Современная кристаллография / Б. Вайнштейн. - М.: Наука, 1979. -Т.1. -384 с.
2. Брэгг, У. Кристаллическая структура минералов / У.Брэгг, Г. Кларинбул. - М.: Мир, 1967. -389 с.

А.Ю. Кравченко (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)

Науч. рук. **И.В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-СЕЛЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА В СВЧ И МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНАХ

Взаимодействие электромагнитных волн с живыми организмами с давних пор привлекало внимание исследователей и практиков своими предполагаемыми, хотя и недостаточно изученными возможностями. Особый интерес с этой точки зрения представлял диапазон миллиметровых (ММ) радиоволн, который долгое время оставался наименее освоенным участком спектра электромагнитных излучений.

Внимание ученых привлекла необычная эффективность действия излучений миллиметрового диапазона («крайне высоких частот» – КВЧ) на живые организмы в периоды, когда нарушено их нормальное функционирование. Выяснилась также возможность использования таких излучений для повышения сопротивляемости организма к воздействиям неблагоприятных факторов [1].

Ранее было найдено, что при воздействии ММ-волн на живые системы проявляются важные биологические эффекты, в том числе даже для слабых электромагнитных полей. В результате экспериментальных исследований были обнаружены следующие эффекты: резонансный характер воздействия, наличие порога и «плато» на зависимости эффекта от мощности падающего излучения, кумулятивный характер воздействия, способность миллиметровых волн синхронизировать некоторые биологические процессы, сильное поглощение ММ-волн водой и водными растворами различных органических и неорганических веществ, появление «памяти воды» после облучения воды или водных растворов слабыми ММ-волнами, приобретение водой свойства молекулярного генератора КВЧ-излучения и сохранение этого свойства в

течение нескольких дней или месяцев. Эффект стохастического резонанса может обуславливать повышенную чувствительность биологических систем к воздействию очень слабых ММ-волн («парадокс слабых доз» применительно к ММ-волнам). Но самое главное событие состояло в обнаружении того фундаментального факта, что ММ-волны обладают лечебными свойствами, способны существенно влиять на разные процессы жизнедеятельности организмов, в которых имеются какие-либо отклонения от нормы жизненно важных показателей [2].

Для проведения компьютерного моделирования была получена независимая от платформы полномасштабная вычислительная модель организма человека. Модель включает в себя 26 отдельных тканей и 233 отдельных участка ткани, которые извлекаются из набора данных Visible Human Project®-Female с открытым исходным кодом Национальной библиотеки медицины и в виде трехмерных объектов САПР (треугольные поверхностные сетки) с приблизительно 160 000 граней, в том числе с измененными индексами массы тела (ИМТ), имплантатами и тканями, модифицированными имплантатами. Погрешность отклонения поверхности не превышает 0,5-3 мм в черепе и 7 мм в основном корпусе.

Каждый тканевой объект представляет собой треугольную сетку с двумя многообразиями (no non-manifold faces, no non-manifold vertices, no holes and no self-intersections) (без поверхностей без многообразия, без вершин без многообразия, без отверстий и без самопересечений). Чтобы избежать совпадения объектов в области контактов, которые явно не определены в некоторых моделях САПР, была использована топология «лука». В нашем случае ни одна из тканевых сеток не имеет треугольных граней в контакте с другими поверхностями ткани. Между тканевыми поверхностями всегда имеется небольшое пространство, представляющее тонкие мембраны, разделяющие различные ткани, численно характеризующиеся как ткань (ткани) среднего тела и гарантирующие совместимость между форматами САПР. В то же время существуют ткани, полностью вложенные друг в друга, которые не касаются и не пересекаются.

Модель VHP-Female v.3.0 имеет три различных внешних объекта тела: оболочку кожи, жировую оболочку и среднюю оболочку корпуса. Средняя оболочка тела плотно охватывает все внутренние органы и ткани, она обычно расположена как можно ближе к ним. Объему между внешней оболочкой и жировой оболочкой присваивается свойство «кожи»; он имеет толщину $1 \text{ мм} \pm 0,2 \text{ мм}$ повсюду вокруг тела. Различный объем между жировой оболочкой и средней оболочкой тела присваивается «жирным» свойствам. Это в основном истинный объем жира пред-

мета. Объем внутри самого внутреннего объекта тела (или оболочки) может быть назначен «мускулами» [3].

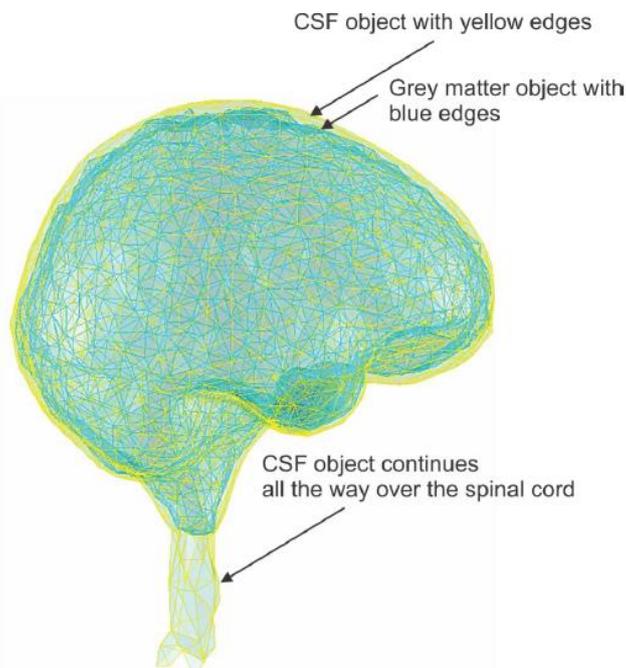


Рисунок 1 – Головной и спинной мозг

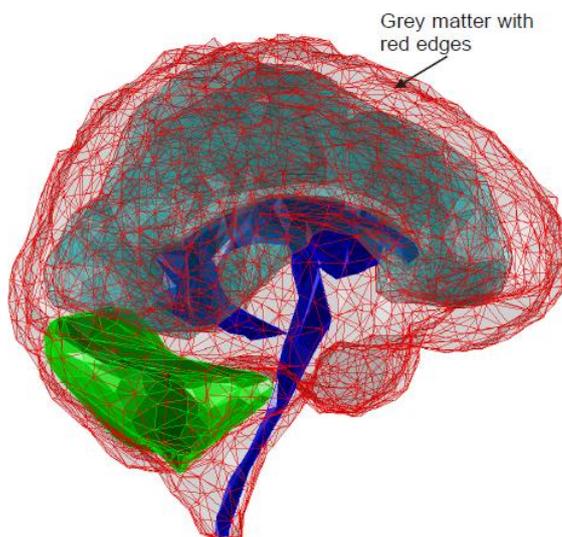


Рисунок 2 – Объект серого вещества, который содержит белое вещество, желудочки CSF и мозжечок

Анализ данной модели проводится с помощью программы CST [4-7], предоставленной Университетом ИТМО (г. Санкт-Петербург). Для каждого рассматриваемого органа были заданы: относительная диэлектрическая проницаемость, относительная магнитная проницаемость, электрическая проводимость, плотность.

Целью данного исследования является проверка предположения: проявляются ли киральные свойства головы человека в СВЧ и КВЧ

диапазонах и возможно ли при этом преобразование поляризации электромагнитного излучения? Для этого модель будет облучаться линейно-, циркулярно- и эллиптически- поляризованной волной при различных направлениях её распространения и для различных частот в рассматриваемом диапазоне.

Литература

1. Девятков Н. Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н. Д. Девятков, М. Б. Голант, О. В. Бецкий. – М.: «Радио и связь», 1991. – 168 с.
2. Бецкий О. В. Миллиметровые волны и живые системы / О. В. Бецкий, В. В. Кислов, Н. Н. Лебедева. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. – 272 с.
3. Application_note_variable_BMI [Electronic resource]. – Made of access: <https://www.nevaelectromagnetics.com> – Date of access: 15.11.17
4. CST MPHYSICS studio [Electronic resource]. – Made of access: <///D:/cst/Documentation/CST%20EM%20STUDIO%20Workflow%20and%20Solver%20Overview.pdf> – Date of access: 15.02.18.
5. CST Studio suite [Electronic resource]. – Made of access: <D:/cst/Documentation/CST%20STUDIO%20SUITE%20Getting%20Started.pdf> – Date of access: 10.01.18.
6. CST Microwave studio [Electronic resource]. – Made of access: <///D:/cst/Documentation/CST%20MICROWAVE%20STUDIO%20Workflow%20and%20Solver%20Overview.pdf> – Date of access: 15.01.18.
7. CST EM studio [Electronic resource]. – Made of access: <///D:/cst/Documentation/CST%20EM%20STUDIO%20Workflow%20and%20Solver%20Overview.pdf> – Date of access: 20.01.18.

В.О. Курбацкий (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **Е.З. Авакян**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА В ОДНОРОДНОМ СТЕРЖНЕ

Как правило основной задачей при проектировании является получение количественных характеристик физических явлений и расчет с заданной степенью точности хода реальных процессов. Математические модели физики позволяют решать такие задачи полностью.

Уравнение теплопроводности представляет собой математическую модель, описывающую процесс распределения тепла в однородном тонком стержне. Относится к дифференциальным уравнениям второго порядка в частных производных параболического типа.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где $u(x, t)$ – температура стержня в точке x в момент времени t , $0 \leq x \leq l, 0 \leq t \leq T$

a – связано с материалом из которого состоит стержень, $\frac{k}{cp} = a^2$.

Чтобы решение уравнения (1) было вполне определено, функция $u(x, t)$ должна удовлетворять крайевым условиям.

Условия, которые соответствуют так называемой *первой краевой задаче* для $0 \leq t \leq T$ следующие:

$$u(x, t) = \varphi(x) \quad (2)$$

$$u(0, t) = \psi_1(t) \quad (3)$$

$$u(l, t) = \psi_2(t) \quad (4)$$

Физически условие (2) (*начальное условие*) соответствует тому, что при $t = 0$ в различных сечениях стержня задана температура, равная $\varphi(x)$. Условия (3) и (4) (*граничные условия*) соответствуют тому, что на концах стержня при $x = 0$ и при $x = l$ поддерживается температура, равная $\psi_1(t)$ и $\psi_2(t)$ соответственно.

Общее решение уравнения методом Фурье:

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-(\frac{\pi n}{l})^2 a^2 t} \sin \frac{\pi n x}{l}, \quad (5)$$

где коэффициент Фурье $A_n = \frac{2}{l} \int_0^l \varphi(x) \sin \frac{\pi n x}{l} dx$. (6)

Рассмотрим решение конкретной задачи.

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, & 0 < x < l, & 0 < t \leq T, & l = 0,1\text{м}, & T = 4\text{с} \\ U(x, 0) = \varphi(x) = x^2 + 3x, & U(0, t) = \psi_1(t) = 0, & U(l, t) = \psi_2(t) = 0,31 \cdot (t + 1) \end{cases}$$

Теплоемкость вещества стержня $c = 903,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Плотность вещества стержня $\rho = 2,71 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Коэффициент теплопроводности $k = 237 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

Для решения конкретной задачи необходимо свести её к задаче с однородными граничными условиями. Произведем замену исходной функции $U(x, t)$ на функцию $V(x, t)$:

$$V(x, t) = U(x, t) - \bar{U}(x, t) \quad (7)$$

где $\bar{U}(x, t) = \psi_1(t) + \frac{x}{l}(\psi_2(t) - \psi_1(t))$ (8)

Таким образом получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial V}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + f(x, t), & 0 < x < l, & 0 < t \leq T \\ V(x, 0) = x^2 + 3x - 0,31 \cdot \frac{x}{l}, & V(0, t) = 0, & V(l, t) = 0 \end{cases}$$

Разложим полученное уравнение в ряд Фурье по синусам:

$$V(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} V_n(t) \sin \frac{\pi n x}{l} \quad (9)$$

Продифференцировав соответственно уравнению и подставив в него результаты получим:

$$\sum_{n=1}^{\infty} V_n'(t) \sin \frac{\pi n x}{l} = -a^2 \sum_{n=1}^{\infty} V_n(t) \left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 \sin \frac{\pi n x}{l} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{\pi n x}{l} \quad (10)$$

Занесем все в общий ряд:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi n x}{l} (V_n'(t) + \left(a \frac{\pi n}{l}\right)^2 V_n(t) - b_n) = 0;$$

$$V_n'(t) + \left(a \frac{\pi n}{l}\right)^2 V_n(t) - b_n = 0, \text{ где } b_n = -\frac{0,62}{l^2} \int_0^l x \sin \frac{\pi n x}{l} dx = \frac{0,62}{\pi n} \cos \pi n$$

Таким образом получаем:

$$V_n'(t) + \left(a \frac{\pi n}{l}\right)^2 V_n(t) - \frac{0,62}{\pi n} \cos \pi n = 0;$$

Решив полученное уравнение вернемся к формуле (9), подставив решение:

$$V(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cdot \frac{0,62}{\pi n} \cdot \left(\frac{l}{a \pi n}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\left(\frac{a \pi n}{l}\right)^2 t}}\right) \cdot \sin \frac{\pi n x}{l} \quad (11)$$

Возвращаясь к исходной функции $U(x, t)$ уравнению, получаем:

$$U(x, t) = 0,31 \cdot \frac{x}{l} \cdot (t + 1) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cdot \frac{0,62}{\pi n} \cdot \left(\frac{l}{a \pi n}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\left(\frac{a \pi n}{l}\right)^2 t}}\right) \cdot \sin \frac{\pi n x}{l} \quad (12)$$

Решим поставленную задачу методом конечных разностей. Частные производные из основного уравнения заменим соответствующими разностями.

$$\frac{u_{i, k+1} - u_{i, k}}{l} = a^2 \frac{u_{i+1, k} - 2u_{i, k} + u_{i-1, k}}{h^2} \quad (13)$$

где $l = \frac{x}{k}, t = kl, k = 1, 2, \dots,$

$$h = \frac{x}{i}, x = ih, i = 1, 2, \dots,$$

Таким образом зная 3 подряд идущих значения в -ом ряду, можем получить значение из $k + 1$ -го ряда:

$$u_{i, k+1} = \left(1 - \frac{2a^2 l}{h^2}\right) u_{i, k} + a^2 \frac{l}{h^2} (u_{i+1, k} + u_{i-1, k}) \quad (14)$$

Для начала найдем значения в узлах ряда, соответствующего начальному условию (2) при $t = 0$. Значения в крайних точках этого отрезка нам известны в силу формул (3) и (4). Так ряд за рядом мы определим значения искомого решения во всех узлах сетки.

Пользуясь формулой (11) построим графики функции в программе Scilab, обозначим их сплошной линией. Для сравнения построим графики функции на основе значений в узлах сетки, полученных методом конечных разностей, обозначим их штриховой линией.

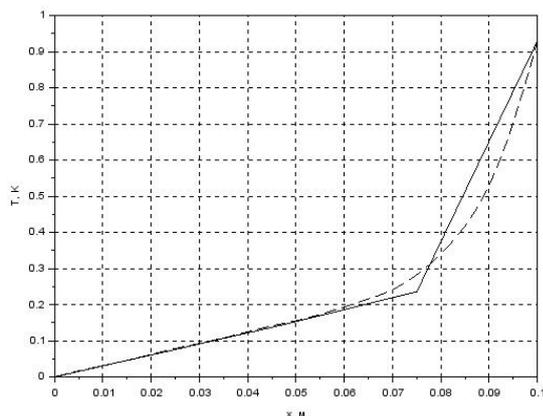


Рисунок 1 – График распределения тепла в стержне длины $l = 0,1$ м в момент времени $t_0 = 2$ с

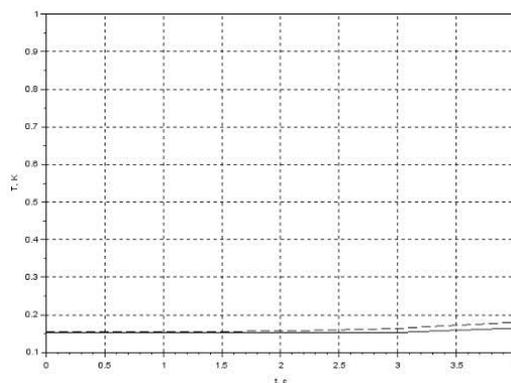


Рисунок 2 – График изменения температуры в стержне в точке $x = 0,05$ м за время $0 \leq t \leq 4$ с

Таким образом практическим путем было доказано, что имея условия, соответствующие первой краевой задаче, основные характеристики материала и зная основное уравнение теплопроводности можно разложить функцию в бесконечный ряд Фурье, и ограничив сумму некоторым целым значением, можно получить точное решение в точке стержня x в момент времени t .

В.А. Лисовский (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
 Науч. рук. **В.В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, доцент

ИНТЕРНЕТ-ПРАКТИКУМ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИМВОЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ»

Сегодня Интернет является одним из самых современных и революционных средств передачи информации. Интернет или Всемирную паутину образуют миллионы Web-серверов сети Интернет, расположенных по всему миру.

Ни для кого не секрет, что большинство современных сайтов создается при помощи CMS или просто «движков». Что не удивительно, ведь

CMS позволяют существенно сэкономить деньги и сократить время создания сайта. Движков существует великое множество, как платных, например, Bitrix, так и бесплатных – Drupal, Joomla, WordPress.

Одним из наиболее гибких и дружелюбных по отношению к новичкам в создании сайтов движком является WordPress.

WordPress – система управления содержимым сайта с открытым исходным кодом. Написана на PHP. создания данной платформы начинается с разработки cms b2. Системы, обладающие такими же, как у WordPress, функциями, возможностями и гибкостью, стоили бы десятки и даже сотни тысяч долларов. WordPress же является бесплатным программным обеспечением с открытым исходным кодом, которое можно загрузить и установить за несколько минут. Кроме того, подключаемые модули и темы расширяют заложенные в платформу возможности.

WordPress использует контроль на уровне пользователей при доступе к различным возможностям, так что вы можете ограничить возможность каждого пользователя создавать или править содержимое вашего сайта, меняя его уровень доступа. Каждый пользователь вашего сайта может настроить свой профиль, например, адрес электронной почты, мессенджеры и т.д. Так же пользователи могут управлять отображением этих данных в комментариях, публикациях и различных вкладках.

WordPress использует шаблоны для генерации динамических страниц. Вы можете управлять отображением содержания путем редактирования шаблонов с помощью инструмента Редактор шаблонов и Теги шаблонов.

В WordPress встроен редактор файлов, который можно использовать для редактирования шаблонов и связанных с ним файлов, прямо в браузере, без необходимости скачивать их для редактирования или иметь к ним доступ по FTP. Вы можете расширить функциональность ядра вашего сайта используя плагины. WordPress имеет встроенный поисковый инструмент, который позволяет посетителям вашего сайта искать по терминам интересующую и информацию. Файлы WordPress содержат большое количество полезных PHP функций. Некоторые из функций, известные как Теги шаблонов, сделаны специально для использования в темах (шаблонах) WordPress.

Благодаря WordPress мною был создан лабораторный Интернет-практикум по спецкурсу «Программирование символьных вычислений»

На рисунке 1 можно увидеть внешний вид главной страницы практикума.

Практикум содержит, как лабораторные работы по спецкурсу «Программирование символьных вычислений» так и информацию справочного характера по Wolfram Mathematica, в нем присутствует сведения о простейших вычислениях в системе.

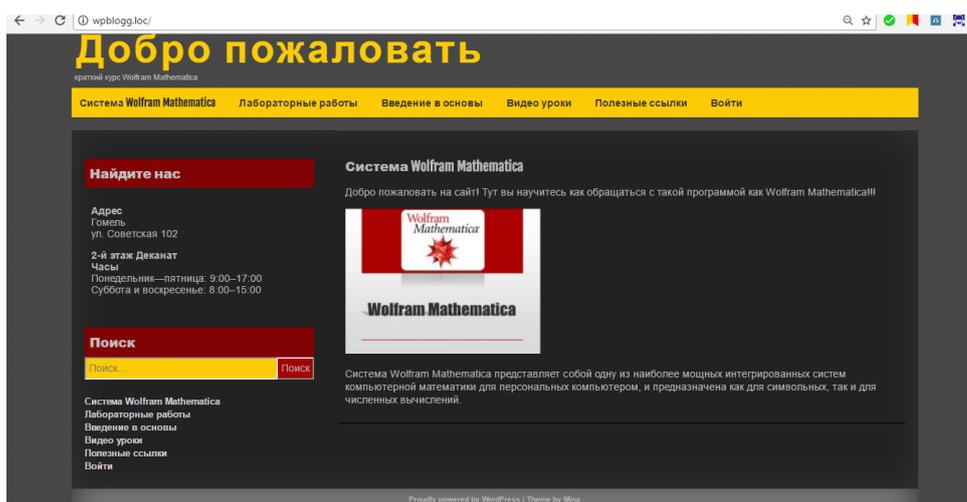


Рисунок 1– Главная страница

Wolfram Mathematica это программное обеспечение, не только для математических вычислений, это гораздо больше: от моделирования и симуляции, визуализации, документации, до создания веб-сайтов. Mathematica обладает возможностью осуществлять вызовы функций и принимать вызовы с C, .NET, Java и других языков, генерировать C код, компилировать автономные библиотеки и исполняемые файлы.

Система Wolfram Mathematica представляет собой одну из наиболее мощных интегрированных систем компьютерной математики для персональных компьютеров, и предназначена как для символьных, так и для численных вычислений.

Кроме того, Wolfram Mathematica – это интерпретируемый язык функционального программирования. Можно сказать, что система Mathematica написана на языке Mathematica, хотя некоторые функции, особенно относящиеся к линейной алгебре, в целях оптимизации были написаны на языке Си.

В Интернет-практикуме присутствуют видео уроки по Wolfram Mathematica. Видео уроки находятся, как в самих статьях, так и в специальном разделе – Видео уроки. В пособии существует система перекрестных ссылок и ссылки на официальные источники, которые помогают быстро находить нужную информацию и дают возможность посещения официальных сайтов.

Данный Интернет-практикум включает следующие страницы:

- Система Wolfram Mathematica;
- Лабораторные работы;
- Введение в основы;
- Видео уроки;
- Полезные ссылки.

Благодаря сайту можно использовать данный материал при чтении лекций и проведении практических занятий студентов.

Литература

1. Воробьёв, Е.М. Введение в систему Mathematica / Е.М. Воробьёв. – М.: Финансы и статистика, 1998.
2. Википедия [Электронный ресурс] / WordPress – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/WordPress>. – Дата доступа: 22.04.2017.

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

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТОКОВ В ДВОЙНОЙ ДНК-ПОДОБНОЙ СПИРАЛИ

Формулы для проекций силы магнитного взаимодействия одной спирали с физически малым участком второй спирали на декартовы оси координат в случае постоянного тока получены в работе [2]. Обобщив их на случай не постоянного, а квазистационарного тока, получим следующие соотношения:

Компонента X:

$$\langle dF_x^{mag} \rangle_t = \frac{\Omega}{2} \sin \alpha \cdot ctg^3 \alpha \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[\sin u + (u_s - u) \cos u] \cos(\frac{Pu}{\lambda})}{[(u_s - u)^2 + 2ctg^2 \alpha (1 + \cos u)]^{3/2}} du \quad (1)$$

Компонента Y:

$$\langle dF_y^{mag} \rangle_t = -tg \alpha \langle dF_x^{mag} \rangle_t \quad (2)$$

Компонента Z:

$$\langle dF_z^{mag} \rangle_t = \frac{\Omega}{2} \sin \alpha \cdot ctg^2 \alpha \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[(1 - ctg^2 \alpha)(1 + \cos u) - (u_s - u) \sin u] \cos(\frac{Pu}{\lambda})}{[(u_s - u)^2 + 2ctg^2 \alpha (1 + \cos u)]^{3/2}} du \quad (3)$$

В этих формулах $\Omega = \frac{\mu_0 I_{\max}^2}{4\pi r} dl_1$ - общий нормировочный множитель, P - длина одного витка спирали, λ - длина волны квазистационарного тока, α - угол подъема спирали, $u_s = qx_s$, где q - удельное кручение спирали, $|q| = \frac{2\pi}{h}$, где h - шаг спирали. Для правозакрученных спиралей $q > 0$, а для левозакрученных $q < 0$. Величина x_s показывает взаимное смещение спиралей вдоль их оси (смотри рисунок 1).

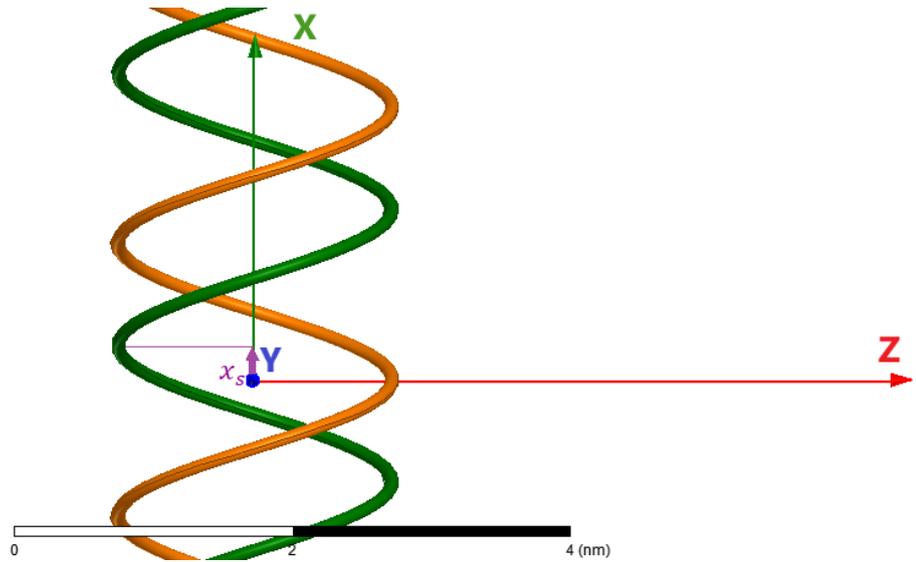


Рисунок 1 – Двойная ДНК-подобная спираль

В данном случае мы рассматриваем очень длинную, но не бесконечную спираль. Тогда бегущая по спирали электромагнитная волна отражается от края спирали и во всей спирали возникает стоячая волна. В приведенных выше соотношениях в качестве физически малого элемента второй спирали мы рассматривали участок пучности тока, в котором ток достигает максимального значения, а плотность заряда равна нулю. Кроме того, существуют участки пучности заряда. Для такого участка сила магнитного взаимодействия будет равна нулю, поскольку ток равен нулю, однако возникнет сила кулоновского взаимодействия с зарядами во второй спирали. Для компонент этих сил можно получить выражения аналогичным способом. Приведем их без подробного вывода.

Компонента X:

$$\langle dF_x^{el} \rangle_t = \frac{\Omega \operatorname{ctg} \alpha}{2 \sin \alpha} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(u_s - u) \cos\left(\frac{Pu}{\lambda}\right)}{[(u_s - u)^2 + 2\operatorname{ctg}^2 \alpha (1 + \cos u)]^{3/2}} du \quad (4)$$

Компонента Y:

$$\langle dF_y^{el} \rangle_t = \frac{\Omega \operatorname{ctg}^2 \alpha}{2 \sin \alpha} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin u \cos\left(\frac{Pu}{\lambda}\right)}{[(u_s - u)^2 + 2\operatorname{ctg}^2 \alpha (1 + \cos u)]^{3/2}} du \quad (5)$$

Компонента Z:

$$\langle dF_z^{el} \rangle_t = -\frac{\Omega \operatorname{ctg}^2 \alpha}{2 \sin \alpha} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(1 + \cos u) \cos\left(\frac{Pu}{\lambda}\right)}{[(u_s - u)^2 + 2\operatorname{ctg}^2 \alpha (1 + \cos u)]^{3/2}} du \quad (6)$$

Отметим, что для численный расчет показывает, что для компонент X и Y сил электрического взаимодействия выполняется соотношение

$\langle dF_y^{el} \rangle_t = -tg\alpha \langle dF_x^{el} \rangle_t$, аналогичное соотношению (2) для компонент сил магнитного взаимодействия.

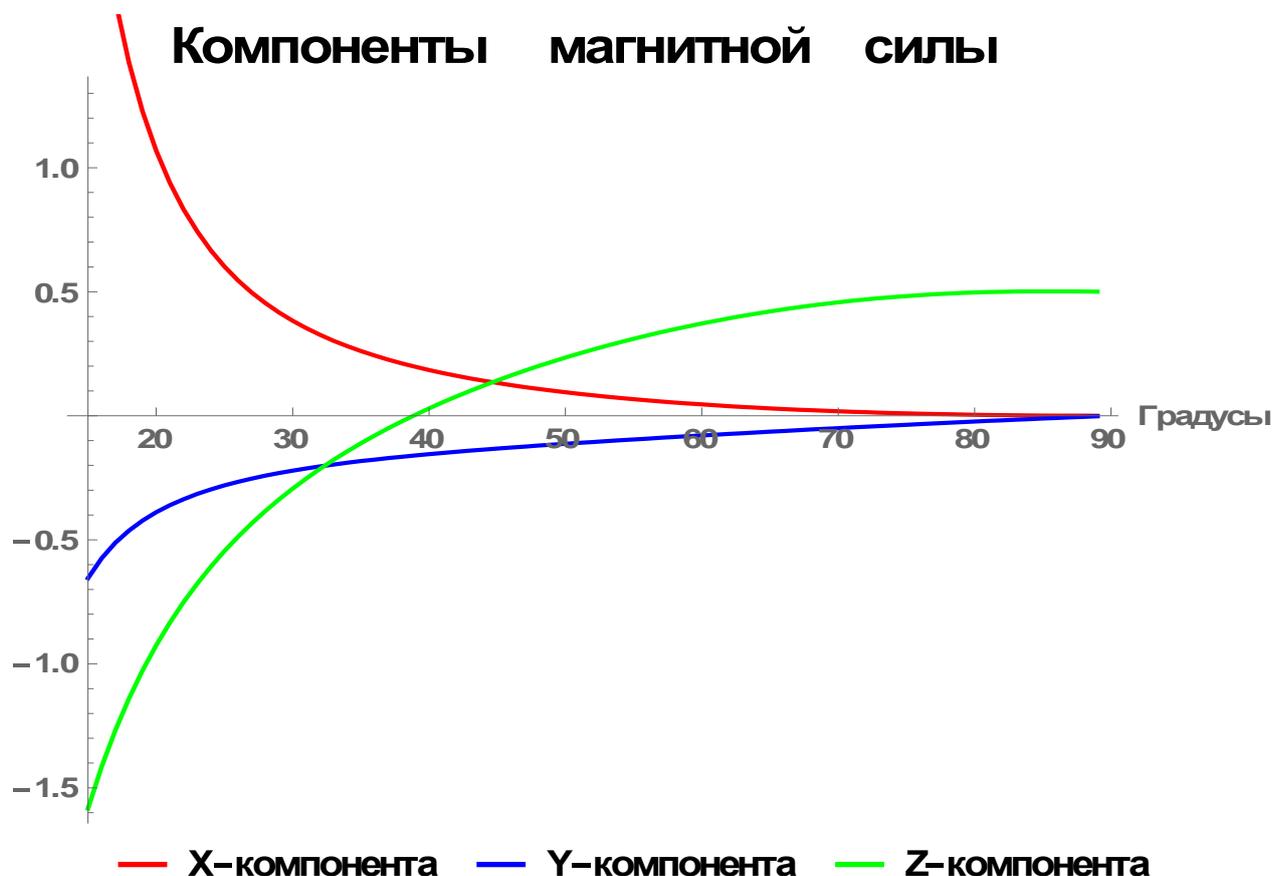


Рисунок 2 – Нормированные значения компонент магнитной силы в зависимости от угла подъема спирали

Для каждой из компонент сил получим графическую зависимость нормированного значения этой компоненты от угла подъема спирали. В данном случае, для примера, выбрано соотношение $\frac{P}{\lambda} = 0.01$, реализованное в реальных условиях.

Приведенные выше соотношения выведены для случая постоянного и квазистационарного тока, однако они не годятся для случая больших частот, поскольку для их вывода использовались законы электро- и магнитостатики – закон Кулона, закон Био-Савара. Электро- и магнитостатика являются частным случаем электродинамики. Поэтому, если мы хотим рассматривать высокочастотные токи, нам в дальнейшем нужно использовать универсальные электродинамические соотношения: силу Лоренца, скалярный и векторный потенциалы, уравнения Максвелла.

Компоненты электрической силы

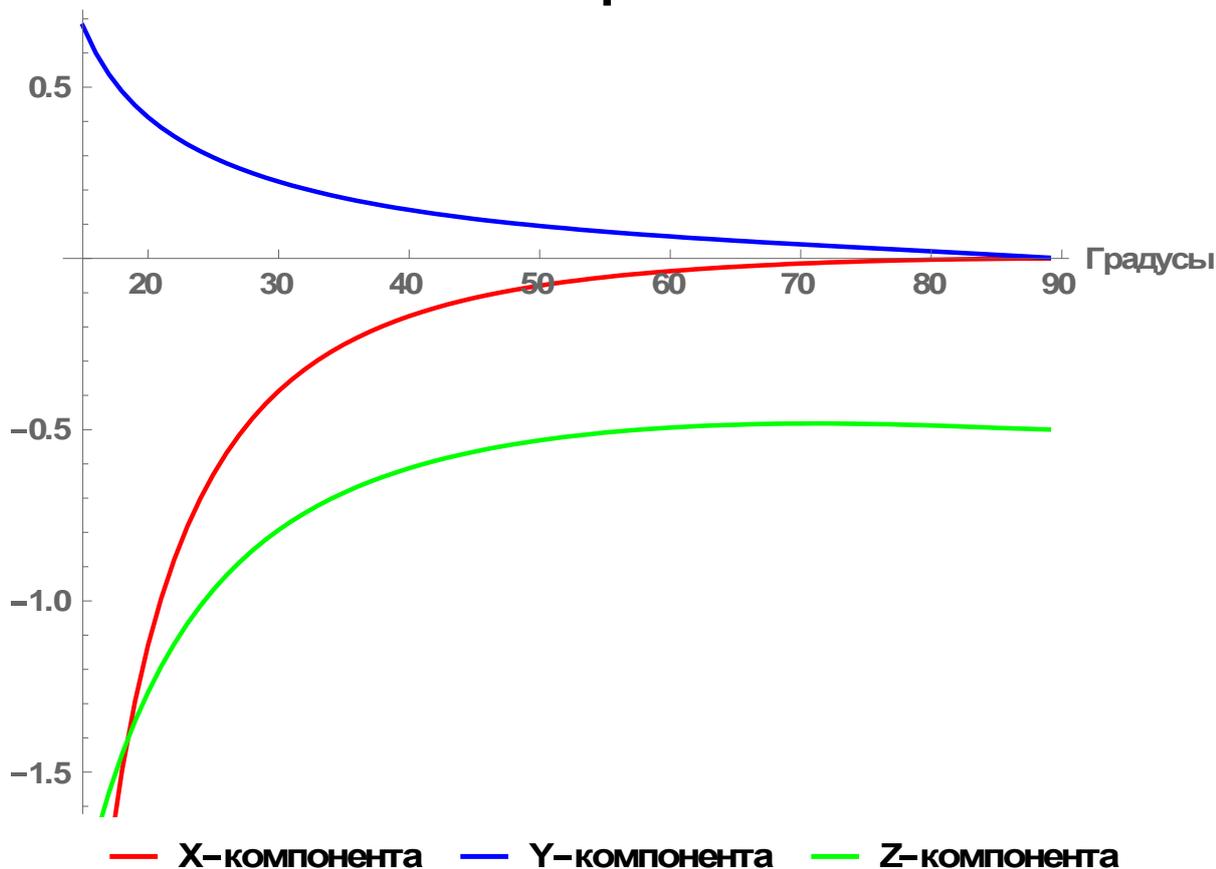


Рисунок 3 – Нормированные значения компонент электрической силы в зависимости от угла подъема спирали

Литература

1. Михалко И.С. Взаимодействие постоянного тока в двухзаходной спирали [Электронный ресурс] / И.С. Михалко, И.В. Семченко // Актуальные вопросы физики и техники: V Республиканская научная конференция студентов и аспирантов (Гомель, 21 апреля 2016 г.): материалы: в 3 ч. Ч.2. – Электрон. дан. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2016.

2. Михалко И.С. Взаимодействие постоянных токов в двойной ДНК-подобной спирали [Электронный ресурс] / И.С. Михалко, И.В. Семченко // Актуальные вопросы физики и техники : VI Республиканская научная конференция студентов и аспирантов (Гомель, 26 апреля 2017 г.): материалы: в 3 ч. Ч.2. – Электрон. дан. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017.

3. Калашников С.Г. Электричество / С.Г. Калашников. – М.: Физматлит, 2003. – 624 с.

А. А. Некрашевич (ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CAD/CAM/CAE-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ И ДИЗАЙНЕРСКИХ РЕШЕНИЙ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ

Современные интегрированные CAD/CAM/CAE-системы, применяемые на предприятиях машиностроения и при производстве корпусной мебели, являются эффективным инструментом автоматизации инженерного труда и организации производства и позволяют решать достаточно широкий круг задач: построение геометрической и математической модели изделия, анализ и оценку функциональных и эксплуатационных свойств с помощью методов моделирования на различных уровнях физического представления проектируемых объектов, визуализацию технологических процессов производства изделий, моделирование кинематики и динамики различных механизмов, генерацию управляющей программы для систем ЧПУ, инженерный анализ проектируемых объектов, подготовку и выпуск проектной и конструкторской документации и т.д. [1].

Проектирование изделий в мебельной промышленности имеет существенную специфику, обусловленную их материально-художественной сущностью. Необходимыми его этапами являются инновационная дизайнерская проработка и композиционное формообразование [2, 3]. Особая роль при создании элементов корпусной мебели принадлежит производству функциональных и декоративных полимерных изделий, которые в основном применяются при формировании каркаса корпусной мебели в качестве комплектующих и фурнитуры.

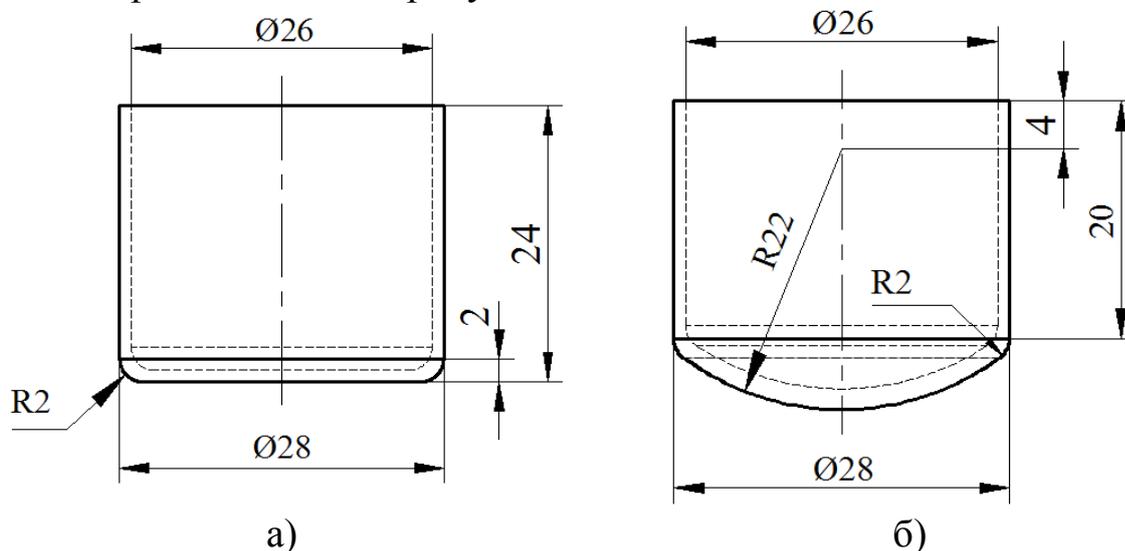
Целью исследований являлась оптимизация конструкторских и дизайнерских решений полимерного изделия «Заглушка ножки стула» с помощью современных САПР, реализующих принцип CALS.

В качестве объекта исследования выступал элемент корпусной мебели, производимой на ИП «Хаменя» (г. Гродно) – деталь «Заглушка», представляющая собой тело вращения с несквозным отверстием, в которое устанавливается ножка стула. Деталь выполняет декоративную функцию и предотвращает повреждение напольного покрытия, на котором установлен стул. Изготавливается из полипропилена с добавлением красителя методом литья под давлением. Заглушка применяется для стульев и столов, изготовленных на трубчатом каркасе, который оплетается искусственным ротангом.

Для построения геометрических моделей объекта исследования применяли систему трехмерного моделирования SolidWorks 2014, которая позволяет осуществлять трехмерное твердотельное и поверхностное

параметрическое проектирование, создавать объемные детали и составлять сборки в виде 3-мерных электронных моделей, которые в дальнейшем можно использовать для организации двухмерных чертежей и спецификации согласно требованиям ЕСКД. Анализ напряженно-деформированного состояния объекта исследований осуществляли во встроенном в интегрированную систему SolidWorks 2014 модуле конечно-элементного анализа SolidWorks Simulation.

Для улучшения эстетического вида и повышения технического ресурса детали «Заглушка ножки стула» нами предложена оптимизированная конструкция со сферической формой дна, которая также позволяет при установке стула с наклонными ножками на напольном покрытии обеспечивать улучшенную устойчивость. Геометрические особенности стандартной и оптимизированной конструкций заглушки в виде эскизов представлены на рисунке 1.



а) – стандартная конструкция; б) – оптимизированная конструкция

Рисунок 1 – Эскиз детали «Заглушка ножки стула»

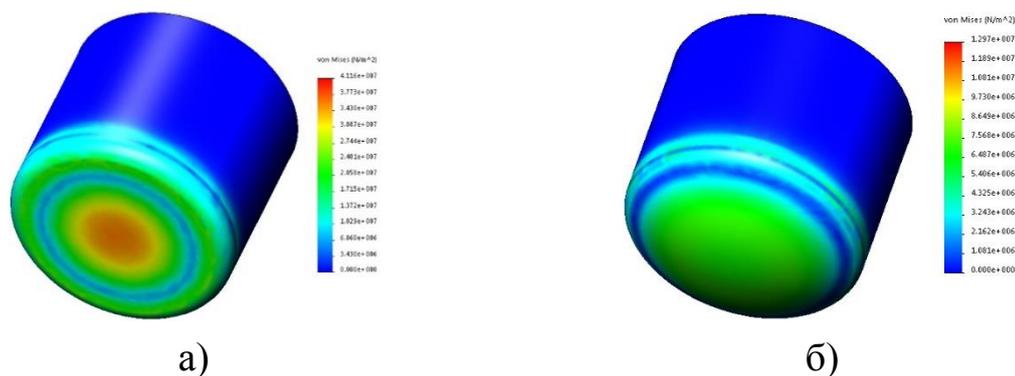
Результаты исследования напряженно-деформированного состояния стандартной и оптимизированной конструкций детали «Заглушка ножки стула» показаны на рисунке 2.

Оценку напряженно-деформированного состояния проводили по критерию максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу.

Разработанные оптимизационные решения заглушки ножки стула позволили снизить внутренние напряжения в 3,2 раза по сравнению со стандартной конструкцией.

Таким образом, проведенные исследования напряженно-деформированного состояния изделия «Заглушка ножки стула» показали адекватность выбора предложенных конструкторских и дизайнерских решений с применением технологий трехмерного моделирования.

Разработанные решения позволили повысить эффективность производственной деятельности ИП «Хаменя» (г.Гродно).



а) – стандартная конструкция; б) – оптимизированная конструкция

Рисунок 2 – Эпюры максимальных эквивалентных напряжений детали «Заглушка ножки стула»

Литература

1. Ли, К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб. : Питер, 2004. – 560 с.
2. Барташевич, А. А. Конструирование мебели: учеб. / А. А. Барташевич, С. П. Трофимов. – Минск: Современная школа, 2006. – 336 с.
3. Бунаков, П. Ю. Автоматизация проектирования корпусной мебели: основы, инструменты, практика / П. Ю. Бунаков, А. В. Стариков. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 864 с.

И.С. Нельп (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
 Науч. рук. **Г.Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОБ АНАЛОГАХ ФОРМУЛЫ МАЙЕРА

В равновесной термодинамике идеального газа разница молярных изобарной и изохорной теплоемкостей называется формулой Майера [1]

$$C_p - C_v = R. \quad (1)$$

Она позволяет в рамках феноменологического метода определить значение универсальной газовой постоянной R , а также помогает рассчитывать постоянные адиабаты γ для различных видов газов в указанном приближении так как

$$C_p / C_v = \gamma \quad (2)$$

В более общем немолярном случае, исходя из дифференциальных определений теплоемкостей, их разница может быть выражена через термодинамические коэффициенты

$$C_p - C_v = T \frac{\left(\frac{dP}{dT}\right)_v}{\left(\frac{dV}{dT}\right)_p} \quad (3)$$

Результаты расчетов на основе формулы (3) для полуэмпирических уравнений состояния неидеальных газов часто называются аналогами формулы Майера. Их нахождению для шести наиболее используемых в настоящее время двухпараметрических приближений и посвящена эта работа.

Для классического уравнения состояния Ван-дер-Ваальса

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}$$

искомая разница с учётом малости параметров a и b оказывается равной

$$C_p - C_v = R \cdot \left(1 + \frac{2a}{PV^2}\right), \quad (4)$$

что согласуется с результатом [1].

Теперь обратимся к менее изученным уравнениям и приведем результаты наших расчетов:

а) уравнение Бергло:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{TV^2},$$

для него

$$C_p - C_v = R \left(1 + \frac{4a}{RT^2V}\right); \quad (5)$$

б) первое уравнение Дитеричи:

$$P = \frac{RT}{V - b} \cdot e^{\left[-\frac{a}{VT^2R}\right]},$$

для него

$$C_p - C_v = R \left(1 + \frac{a}{RVT^2}\right); \quad (6)$$

в) второе уравнение Дитеричи:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^{5/3}},$$

для которого

$$C_p - C_v = R \left(1 + \frac{5}{3} \frac{a}{PV^{5/3}}\right); \quad (7)$$

г) уравнение Редлиха–Квонга:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{\sqrt{T}V(V + b)}$$

с разностью

$$C_p - C_v = R \left(1 + \frac{3a}{RVT^{3/2}} \right); \quad (8)$$

д) уравнение Исикавы–Чанга–Лу с параметрами $a \neq a(T)$, $b \neq b(T)$ [2]:

$$P = \frac{(2V + b)RT}{(2V - b)V} - \frac{a}{T^{1/2}V(V + b)}$$

с разностью теплоемкостей

$$C_p - C_v = R \left(1 + \frac{3a}{RVT^{3/2}} \right). \quad (9)$$

Полученные аналоги формулы Майра (4) – (9) могут быть широко использованы при решении задач термодинамики реального газа, а также при обработке эмпирического материала.

Интересен тот факт, что определение (3) может быть видоизменено для негазовых систем, например, для идеального стержня оно примет вид

$$C_f - C_l = -T \frac{\left(\frac{df}{dT} \right)_l}{\left(\frac{dT}{dl} \right)_f}.$$

Использование уравнения состояния идеального стержня [1] приводит к результату

$$C_f - C_l = 0.$$

Таким образом, в работе получены аналоги формулы Майера для шести наиболее используемых двухпараметрических полуэмпирических уравнений состояния реального газа. И показана возможность расчета аналогичных выражений для негазовых систем.

Литература

1. Румер, Ю.Б. Термодинамика, статическая физика и кинетика / Ю.Б Румер, М.Ш. Рывкин. – Новосибирск: Издательство Новосибирского университета, 2007. – 446 с.
2. Дей, Е.А. Свойства неидеального газа в модели Исикавы–Чанга–Лу / Е.А. Дей, Г.Ю. Тюменков // Проблемы физики, математики и техники. – 2017. – № 4(33). – С.11–16.

ОПЕРАТОР ЛАПЛАСА В КРИВОЛИНЕЙНЫХ КООРДИНАТАХ

Оператор Лапласа находит широкое применение в различных задачах физики. Однако, при вычислении результатов его действия на скалярную $U(q^i)$ и векторную $\vec{a}(q^i)$ функции в криволинейных координатах обычно используют известные формулы векторного анализа [1; 2]

$$\Delta U(q^i) = \text{div grad } U(q^i) \quad \text{и} \quad \Delta \vec{a}(q^i) = \text{grad div } \vec{a}(q^i) - \text{rot rot } \vec{a}(q^i). \quad (1)$$

Такой подход фактически сводит вычисление искомых результатов к дифференциальным операциям теории поля и не использует явный вид оператора Лапласа в криволинейных координатах. Представляет определенный интерес получить явный вид оператора Лапласа в криволинейных координатах исходя из его формального определения

$$\Delta = \vec{\nabla} \vec{\nabla}, \quad (2)$$

где $\vec{\nabla}$ – оператор Гамильтона (набла).

Учитывая, что оператор набла является вектором, запишем его в виде $\vec{\nabla} = \vec{e}^i \frac{\partial}{\partial q^i}$. Напомним, что в приведенном выражении по одинаковым (немым) индексам как обычно предполагается суммирование. Тогда, согласно (2), имеем

$$\begin{aligned} \Delta &= \vec{\nabla} \vec{\nabla} = (\vec{e}^i \frac{\partial}{\partial q^i})(\vec{e}^j \frac{\partial}{\partial q^j}) = g^{ik} \vec{e}_k \frac{\partial}{\partial q^i} (\vec{e}^j \frac{\partial}{\partial q^j}) = \\ &= g^{ik} \vec{e}_k \frac{\partial \vec{e}^j}{\partial q^i} \frac{\partial}{\partial q^j} + g^{ik} \vec{e}_k \vec{e}^j \frac{\partial^2}{\partial q^i \partial q^j} = g^{ij} \frac{\partial^2}{\partial q^i \partial q^j} + g^{ik} \vec{e}_k \frac{\partial \vec{e}^j}{\partial q^i} \frac{\partial}{\partial q^j}. \end{aligned} \quad (3)$$

При выводе выражения (3) было использовано условие ортогональности векторов взаимных базисов

$$\vec{e}^i \vec{e}_j = \delta_j^i,$$

где δ_j^i – символ Кронекера.

Из того же условия нетрудно получить, что

$$\frac{\partial \vec{e}^j}{\partial q^i} = -\Gamma_{ik}^j \vec{e}^k, \quad (4)$$

где Γ_{ik}^j – символы Кристоффеля 2-го рода.

Тогда, с учетом (4), выражение (3) принимает вид

$$\Delta = g^{ij} \frac{\partial^2}{\partial q^i \partial q^j} - g^{ik} \bar{e}_k \Gamma_{is}^j \bar{e}^s \frac{\partial}{\partial q^j} = g^{ij} \frac{\partial^2}{\partial q^i \partial q^j} - g^{is} \Gamma_{is}^j \frac{\partial}{\partial q^j}.$$

Отсюда, используя свойство немых индексов, окончательно получаем

$$\Delta = g^{ij} \left(\frac{\partial^2}{\partial q^i \partial q^j} - \Gamma_{ij}^s \frac{\partial}{\partial q^s} \right). \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет записать оператор Лапласа в любых, как ортогональных, так и неортогональных, криволинейных координатах.

В качестве примера получим выражение оператора Лапласа в цилиндрических координатах ($q^1 = \rho; q^2 = \varphi; q^3 = z$). Отличные от нуля компоненты метрического тензора и символы Кристоффеля 2-го рода равны:

$$g^{11} = g^{33} = 1, \quad g^{22} = \frac{1}{\rho^2}; \quad \Gamma_{22}^1 = -\rho, \quad \Gamma_{12}^2 = \Gamma_{21}^2 = \frac{1}{\rho}.$$

Тогда, согласно (5), получаем

$$\begin{aligned} \Delta &= g^{11} \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + g^{22} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + g^{33} \frac{\partial^2}{\partial z^2} - g^{11} \Gamma_{11}^j \frac{\partial}{\partial q^j} - g^{22} \Gamma_{22}^j \frac{\partial}{\partial q^j} - g^{33} \\ &\Gamma_{33}^j \frac{\partial}{\partial q^j} = \\ &= \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{\rho^2} \Gamma_{22}^1 \frac{\partial}{\partial \rho} = \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho}. \end{aligned} \quad (6)$$

Отметим, что выражение (6) совпадает с известным [2].

В качестве еще одного примера получим выражение оператора Лапласа в обобщенных полярных координатах ($q^1 = r; q^2 = \varphi$), связанных с декартовыми соотношениями

$$x = ar \cos \varphi, \quad y = br \sin \varphi \quad (a > 0; b > 0; a \neq b).$$

Особенностью этих координат является их неортогональность.

Вычисленные метрические тензоры имеют вид:

$$[g_{ij}] = \begin{bmatrix} a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi & (b^2 - a^2)r \sin \varphi \cos \varphi \\ (b^2 - a^2)r \sin \varphi \cos \varphi & r^2 (a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$[g^{ij}] = \begin{bmatrix} \frac{a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi}{a^2 b^2} & \frac{(a^2 - b^2) \sin \varphi \cos \varphi}{a^2 b^2 r} \\ \frac{(a^2 - b^2) \sin \varphi \cos \varphi}{a^2 b^2 r} & \frac{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}{a^2 b^2 r^2} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Выражения (7) и (8) позволяют стандартным способом вычислить символы Кристоффеля. Отличные от нуля символы Кристоффеля 2-го рода равны:

$$\Gamma_{22}^1 = -r; \Gamma_{12}^1 = \Gamma_{21}^1 = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2 b^2} (a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi) \sin 2\varphi; \Gamma_{12}^2 = \Gamma_{21}^2 = \frac{1}{r}.$$

Тогда из (5), аналогично рассмотренному выше примеру, находим

$$\Delta = \frac{a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi}{a^2 b^2} \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}{a^2 b^2} \varphi \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) - \frac{(b^2 - a^2) \sin 2\varphi}{a^2 b^2 r} \left(\frac{\partial^2}{\partial r \partial \varphi} + \frac{(b^2 - a^2)}{a^2 b^2} (a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi) \sin 2\varphi \frac{\partial}{\partial r} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} \right).$$

Отсюда, при $a = b = 1$ (полярная система координат), получаем

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r},$$

Что совпадает с известным выражением [1,2], а также с результатом (6) при $\rho = r$ и $z = 0$.

Литература

1. Болсун, А. И. Методы математической физики: учеб. пособие/ А.И. Болсун, В.К. Гронский, А.А. Бейда. – Мн.: Высш. шк., 1988. – 199 с.
2. Димитриенко, Ю. И. Тензорное исчисление: учеб. пособие/ Ю.И. Димитриенко. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.

А.С. Парахневич (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
 Науч. рук. **О.М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ДАННЫЕ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЯДРА ЦЕЗИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ЯДЕРНЫХ ДАННЫХ НИИЯФ МГУ

Важной задачей изучения характеристик атомных ядер и ядерных реакций является разработка методов комбинированного анализа различных экспериментов и оценка систематических погрешностей. Такая задача требует для своего решения одновременного доступа к результатам различных экспериментов, т.е. к базам экспериментальных данных. Базы данных (БД) являются основой для детального и системного анализа накопленной информации.

Продемонстрируем методы извлечения информации о ядрах и ядерных реакциях через банки ядерных данных ЦДФЭ НИИЯФ МГУ. Web-сайт Центра данных фотоядерных экспериментов НИИЯФ МГУ – система реляционных баз ядерных данных. Доступ к содержанию БД возможен с главной страницы Web-сайта ЦДФЭ (смотри рисунок 1).



Рисунок 1 – Главная страница Web-сайта ЦДФЭ

Для каждой БД кроме доступа к содержанию организован доступ к разделу «Описание», в котором даны краткие сведения о БД. Помимо указанных основных баз данных имеются и некоторые другие, а в разделах «Партнеры» и «Ссылки» приведены гиперссылки на Web-сайты других организаций, на которых также имеются электронные ресурсы, содержащие полезную ядерно-физическую информацию [1].

Рассмотрим на примере изотопов ядра цезия ^{55}Cs работу основных реляционных баз ядерных данных:

- «Карта параметров формы и размеров ядер»;
- «Калькулятор порогов и энергий ядерных реакций».

Цезий-137 как объект исследования является весьма интересным. Он открыт в 1860 году немецкими учеными Г. Кирхгофом и Р. Бунзенем и представляет собой бета-излучатель с периодом полураспада 30,174 года. Радиоизотопы цезия применяются в химических исследованиях, в радиационной технологии, в радиобиологических экспериментах. $^{55}\text{Cs}^{137}$ используется как источник излучения для контактной и дистанционной лучевой терапии, а также для радиационной стерилизации. Из-за большого периода полураспада и слабого гамма-излучения приборы на основе

ядер ${}_{55}\text{Cs}^{137}$ достаточно долговечны, а защита от излучения менее громоздка.

Chart of nucleus shape and size parameters ($13 \leq Z \leq 27$)

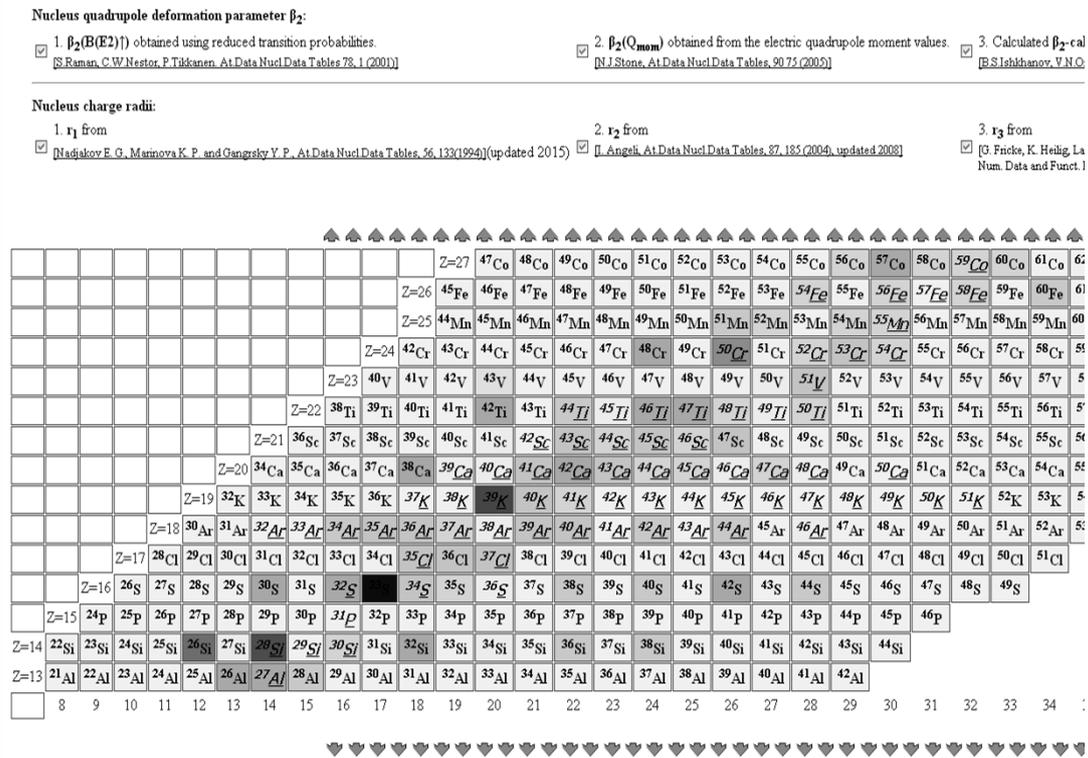


Рисунок 2 – Верхний и нижний уровень масштаба
Карты параметров формы и размеров ядер

Реляционная БД «Карта параметров формы и размеров ядер» содержит информацию о квадрупольном моменте Q и параметре квадрупольной деформации β_2 атомных ядер, а также данные об их зарядовых радиусах (смотри рисунок 2). Градации разных цветов помогают идентифицировать параметры деформации по абсолютной величине – наибольшему значению соответствует более интенсивный цвет. Предусмотрены (смотри рисунок 2) возможности использования 4-х уровней масштаба, передвижение между которыми возможно с помощью специальных стрелок. После выбора ядра на самом крупном масштабе Карты в дополнительном окне (смотри рисунок 3, пример для ядра ${}_{55}\text{Cs}$) в табличном виде приводятся все соответствующие выбранным ранее источникам информации данные (смотри рисунок 3). Доступны значения квадрупольных моментов Q и параметров квадрупольной деформации β_2 , а также зарядовые радиусы ядер.

Использование данной карты позволяет быстро найти необходимую частицу, а также параметры, касающиеся размера и формы ядер.



Рисунок 3 – Пример представления табличных данных о квадрупольном моменте Q, параметре квадрупольной деформации β_2 и зарядовом радиусе r ядра цезия ^{55}Cs

БД «Калькулятор порогов и энергий ядерных реакций» основана на использовании самых современных и надежных данных о массах атомных ядер и дает возможность рассчитать энергетические пороги любых ядерных реакций: под действием любых налетающих частиц и для любой комбинации образующихся продуктов. На рисунке 4 приведена поисковая форма БД «Калькулятор порогов и энергий ядерных реакций» для определения энергии отделения протона от ядра $^{55}\text{Cs}^{137}$. Как налетающая частица в выпадающем меню по умолчанию выбирается γ -квант, как ядро-мишень указано ядро с Z = 55 и A = 137, как вылетающая частица 1 – ядро с Z = 1 и A = 1. Приведена также и выходная форма запроса.

Использование данного калькулятора значительно уменьшает затраты времени на получение данных для любой частицы, нежели решение задачи по ядерной физике вручную. При этом точность решения гораздо выше, а погрешности сведены к минимуму.

Не только для ученых и инженеров большее значение имеют числовые данные, которые являются основными входными данными по всем проблемам, решаемым путем расчетов. Студентам на современном этапе развития образования также постоянно требуется все возрастающий объем числовой информации более высокого качества, которую обычно и называют ядерными данными. Современные информационные технологии позволяют студентам любых ВУЗов из

любых стран пользоваться системой реляционных баз данных НИИЯФ МГУ для решения конкретных задач ядерной физики при выполнении практических, курсовых и дипломных работ.

4. Пороги реакции и энергия

Каждое поле в этой форме является необязательным - может быть пустым. [[Помощь...](#)]

Входные параметры:	Z:	A:	Количество частиц
Целевое ядро:	<input type="text" value="55"/>	<input type="text" value="137"/>	<input type="text" value="1"/>
Инцидент:	<input type="text" value="Нет частиц инцидента"/> (для ядра >>) >>>		
Исходящая часть 1:	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
Исходящая часть 2: (если больше частиц >>) >>>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="0"/>
Конечное ядро:	<input type="text" value="54"/>	<input type="text" value="136"/>	<input type="text" value="1"/>

Запрос:	Имя:	Z:	A:	Масса (массовая ошибка), u:
• Целевое ядро:	Cs	55	137	136.90708947
• Инцидент:		0		
• Исходящая часть 1:	ЧАС	1	1	0
• Конечное ядро:	Xe	54	136	135.9072187

Результат: Порог энергии: 7.409649 МэВ
 Реакционная энергия: -7,409434 (55) МэВ

Рисунок 4 – Входная и выходная форма запроса по определению энергетического порога реакции для цезия $^{137}_{55}\text{Cs}$

Литература

1. Варламов В.В., Гончарова Н.Г., Ишханов Б.С. Физика ядра и банки ядерных данных: учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2010. – 246 с.

В.И. Пилько (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
 Науч. рук. **А.В. Севашко**, ст. преподаватель

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ ШЛИЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ КАРДАННОГО ВАЛА ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ САД/САМ/САЕ СИСТЕМ

Долговечность машин и механизмов зависит как от качества изготовления, так от качества сборки. Шлицевые соединения карданных валов представляют собой подвижные соединения с зазором, работающие

при комбинированных нагрузках. Очевидно, что в моменты пуска и остановки движения шлицы испытывают динамические нагрузки, которые приводят к возникновению значительных напряжений, способных привести к разрушениям.

В качестве объекта исследования приняты карданные валы грузовых автомобилей, производимые ОАО «Белкард»: Амкодор АМК-2201010-10, Белаз 7555-2201010-02. Рассматриваемые валы работают с ходовыми посадками Н9/ф9 и Н9/д9 соответственно, которые характеризуются умеренным гарантированным зазором при консистентной или жидкой смазке в легких и средних режимах работы [1].

Сборку шлицевых соединений следует начинать с осмотра состояния шлицев обеих деталей. Особое внимание уделяют состоянию внешних фасок и закруглений внутренних углов шлицев, так как при неправильном выполнении этих элементов возможно заедание шлицев при сборке соединения, что вызовет повышение износа в соединении и приведёт к уменьшению срока службы вала [2]. Увеличение износа неизбежно приводит к повышенным зазорам в шлицевом зацеплении, и, как следствие, к ударным нагрузкам, которые приводят к сокращению сроков службы шлицевого соединения. Необходимая точность сопряжений может быть обеспечена методами полной и неполной взаимозаменяемости. Метод неполной взаимозаменяемости реализуют: а) групповым подбором; б) регулированием; в) пригонкой [3]. Так как комплектующие собираемого соединения изготавливаются с точностью IT9 и посадки Н/ф и Н/д характеризуются пониженной точностью, то в процессе сборки методом полной взаимозаменяемости могут формироваться зазоры различной величины (от минимального до максимального) в соответствии с законом Гаусса.

Анализ напряжённо-деформированного состояния проведен с применением CAD/CAM/CAE систем: Pro/Engineer Wildfire 5.0, Unigraphics NX, LS-DYNA [4].

В результате были получены модели карданного вала с напряжениями, возникающими в процессе их работы: с максимально допустимым зазором (рисунок 1) и номинальным зазором (рисунок 2).

Из представленных моделей видно, что при максимальном зазоре на отдельных участках возникают напряжения, близкие к $4 \cdot 10^8$ Па, а при номинальном – $1 \cdot 10^8$ Па.

Аналогично и для карданного вала автомобиля Белаз: при номинальном зазоре в соединении напряжения, возникающие в шлицевом зацеплении, не являются критическими (рисунок 3).

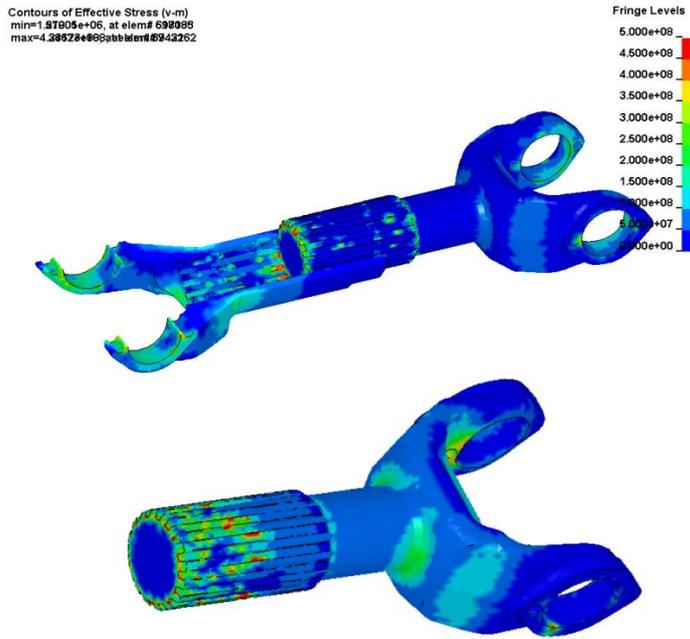


Рисунок 1 – Шлицевое соединение с максимально допустимым зазором

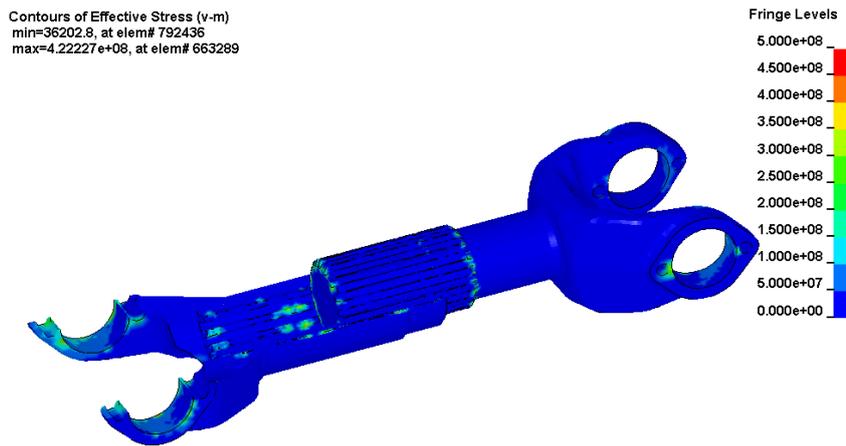


Рисунок 2 – Шлицевое соединение с идеальным зазором

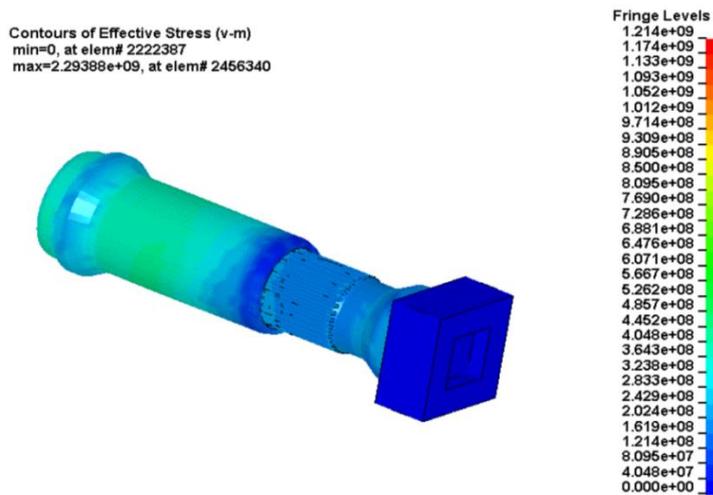


Рисунок 3 – Шлицевое соединение автомобиля Белаз

Очевидно, что повышение точности сборки может быть осуществлено ужесточением допусков на изготовление комплектующих деталей либо применением дополнительных сборочных операций. На этапе сборки следует подобрать шлицевую втулку и шлицевой конец так, чтобы значение зазора было оптимальным, что потребует значительных затрат времени. Добиться требуемого зазора можно разбиением сопрягаемых деталей на определенное количество размерных групп, т.е. провести групповую сборку. Таким образом можно минимизировать возможность появления в шлицевом соединении критических нагрузок, которые могут привести к остаточным деформациям и разрушению деталей.

Литература

1. Анухин, В.И. Допуски и посадки. Учебное пособие. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 256 с.: ил.
2. Корсаков, В.С. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник / под ред. В.С.Корсакова. – М.: Машиностроение, 1983. – 480 с.
3. Новиков, М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М.П. Новиков. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
4. Левин, Г.М. Декомпозиционные методы оптимизации проектных решений / Г.М. Левин, В.С. Танаев. – Мн., «Наука и техника», 1978. – 240 с.

К.Д. Поляков (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **В.Ю. Гавриш**, ст. преподаватель

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЕТЕЛЕВЫХ ИНТЕГРАЛОВ В d -ИЗМЕРЕНИЯХ

Введение. Хорошо известно, что вычисление квантово-полевых амплитуд в высших порядках теории возмущений сводится к вычислению петлевых интегралов с последующей процедурой перенормировки массы и заряда частиц. Из наиболее известных подходов по вычислению петлевых интегралов, в так называемых ультрафиолетовых областях, следует отметить процедуру регуляризации Паули-Виларса [1], сведение к мастер-интегралам методом Ткачёва и Четыркина [2] и др.

Данная работа посвящена, по мнению авторов, 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 расчета методом размерной регуляризации в простейшем случае скалярного интеграла.

Постановка задачи. Простейший случай расходящегося в верхнем пределе интеграла имеет вид

$$I = \int \frac{d^4 q}{(2\pi)^4} \frac{1}{(q^2 - C)^2} \quad (1)$$

где $q = (q^0, \vec{q})$, а пределы интегрирования, для краткости, опущены. Для вычисления данного интеграла, расходящегося логарифмически, перейдем к d -мерному пространству времени, в котором

$$q = (q^0, |\vec{q}|, \varphi, \theta_1, \theta_2, \dots) \quad (2)$$

и, соответственно, выражение (1) примет вид:

$$I = \int \frac{d^d q}{(2\pi)^d} \frac{1}{(q^2 - C)^\alpha} = \int \frac{d^{d-1} q}{(2\pi)^d} \int dq^0 \frac{1}{((q^0)^2 - |\vec{q}|^2 - C)^\alpha}. \quad (3)$$

Вычисление интеграла (3) будем проводить после поворота Вика [1]

$$q^0 \rightarrow iq_E^0, \quad \int dq^0 \rightarrow i \int dq_E^0, \quad (4)$$

в результате которого $q^2 = -q_E^2$, а выражение (3), соответственно, примет вид

$$I = i(-1)^{-\alpha} \int \frac{d^d q_E}{(2\pi)^d} \frac{1}{(q_E^2 + C)^\alpha}. \quad (5)$$

Дальнейшая процедура вычисления связана с интегрированием по сферическим координатам и сведению выражения (5) к табличному интегралу, что мы и продемонстрируем.

Интегрирование по телесному углу. В выражении (5) интегрирование по d -мерному пространству можно представить в виде

$$\int d^d q_E = \int d\bar{q} \bar{q}^{d-1} d\Omega_{d-1}, \quad (6)$$

где $\bar{q} = \sqrt{(q_E^0)^2 + |\vec{q}|^2}$ – модуль вектора q_E , а $d\Omega_{d-1}$ – элемент телесного угла. Для вычисления последнего воспользуемся следующим трюком: известно, что

$$\int e^{-x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}. \quad (7)$$

Переходя к d -мерному интегрированию из выражения (7) получаем

$$\int e^{-(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_d^2)} dx_1 dx_2 \dots dx_d = \frac{\pi^{\frac{d}{2}}}{2}, \quad (8)$$

или, с учетом того, что

$$|\vec{r}| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_d^2}, \quad dx_1 dx_2 \dots dx_d = |\vec{r}|^{d-1} d|\vec{r}| d\Omega_{d-1} \quad (9)$$

из выражения (8) получаем

$$\int e^{-|\vec{r}|^2} |\vec{r}|^{d-1} d|\vec{r}| d\Omega_{d-1} = \frac{\pi^{\frac{d}{2}}}{2}, \quad (10)$$

откуда

$$\int d\Omega_{d-1} = 2 \frac{\pi^{\frac{d}{2}}}{\Gamma\left(\frac{d}{2}\right)}, \quad (11)$$

где $\Gamma(z)$ – гамма-функция Эйлера.

Вычисление петлевого интеграла. Оставшуюся часть интеграла (5) вычислим путем сведения к табличному: используя интегральное представление В – функции Эйлера

$$B(n,m) = \frac{\Gamma(n)\Gamma(m)}{\Gamma(n+m)} = \int dt \frac{t^{n-1}}{(1+t)^{n+m}} \quad (12)$$

или, вводя переменную $t = \frac{s^a}{M^a}$, из соотношения (12) получаем

$$\begin{aligned} \int \frac{ds^a}{M^a} \left(\frac{s}{M}\right)^{a(n-1)} \frac{M^{a(n+m)}}{(s^a + M^a)^{n+m}} &= \int \frac{a s^{a-1} ds}{M^a} \left(\frac{s}{M}\right)^{a(n-1)} \frac{M^{a(n+m)}}{(s^a + M^a)^{n+m}} = \\ &= a M^{a m} \int ds \frac{s^{a n-1}}{(s^a + M^a)^{n+m}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Переобозначив $x = a n - 1$, $y = n + m$ окончательно получаем:

$$\int ds \frac{s^x}{(s^a + M^a)^y} = \frac{1}{a M^{ay-x-1}} \frac{\Gamma\left(\frac{1+x}{a}\right)\Gamma\left(\frac{ay-x-1}{a}\right)}{\Gamma(y)}. \quad (14)$$

С учетом выражений (11) и (14) для интеграла (5) окончательно имеем [4]:

$$\begin{aligned} I &= i(-1)^{-\alpha} \int \frac{d^d q_E}{(2\pi)^d} \frac{1}{(q^2 + C)^\alpha} = i \frac{(-1)^{-\alpha}}{(2\pi)^d} \int d\Omega_{d-1} \int d\bar{q} \frac{\bar{q}^{d-1}}{(\bar{q}^2 + C)^\alpha} = \\ &= i \frac{(-1)^{-\alpha}}{(2\pi)^d} \frac{2\pi^{\frac{d}{2}}}{\Gamma\left(\frac{d}{2}\right)} \int d\bar{q} \frac{\bar{q}^{d-1}}{(\bar{q}^2 + C)^\alpha} = i \frac{(-1)^{-\alpha}}{(2\pi)^d} \pi^{\frac{d}{2}} \frac{\Gamma\left(-\frac{d}{2} + \alpha\right)}{\Gamma(\alpha)} C^{\frac{d}{2}-\alpha}. \end{aligned} \quad (15)$$

Анализ формулы (15) показывает, что в частном случае интеграла типа (1) для $d = 4$ и $\alpha = 2$ получаем расходящийся интеграл, дальнейший расчет которого связан с разложением гамма-функции Эйлера

вблизи полюсов и использованием постоянной Эйлера – Маскерони; данная процедура достаточно громоздка, поэтому в данной работе проводится не будет.

Заключение. В работе была продемонстрирована процедура расчета петлевых интегралов методом размерной регуляризации, которая, по сути, является простым сведением интегралов к табличным.

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.

М.А. Ревенок (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)

Науч. рук. **О.М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ВЕБ-РЕСУРС «МОДЕЛИ АТОМНЫХ ЯДЕР»

Веб-ресурс (веб-сайт) «Модели атомных ядер» – это набор страниц, которые планируется разместить на сайте факультета физики и информационных технологий (<http://gsu.by/physfac>). Веб-ресурс включает в себя как текстовую, так и графическую информацию. Страницы веб-сайта являются статическими. Для написания сайта использовалась среда HTML. Возможности редактирования в HTML позволяют быстро и легко создавать страницы сайта. HTML сама по себе очень удобная и доступная среда для написания сайтов, в ней достаточно просто самостоятельно разобраться и работать. В нашем случае, за основу сайта взят самый простой код для создания нескольких страниц, на которых и будет размещаться вся необходимая информация по моделям атомных ядер. На рисунке 1 представлен HTML-код главной страницы сайта «Модели атомных ядер».

<pre> <!DOCTYPE html> <head> <style> p { text-indent: 25px; } </style> <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" /> <title>Модели атомных ядер</title> <meta name="keywords" content="" /> <meta name="description" content="" /> <link href="css/tooplate_style.css" rel="stylesheet" type="text/css" /> </head> <body> <div id="tooplate_body_wrapper"> <div id="tooplate_header"> <div id="site_title"> <h1>Модели атомных ядер</h1> </div> <div id="tooplate_menu"> </div> </div> <div id="tooplate_main"> <div id="home" class="content_top"></div> <div class="content_box"> <div class="content_title content_ct"><h2>Модели атомных ядер</h2></div> <div class="content"> <div class="image_wrapper image_fl"></div> </div> </div> <div align="justify"> Одной из нерешенных проблем ядерной физики является создание теории атомного ядра. Существует две основных трудности:</div> </pre>	<pre> <p align="center"> Чрезвычайная громоздкость квантовой задачи многих тел; Недостаточность знаний о ядерном взаимодействии. </p> <p align="justify"> Необходимо создавать модели, позволяющие с помощью сравнительно простых математических средств описать определенную совокупность свойств ядра. При создании моделей за основу берется определенная совокупность свойств, которые считаются главными. Другими свойствами при этом пренебрегают. Такой подход определяет ограниченность области применения тех или иных моделей. Однако в пределах этой области каждая модель позволяет получить ряд интересных результатов.</p> <p align="justify"> Для описания структуры ядер используют различные модели. В этих моделях ядро заменяют модельной физической системой достаточно хорошо описывающей определенную совокупность свойств ядра и имеющей простую математическую трактовку. <div class="cleaner" h30"></div> <div class="col_w340 float_r"> <h3>Хорошая модель должна:</h3> <ul class="tooplate_list"> Объяснять свойства основных состояний ядер; Объяснять спектр возбуждения ядра; Описывать динамические свойства ядра. </div> <div class="col_w340 float_r"> <h3>Все модели можно условно разделить на типы:</h3> <blockquote> Одночастичные модели (независимых частиц): </pre>
<pre> Одночастичные модели (независимых частиц): Модель ферми-газа; Модель оболочек (оболочечная). Коллективные модели (с сильным взаимодействием частиц): Капельная модель; Модель пятимерного гармонического осциллятора; Модель аксиально-симметричного ротатора; Двухкомпонентная модель ядерной жидкости. Обобщенная модель ядра. </div> </blockquote> </div> <div class="cleaner"></div> <h3 align="justify">Литература:</h3> Широков, В.М. Ядерная физика: Учебное пособие / В.М. Широков, Н.П. Юдин. - М.: Наука, 1980. - 727 с. Ишханов, Б.С. Модели атомных ядер: Учебное пособие / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, В.Н. Орлин. - М.: Изд-во Московского университета, 1997. - 81 с. Наумов, А. И. Физика атомного ядра и элементарных частиц: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов физ.-мат. спец. / А.И. Наумов. - М.: Просвещение, 1984. - 384 с. Данкан, Р. Введение в НТМ / Р. Данкан. - Изд-во Питер, 2005. - 25 с. Ишханов, Б. С. Ядерные реакции: Учебное пособие / Б.С. Ишханов, Э.И. Кэбин, А.П. Черняев. - М.: Наука, 1997. - 370 с. </div> </body> </html> </pre>	

Рисунок 1 – HTML-код главной страницы сайта «Модели атомных ядер»

Весь теоретический материал удобным образом скомпонован на сайте. Для сайта разработан определенный дизайн, вся информация изложена в наиболее доступной форме, разделы сайта включают в себя подразделы. Теоретический материал дополняется различными рисунками и ссылками для визуального представления информации, наилучшего усвоения материала, удобства изучения и простоты работы. Структура сайта является простой и доступной для любого пользователя (рисунок 2).

На главной странице содержатся описания всех доступных разделов с ссылками на них. На рисунке 3 выборочно представлены страницы сайта.

Данная тема для разработки веб-ресурса была выбрана не случайно, так как в настоящее время не существует теории, которая смогла бы объяснить все свойства ядер, поэтому их удобно рассматривать с помощью моделей, каждая из которых описывает определенные свойства. На сегодняшний день существуют следующие основные модели: модель ферми-газа, капельная модель ядра, модель оболочек, модель пятимерного гармонического осциллятора, модель аксиально-симметричного

ротатора, двухкомпонентная модель ядерной жидкости и обобщенная модель ядра.

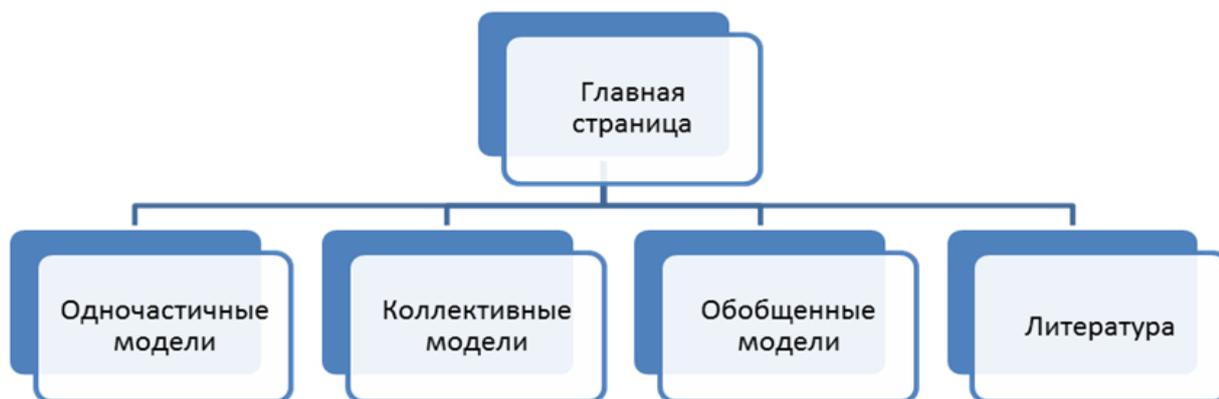


Рисунок 2 – Структура сайта «Модели атомных ядер»

Атомные ядра являются связанной системой взаимодействующих протонов и нейтронов. В атомном ядре проявляются три типа взаимодействий.

- Сильные взаимодействия между нуклонами приводят к образованию связанного состояния A нуклонов.
- Электромагнитные взаимодействия приводят с одной стороны к расталкиванию между протонами, что ослабляет связь в атомном ядре, с другой стороны взаимодействие магнитных моментов нуклонов приводит к большому разнообразию ядерных состояний.
- Слабое взаимодействие между нуклонами приводит к взаимным превращениям нейтронов и протонов в атомном ядре – явлению β -распада атомных ядер.

Атомные ядра – это сложные и своеобразные физические объекты, обладающие многими интересными свойствами.

В основу каждой модели кладется допущение о приближенной независимости какого-либо набора степеней свободы ядра. Учитываемые степени свободы слабо взаимодействуют друг с другом и с остальными степенями свободы. Это допущение выполняется только приближенно и только для ограниченного круга явлений. Степени свободы ядра можно разделить на одночастичные, описывающие движение индивидуальных частиц, и коллективные, соответствующие коррелированному движению большого числа частиц. Согласно этому используемые в физике ядра модели можно разделить на коллективные, одночастичные и обобщенные, в которых используются как коллективные, так и одночастичные степени свободы. Модели, основанные на коллективных степенях свободы ядра, принято называть моделями с сильными взаимодействиями между частицами, а модели, основанные на учете одночастичных степеней свободы, часто называют моделями независимых частиц.

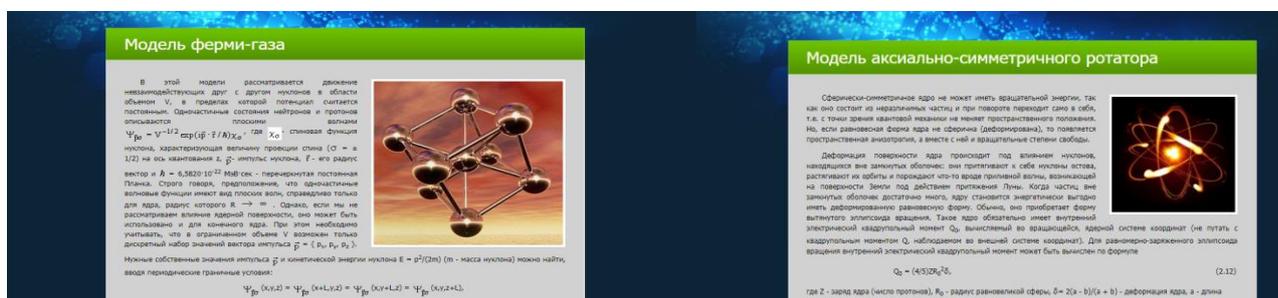
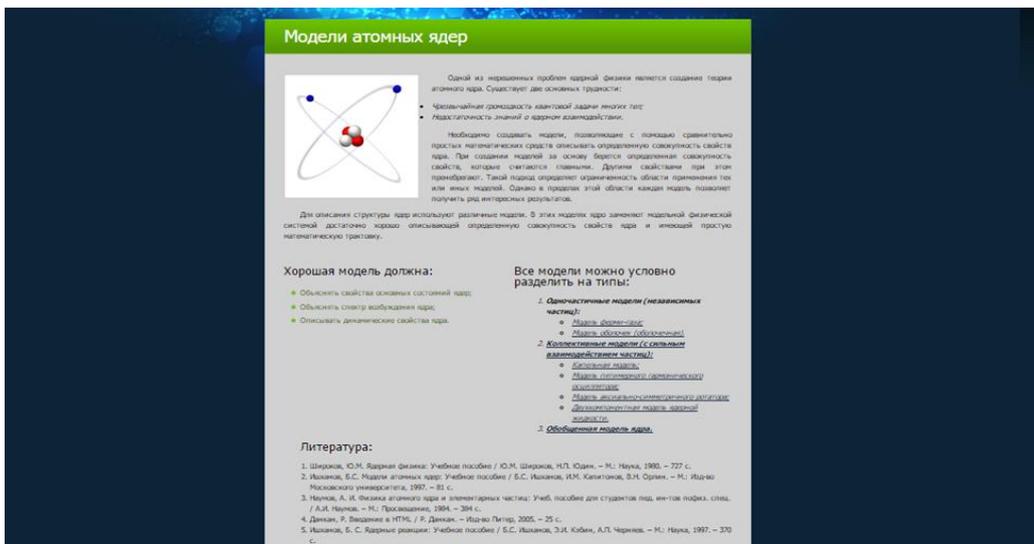


Рисунок 3 – Страницы сайта «Модели атомных ядер»

Область применимости той или иной модели определяется совокупностью фактов, которые эта модель способна объяснить. В каждой модели имеются произвольные параметры, которые приходится подбирать, т.е. «подгонять» под экспериментальные данные [1].

Таким образом, данный веб-ресурс включает в себя теоретический материал по моделям атомных ядер. Это не только подробное описание каждой из используемых в ядерной физике моделей атомного ядра, но и информация об ученых, внесших существенный вклад в развитие данного направления. На сайте также размещен список используемых источников, студентам предложены вопросы для закрепления изученного материала и тест для контроля знаний, совершенствования умений и навыков. Сайт дает студентам и преподавателям быстрый и удобный доступ к материалам по теме «Модели атомных ядер», исчезает необходимость искать и отбирать их самому в интернете или в книгах, что позволяет сосредоточиться на углубленном изучении интересующей темы.

Литература

1. Ишханов, Б.С. Частицы и атомные ядра: учебник. Изд. 2-е, испр. и доп. / Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, Н.П. Юдин. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 584 с.

М.Н. Рытикова (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Г.Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

О ТВЁРДЫХ ЭКЗОПЛАНЕТАХ В ЗОНЕ ОБИТАЕМОСТИ ПО КРИТЕРИЮ БЛЕСКА МАТЕРИНСКОЙ ЗВЕЗДЫ

Впервые экзопланета, обращающаяся вокруг похожей на Солнце звезды главной последовательности была открыта в 1995 году. Её назвали 51 Peg b. С тех пор количество обнаруженных экзопланет экспоненциально растет с каждым годом и на сегодняшний день достоверно подтверждено наличие 2111 экзопланет в 1354 планетных системах, из которых в 510 имеется более одной экзопланеты. Количество же экзопланет в нашей Галактике (Млечный путь) в настоящее время оценивается более чем в 100 миллиардов, из которых от 6 до 23 миллиардов могут являться похожими на Землю. Также около 37% схожих с Солнцем звезд могут иметь в обитаемой зоне планеты, сравнимые с нашей.

Для изучения возможности попадания в зону обитаемости и расчета некоторых связанных с этим фактом физических характеристик экзопланет выберем систему TRAPPIST-1, которая была обнаружена с помощью роботизированного 0,6-метрового телескопа TRAPPIST (Transiting Planets and Planetesimals Small Telescope), расположенного в обсерватории ESO в Ла-Силья в Чили. Эта система является одной из ближайших к Солнечной системе с расстоянием 39,5 св. лет, она содержит 7 экзопланет и располагается в созвездии Водолея рядом с эклиптической. Данная экзопланетарная система является очень компактной и сформирована вокруг небольшой красной звезды.

Близость системы определяет достаточную достоверность средних значений масс и радиусов экзопланет, хотя погрешности очень велики и колеблются от 26% до 85% по массе и от 3,2% до 4,5% по радиусу [1]. К тому же, данные о массе экзопланеты h отсутствуют вообще. Но приведенная информация позволяет рассчитать некоторые механические характеристики экзопланет [2], не менее существенные для решения данной проблемы, например, подобрать землеподобную структуру функции распределения плотности. И тем самым доказать её твердость и схожесть с планетами земной группы. Известны лишь средние значения плотностей $\langle \rho \rangle$, определяемые условием

$$\langle \rho \rangle = 3M/4\pi R^3, \quad (1)$$

к тому же выраженные через среднюю плотность Земли, а не их предельные значения, необходимые для моделирования функций $\rho(r)$, согласно [3]. Поэтому для моделирования оценочных функций плотности используем дополнительные допустимые приближения:

- рассматриваем $\langle \rho \rangle$ как среднеарифметическую, тогда

$$\rho_0 = 2\langle\rho\rangle - \rho(R); \quad (2)$$

- поверхностную плотность $\rho(R)$ экзопланеты считаем равной средней поверхностной плотности планет земной группы, то есть равной 2975 кг/м^3 ;

- относительные толщины H трёх структурных слоев экзопланет также приравниваем относительным толщинам, усредненным только по Венере и Земле [4], так как Меркурий и Марс имеют значительно меньшие массы, поэтому $H_{\text{ЯДРА}} = 0,49R$; $H_{\text{МАНТИИ}} = 0,49R$; $H_{\text{КОРЫ}} = 0,02R$.

Теперь, используя имеющиеся данные применительно к условиям (1) – (2) и с модельными функциями плотности из работы [3], получаем оценочные значения масс, лучшие из которых приведены ниже в Таблице 1.

Таблица 1 – Оценочная расчетная масса экзопланеты с учетом предполагаемой слоистой структуры

Экзопланета	Оценочная расчетная масса (в массах Земли)			
	II-I-II	II-II-I	I-III-IV	III-I-IV
b	0,841	---	---	---
c	---	1,295	---	---
d	---	---	0,422	---
e	---	---	---	0,609
f	---	---	0,670	---
g	---	1,345	---	---

Они отклоняются от средних значений [1] следующим образом:

- на 1% ниже у “b” (II-I-II);
- на 1,1% ниже у “c” (II-II-I);
- на 1% выше у “d” (I-III-IV);
- на 1,8% ниже у “e” (III-I-IV);
- на 1,5% ниже у “f” (I-III-IV);
- на 0,3% выше у “g” (II-II-I).

Видно, что наилучший результат получен для экзопланеты “g”. Прочие результаты также достаточно хороши и также согласуются с результатами для планет земной группы [3]. Следовательно, можно констатировать, что первые шесть из семи планет системы являются твёрдыми землеподобными.

Следующим шагом является определение блеска материнской звезды у поверхностей экзопланет, значение которого для зоны обитаемости должно по современным представлениям изменяться в пределах от 2435 Вт/м^2 до 445 Вт/м^2 [4]. Характеристики самой звезды следующие: $M = (0,0802 \pm 0,0073) M_{\odot}$; $R = (0,121 \pm 0,003) R_{\odot}$; $T = (2559 \pm 50) \text{ К}$. При

этом для нас важнейшей является светимость $L=(0,000524 \pm 0,000034) L_{\odot}=2 \cdot 10^{23}$ Вт. Искомый же блеск звезды E определяется соотношением

$$E(r) = \frac{L}{4\pi r^2},$$

в котором расстояние изменяется в пределах погрешности, заданной в [1,5].

Результаты расчетов блесков и сопоставление их с блесками зоны обитаемости приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение блеска звезды у поверхности экзопланет

экзопланета	блеск в перицентре	блеск в апоцентре	попадание в зону обитаемости
<i>b</i>	5496 Вт/м ²	5433 Вт/м ²	нет
<i>c</i>	2892 Вт/м ²	2903 Вт/м ²	нет
<i>d</i>	1456 Вт/м ²	1496 Вт/м ²	да
<i>e</i>	845 Вт/м ²	850 Вт/м ²	да
<i>f</i>	490 Вт/м ²	492 Вт/м ²	да
<i>g</i>	329 Вт/м ²	331 Вт/м ²	нет
<i>h</i>	88 Вт/м ²	89 Вт/м ²	нет

Из данных таблицы 2 видно, что в зону обитаемости по критерию блеска материнской звезды попадают экзопланеты *d*, *e* и *f*.

Таким образом, в работе была исследована экзопланетная система TRAPPIST-1. И на основании физического критерия значения блеска материнской звезды у поверхности экзопланеты показано, что в зоне обитаемости находятся экзопланеты *d*, *e* и *f*. Данный результат находится в некотором противоречии с результатом, полученным на основании критерия температурного относящего в зону обитаемости экзопланеты *e*, *f* и *g*. По нашему мнению, блеск является более объективным фактором, связанным с материнской звездой, в отличие от температуры, которая также зависит и от наличия и характеристик атмосфер экзопланет, сведения о которых крайне недостоверны.

Литература

1. Seager, S. Mass-Radius Relationship for Solid Exoplanets // S. Seager, M. Kuchner, C. Hier-Majumber, B. Militzer / Subjects: Astrophysics

(astro-ph); DOI: 10.1086/521346; Cite as: arXiv:0707.2895 [astro-ph] (or arXiv:0707.2895v1 [astro-ph] for this version).

2. Carroll, B.W. An Introduction to Modern Astrophysics / B.W. Carroll, D.A. Ostlie. – Pearson International Edition, 2007. – 1309 с.

3. Тюменков, Г.Ю. О моделировании радиальной функции плотности планет земной группы // Г.Ю. Тюменков, Д.А. Штромберг / Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2016. – № 6(99). – С. 116 – 119.

4. Prantzos, N. On the “Galactic Habitable Zone” // N. Prantzos Space Science Reviews – 2008. – Т. 135, № 1–4. – С. 313–332. –ISSN 1572-9672. – arXiv:astro-ph/0612316. – DOI:10.1007/s11214-007-9236-9.

5. California Institute of Technology (USA) [Electronic resource] / NASA’S Jet Propulsion Laboratory. – Pasadena, CA, 2004. – Mode of access: www.jpl.nasa.gov/solar-system/. – Data of access: 30.09.2017.

П.Д. Седро (ГГТУ имени П.О.Сухого, Гомель)
Науч. рук. **С.М. Евтухова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ВОЛНЫ МАЯТНИКА

Маятник – система, состоящая из твердого тела, соединенного с некоторой неподвижной точкой с помощью стержня или нити, способное совершать механические колебания относительно этой точки. Поведение маятника зависит от таких параметров, как длина нити (l), амплитуда (A), период (T) и частота (ν) колебаний.

Рассмотрим систему, где на опоре подвешены несколько маятников, причем длина нити каждого маятника отличается от длин нитей остальных маятников на некоторую величину. Маятники подвешены таким образом, чтобы длина нити предыдущего маятника была меньше длины нити последующего. Такая система называется «генератором волн маятников» (ГВМ) (рисунок 1). При приведении ГВМ в движение можно наблюдать эффект «бегущей волны маятников».

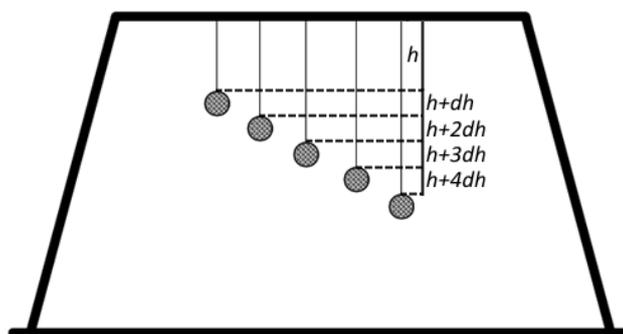


Рисунок 1 – «Генератор волн маятников»

Эффект «бегущей волны маятников» – процесс изменения формы «волны маятников», в течение которого маятники многократно пересекаются.

В данном случае «волна маятников» – это мнимая ломаная, проведенная через все маятники системы.

Основой эффекта «бегущей волны маятников» служат конструктивные особенности ГВМ. За 60 секунд маятники должны совершать целое число колебаний, чтобы по истечении этого времени все маятники оказались в исходной позиции. Исходя из этого задаются частоты колебаний для каждого маятника и вычисляются их остальные параметры по следующим формулам:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \frac{\sqrt{g}}{\sqrt{l}}; l = \frac{g}{(2\pi\nu)^2}.$$

Рассмотрим систему, состоящую из семи маятников, подвешенных таким образом, чтобы длины нитей у маятников, закрепленных на одинаковом расстоянии относительно центрального маятника были равны. Назовём такую систему «симметричным генератором волн маятников» (рисунок 2).

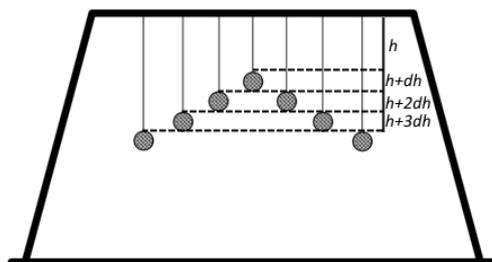


Рисунок 2 – «Симметричный генератор волн маятников»

Из описания системы очевидно, что периоды колебаний T у маятников, находящихся на одинаковом расстоянии относительно центрального маятника равны, и в любой момент времени два таких маятника лежат на прямой, причем эта прямая перпендикулярна проекциям траекторий этих маятников на вертикальную плоскость. Назовём такие маятники «симметричными» (рисунок 3).

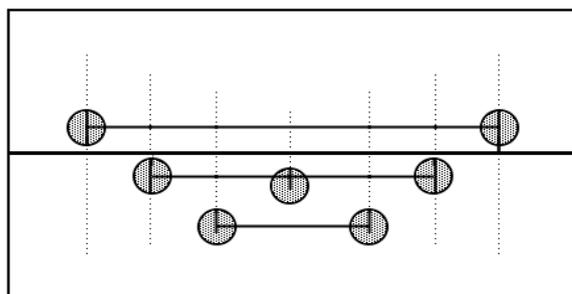


Рисунок 3 – Перпендикулярность траекторий «симметричных» маятников прямой, проведенной через них

Нами была создана программа на языке Pascal, которая позволяет легко моделировать поведение любой системы маятников (рисунок 4).

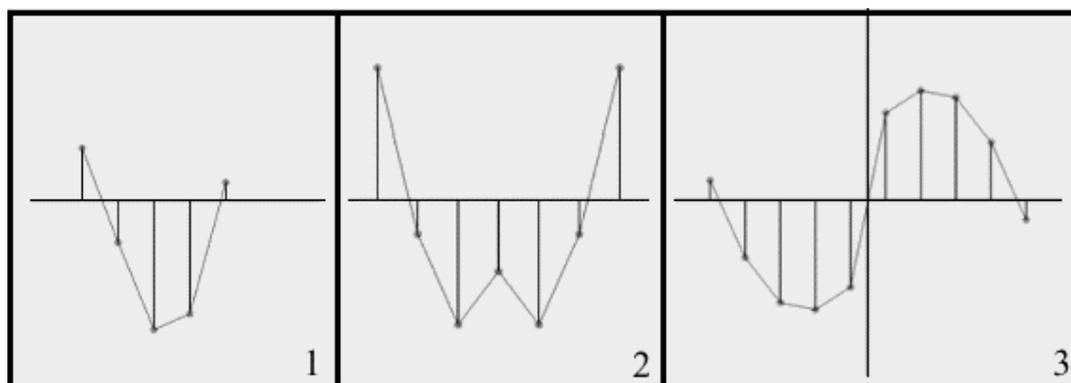


Рисунок 4 – Моделирование различных систем маятников с помощью компьютерной программы

Из полученных данных видно, что, изменяя конструкции систем маятников и их параметры, можно смоделировать поведение любой «волны маятников».

Литература

1. Горбатый, И.Н. Зависимость периода колебаний от амплитуды / И.Н. Горбатый // Квант. – 2005. – № 2. – С. 27–29.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 2001. – Т. 1. – 517 с.

Д. П. Скромблевич (ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)
Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

РЕАЛИЗАЦИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ БЫСТРОМ ПРОТОТИПИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ИНДИКАТОРНОЙ ПЛОМБЫ

Процессы глобализации мирового социума и динамика появления и развития новых технологий обуславливают необходимость промышленных предприятий активно модернизировать своё производство, внедрять новые подходы и технологии его осуществления, обеспечивая высокий уровень конкурентоспособности выпускаемой продукции. Одним из важных условий успешного функционирования современных предприятий машиностроительного профиля является обеспечение безопасности и целостности выпускаемой продукции, в том числе при их транспортировании и хранении. Для защиты промышленных и

транспортируемых объектов от несанкционированного доступа широко применяют индикаторные пломбы.

Современные информационные (индикаторные) пломбы изготавливаются из полимеров (поликарбонат, полиэтилен, полипропилен, нейлон, арамид и т.п.). В современном машиностроении и на транспорте широкое распространение получили индикаторные универсальные пластиковые пломбы, обеспечивающие защиту транспортируемых грузов и промышленных объектов от несанкционированного доступа путем индикации вмешательства [1].

Целью исследований являлась разработка прототипа конструкции индикаторной пломбы, обеспечивающей сохранность транспортируемых и промышленных объектов с использованием технологий аддитивного производства (3D-печати).

В качестве объекта исследований выступала конструкция индикаторной пластиковой пломбы, обеспечивающей защиту транспортируемых и промышленных объектов от несанкционированного доступа. Для трехмерной визуализации и имитационного моделирования объекта исследований применяли пакет прикладных компьютерных программ SolidWorks 2014, который позволяет визуализировать будущее изделие в объеме, представить с разных сторон и придать ему реалистичности отображения в соответствии с избранным материалом для предварительной оценки дизайна.

Создание прототипа объекта исследований осуществляли на базе 3D-принтера FlashForge Dreamer, реализующего основные принципы аддитивного производства, основанные на послойном наращивании материала (технология FDM – Fused Deposition Modelling) [2].

В соответствии с Межгосударственными стандартами ГОСТ 31283-2004 под пломбировочными устройствами понимается персонально идентифицируемые устройства одноразового действия, обеспечивающие защиту объекта (транспортного средства, контейнера, цистерны, помещения, тары, оборудования и др.) от несанкционированного доступа путем индикации вмешательства и содержания в определенных пределах от проникновения. В свою очередь, под пломбированием понимается процесс установки на штатном запирающем механизме защищаемого объекта пломбировочного устройства, обеспечивающего индикацию несанкционированного доступа и содержание от проникновения, проникновение учета и контроля состояния.

Пластиковые пломбы имеют малую силовую нагрузку, но обладают повышенной индикаторной способностью. Индикаторное устройство в основном обеспечивает индикацию фактов несанкционированного доступа к объекту защиты путем идентификации его целостности, обладающее слабыми защитными свойствами от внешних механических

воздействий. Согласно стандарта идентификационные признаки пломбировочного устройства определяются его конструкцией и технологией изготовления.

Нами предложена конструкция (рисунок 1), состоящая из двух частей: корпуса и вставки-фиксатора (запирающего элемента). Корпус выполнен прозрачным и цельнолитым, что обеспечивает беспрепятственный контроль целостности внутренней части изделия, а выбранный материал, обеспечит его целостность, даже под действием высокой нагрузки.

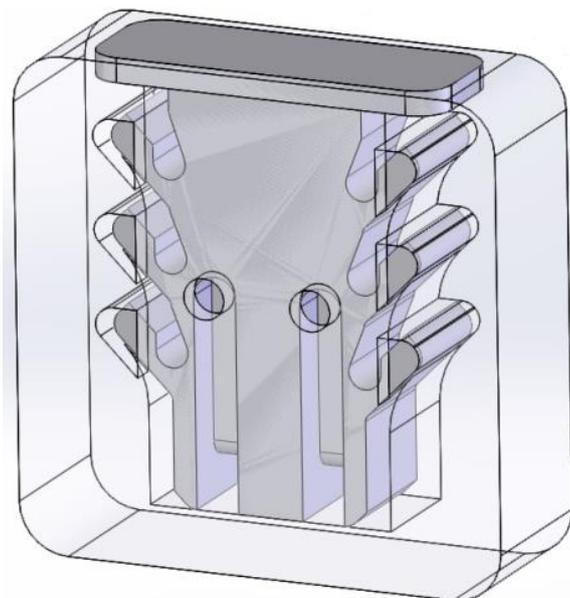
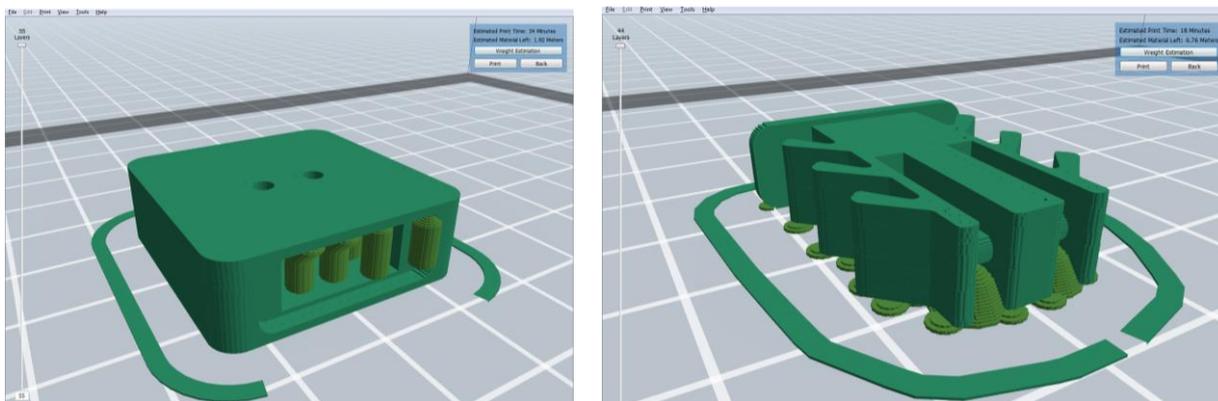


Рисунок 1 – Трехмерная модель индикаторной пломбы в сборе

Конструкция самого фиксатора обеспечивает жесткость крепления и невозможность его извлечения из корпуса. Также на вставке-фиксаторе размещается идентификационная наклейка с уникальным номером, что является дополнительной степенью защиты от подделки изделия.

С целью проверки функциональности изделия «Пломба индикаторная» был создан прототип с помощью 3D-печати, подтверждающий возможность сборки и дееспособность разработанной конструкции изделия. В качестве материала для печати элементов индикаторной пломбы применяли ударопрочную техническую термопластическую смолу на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (АБС-пластик). Результаты слайсинга, выполненного в программе-слайсере FlashPrint, моделей вставки-фиксатора и корпуса индикаторной пломбы представлены на рисунке 2.

После создания прототипа была проведена проверка работоспособности индикаторной пломбы. Полученные результаты показали, что разработанная конструкция индикаторной пломбы полностью отвечает всем требованиям техническим стандартам на их изготовление.



а)

б)

а) – корпус; б) – вставка-фиксатор

Рисунок 2 – Результаты слайсинга моделей элементов индикаторной пломбы

Литература

1. Пломбирование, индикация и контроль доступа к грузу [Электронный ресурс] // Официальный сайт транспортно-экспедиционной компании «Экспедитор-Про». – Режим доступа: <http://www.expeditor-pro.ru/sealing-cargoes.php>. – Дата доступа: 01.03.2018.

2. Моделирование методом послойного наплавления (FDM) [Электронный ресурс] // Информационный портал 3dprofy. – 2014. – Режим доступа: <http://3dprofy.ru/modelirovanie-metodom-poslojnjogo-na/>. – Дата доступа: 01.03.2018.

Н.А. Старовойтов, А.А. Дубровник

(ГрГУ имени Я.Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А.В. Никитин**, канд. техн. наук, доцент

МОДЕЛИ КОНТАКТНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Процессы теплопроводности являются важным фактором работы устройств, от микроэлектроники до энергооборудования. В зависимости от необходимой технологии процесс теплопроводности как следует уменьшать либо увеличивать. Теоретически и экспериментально задачи теплопроводности достаточно хорошо исследованы. Однако существуют разделы, где исследование теплопроводности пока недостаточно. Таким разделом является контактная теплопроводность. Сложность процесса заключается в том, что зона контакта геометрически неоднородна, в этой зоне возникают различные механизмы теплопроводности

(фононные, электронные) [1]. Практически все экспериментальные работы посвящены изучению влияния фактической площади касания, теплопроводности материалов контактной пары и среды, заполняющей зазор.

В качестве основных параметров в расчетах модели контактной теплопроводности учитывают:

- Параметры волнистости поверхности
- Параметры шероховатости поверхности
- Средние углы микронеровностей на контактирующих поверхностях
- Число, размер и форма микронеровностей
- Контактное давление
- История нагрузки материалов в каждой экспериментальной серии, включая деформацию материалов
- Температуры поверхности в контакте
- Механические и теплофизические свойства материалов
- Направление и величина теплового потока

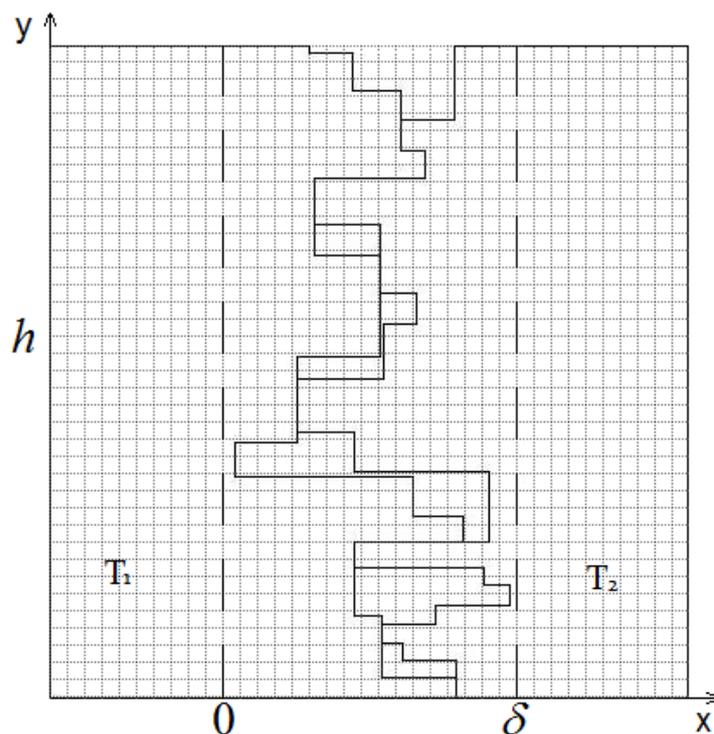


Рисунок 1 – Модель зоны контакта шероховатой поверхности

В данной работе поставлена задача анализа моделей контактной теплопроводности и предлагается собственная компьютерная модель оценки контакта теплопроводности между двумя разнородными материалами. В модели зона контакта шероховатой поверхности моделируется в виде прямоугольников (рисунок 1). Шероховатость поверхности – это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми

шагами, выделенная с помощью базовой длины. [2]. Пустоты могут быть заполнены любым веществом с известным коэффициентом теплопроводности.

Модель построена на основе метода теплового потока. Численным методом решается нестационарная задача Фурье и находится эффективный коэффициент теплопроводности зоны контакта.

Для граничных условий первого рода численно решается задача нестационарной теплопроводности. В первом приближении рассматривается двухмерный случай. Зона контакта покрывается сеткой, для узлов которой исходное уравнение теплопроводности и условия однозначности имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial \left(\lambda_l \times \frac{\partial T}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(\lambda_l \times \frac{\partial T}{\partial y} \right)}{\partial y}; \\ t = 0; T(x, y) &= T_0; \delta > x > 0; \\ x = 0; T(0, y) &= T_1; x = \delta; T(\delta, y) = T_2 \\ y = 0, y = h; \frac{\partial T}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

а конечно разностное представление:

$$\begin{aligned} \frac{T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k}}{\Delta t} &= \frac{((\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_2 + \lambda_3 \alpha_3)(T_{i-1,j,k} - 2T_{i,j,k} + T_{i+1,j,k}))}{\Delta x^2} + \\ &+ \frac{((\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_2 + \lambda_3 \alpha_3)(T_{i,j-1,k} - 2T_{i,j,k} + T_{i,j+1,k}))}{\Delta y^2}; \\ k = 0; T_{i,j,0} &= T_0; N > i > 0; M > j > 0; \end{aligned} \quad (2)$$

$$i = 0; T_{0,j,k} = T_1; i = N; T_{N,j,k} = T_2;$$

$$j = 0; T_{i,0,k} = T_{i,1,k}; j = M; T_{i,M,k} = T_{i,M-1,k};$$

$$N = \frac{\delta}{\Delta x}; M = \frac{h}{\Delta y};$$

где: $\lambda_l, l = 1, 2, 3$ – коэффициент теплопроводности, соответственно, материала поверхностей и вещества среды зоны контакта;

$\alpha_l, l = 1, 2, 3$ – массовые коэффициенты, соответственно, материала поверхностей и вещества среды зоны контакта;

Задача (2) позволяет найти температурное поле в зоне контакта. Вычисления производятся до момента установления стационарного состояния. В этом состоянии вычисляется средний тепловой поток и далее

эффективное тепловое сопротивление, и эффективный коэффициент теплопроводности зоны контакта:

$$\begin{aligned} R_{eff} &= Q_{cp} / (T_1 - T_2); \\ \lambda_{eff} &= \delta / R_{eff} \end{aligned} \quad (3)$$

На основе представленной модели разработана программа расчета зоны контакта двух поверхностей. Она позволяет методом вычислительного эксперимента рассчитывать тепловые характеристики зоны контакта двух поверхностей при вариации большого числа исходных параметров: материал контактов, среда заполнения, геометрические характеристики зоны контакта.

Литература

1. Меснянкин, С.Ю. Современный взгляд на проблемы теплового контактирования твердых тел / С.Ю. Меснянкин, А.Г. Викулов, Д.Г. Викулов // Успехи физических наук. Том. 179: Приборы и методы исследования. – 2009 – № 9. – С. 950.
2. Берман, Р. Теплопроводность твердых тел / Р. Берман. – Москва: Мир, 1979. – 287 с.

И.В. Сулковская (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Г.Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ТОЧКА БОЙЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЯХ НЕИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Для описания термодинамических свойств неидеальных газов используют различные уравнения состояния, имеющие более или менее строгое теоретическое обоснование [1]. Неидеальные газы хорошо описываются уравнением состояния идеального газа при высоких температурах и низких давлениях, но при понижении температуры и повышении давления это описание становится некорректным и возникает необходимость модификации уравнения состояния с учетом характера парного межмолекулярного взаимодействия. Такого рода модифицированные уравнения состояния уже неидеального газа называется полуэмпирическими. Важнейшее значение при сопоставлении результатов, получаемых из двухпараметрических уравнений состояния, с экспериментальными данными имеет положение температурной точки Бойля. А именно, точки минимума изотермы реального газа, лежащей на оси абсцисс. В научной литературе существуют и прочие определения точки

Бойля, но будем рассматривать именно данное определение. В приведенной форме критерий данной точки:

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial \tilde{P}}{\partial \tilde{V}} \right)_{\tilde{T}_B} = 0, \\ \tilde{P}(\tilde{T}_B, \tilde{V}_B) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим приведенные формы двухпараметрических уравнений состояния, таких как уравнение Ван-дер-Ваальса, уравнение Бертло, второе уравнение Дитеричи и уравнение Редлиха-Квонга. И определим координаты их точек Бойля в $\tilde{P}\tilde{V}$ -плоскости. Напомним также, что приведенные термодинамические переменные через критические параметры задаются соотношениями [1]:

$$\tilde{T} = \frac{T}{T_{кр}}, \quad \tilde{P} = \frac{P}{P_{кр}}, \quad \tilde{V} = \frac{V}{V_{кр}}. \quad (2)$$

В этих переменных уравнение Ван-дер-Ваальса принимает вид [1]:

$$\tilde{P} = \frac{8\tilde{T}}{3\tilde{V} - 1} - \frac{3}{\tilde{V}^2}. \quad (3)$$

Используем уравнение (3) и согласно критерию (1) получаем:

$$\begin{cases} -\frac{24\tilde{T}_B}{(3\tilde{V}_B - 1)^2} + \frac{6}{\tilde{V}_B^3} = 0, \\ \frac{8\tilde{T}_B}{3\tilde{V}_B - 1} - \frac{3}{\tilde{V}_B^2} = 0. \end{cases}$$

$$\tilde{T}_B = 0,844; \quad \tilde{V}_B = 0,667.$$

Приведенным уравнением Бертло является уравнение вида [1]:

$$\tilde{P} = \frac{8\tilde{T}}{3\tilde{V} - 1} - \frac{3}{\tilde{T}\tilde{V}^2}. \quad (4)$$

Для него:

$$\begin{cases} -\frac{24\tilde{T}_B}{(3\tilde{V}_B - 1)^2} + \frac{6}{\tilde{T}_B\tilde{V}_B^3} = 0, \\ \frac{8\tilde{T}_B}{3\tilde{V}_B - 1} - \frac{3}{\tilde{T}_B\tilde{V}_B^2} = 0. \end{cases}$$

$$\tilde{T}_B = 0,919; \quad \tilde{V}_B = 0,667.$$

Второе приведенное уравнение Дитеричи выглядит как [1]:

$$\tilde{P} = \frac{15\tilde{T}}{4\tilde{V} - 1} - \frac{4}{\tilde{V}^{5/3}}, \quad (5)$$

поэтому

$$\begin{cases} -\frac{60\tilde{T}_B}{(4\tilde{V}_B - 1)^2} + \frac{20}{3\tilde{V}_B^{8/3}} = 0, \\ \frac{15\tilde{T}_B}{4\tilde{V}_B - 1} - \frac{4}{\tilde{V}_B^{5/3}} = 0. \end{cases}$$

$$\tilde{T}_B = 0,875; \quad \tilde{V}_B = 0,625.$$

Следуя работе [2], приведенный вид уравнения Редлиха-Квонга следующий:

$$\tilde{P} = \frac{3\tilde{T}}{\tilde{V} - \xi} - \frac{1}{\xi\sqrt{\tilde{T}}\tilde{V}(\tilde{V} + \xi)}, \quad \xi = 0,260 \quad (6)$$

Из уравнения (6) находим:

$$\begin{cases} -\frac{3\tilde{T}_B}{(\tilde{V}_B - \xi)^2} + \frac{2\tilde{V}_B + \xi}{\xi\sqrt{\tilde{T}_B}\tilde{V}_B^2(\tilde{V}_B + \xi)^2} = 0, \\ \frac{3\tilde{T}_B}{\tilde{V}_B - \xi} - \frac{1}{\xi\sqrt{\tilde{T}_B}\tilde{V}_B(\tilde{V}_B + \xi)} = 0. \end{cases}$$

Следовательно, приведенная температура Бойля:

$$\tilde{T}_B = 0,895; \quad \tilde{V}_B = 0,628.$$

Визуализируем результат расчета, следуя [3], построив графики изотерм Бойля для рассмотренных уравнений состояния:

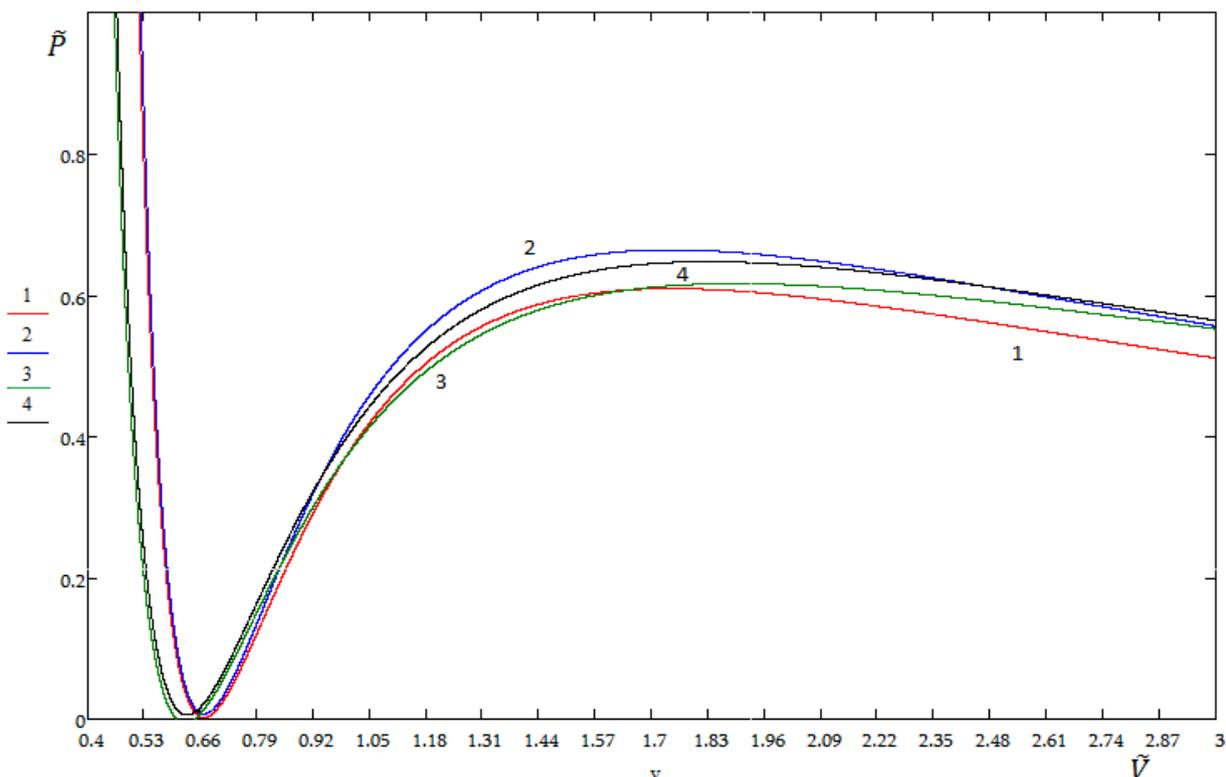


Рисунок 1 – Графики изотерм Бойля для двухпараметрических уравнений состояния в приведенных координатах (1 – Ван-дер-Ваальс; 2 – Бертло; 3 – второе Дитеричи; 4 – Редлих-Квонг)

Таким образом, в работе определены координаты температурной точки Бойля для четырёх наиболее используемых двухпараметрических полуэмпирических уравнений состояния неидеального газа (3)-(6). При расчете использованы приведенные формы уравнений, что делает результат независимым от вида реального газа. Построены графики соответствующих изотерм Бойля в $\tilde{P}\tilde{V}$ - плоскости.

Литература

1. Румер, Ю.Б. Термодинамика, статическая физика и кинетика / Ю.Б Румер, М.Ш. Рывкин. – Новосибирск: Издательство НГУ, 2007. – 446 с.
2. Дей, Е.А. Расчет параметров изоэнтальпического охлаждения газов Редлиха-Квонга / Е.А. Дей, О.В. Новикова, Г.Ю. Тюменков // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2012. – № 6 (93). – С. 38 – 42.
3. Дей, Е.А. Кривые инверсии эффекта Джоуля – Томсона для обобщенного уравнения Ван-дер-Ваальса / Е.А. Дей, Г.Ю. Тюменков // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2015. – № 6 (93). – С.117–120.

А.И. Толкачѳв (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В.Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ОТ ТОНКОГО СФЕРИЧЕСКОГО СЛОЯ ПРИ НАЛИЧИИ ДВУХ ИСТОЧНИКОВ

Изучение свойств малых частиц возможно с помощью явления генерации второй гармоники. Но регистрируемые поля второй гармоники от объема частицы являются слабыми. Поэтому исследуемые частицы покрывают материалами, обладающими оптическими нелинейными свойствами [1, 2], которые хорошо изучены экспериментально [2] на явлении генерации второй гармоники.

Наиболее простой и вместе с тем достаточно общей моделью для описания исследуемых явлений является модель Рэля–Ганса–Дебая. В ней предполагается, что рассеяние вносит малый вклад в результирующее поле первой гармоники и им можно пренебречь. Условием применимости этой модели является выполнение следующих критериев:

$$\left| \frac{n_p}{n_m} - 1 \right| \ll 1, \quad 4\pi \frac{R}{\lambda} \left| \frac{n_p}{n_m} - 1 \right| \ll 1, \quad (1)$$

где n_p и n_m – показатели преломления сферической частицы и окружающей среды соответственно, R – радиус частицы, λ – длина волны падающего излучения.

В дипольной модели генерации второй гармоники, созданное поле обусловлено нелинейной частью поляризации, компоненты которой имеют вид

$$P_i^{(2)} = \chi_{ijk}^{(2)} \left[E_j^{(1)} E_k^{(1)} + E_j^{(2)} E_k^{(2)} + E_j^{(1)} E_k^{(2)} + E_j^{(2)} E_k^{(1)} \right] = \chi_{ijk}^{(2)} \sum_{\alpha=1}^2 \sum_{\beta=1}^2 E_j^{(\alpha)} E_k^{(\beta)}, \quad (2)$$

где $\chi_{ijk}^{(2)}$ – тензор диэлектрической восприимчивости второго порядка, $E_j^{(\alpha)}, E_k^{(\beta)}$ – компоненты векторов напряженности электрического поля падающих волн, в данной статье подразумевается правило суммирования по повторяющимся индексам.

Все волны в задаче задаются следующим образом:

$$\mathbf{E}^{(\alpha)}(\mathbf{x}, t) = E_\alpha \mathbf{e}^{(\alpha)} \exp(i\mathbf{k}^{(\alpha)} \mathbf{x} - i\omega t), \quad (3)$$

где E_α – комплексная амплитуда волны, $\mathbf{e}^{(\alpha)}$ – единичный комплексный вектор поляризации, $\mathbf{k}^{(\alpha)}$ – волновой вектор, ω – циклическая частота.

Используя уравнения Максвелла и переходя к потенциалам $\mathbf{A}(\mathbf{x}, t)$ и $\Phi(\mathbf{x}, t)$, получаем уравнение

$$\frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \mathbf{A}(\mathbf{x}, t) - \nabla^2 \mathbf{A}(\mathbf{x}, t) = \mu \frac{4\pi}{c} \frac{\partial \mathbf{P}^{(2)}(\mathbf{x}, t)}{\partial t}. \quad (4)$$

Решение этого уравнения будем искать в виде $\mathbf{A}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{A}(\mathbf{x}) \exp(-i2\omega t)$, для $\mathbf{A}(\mathbf{x})$ имеем

$$\mathbf{A}(\mathbf{x}) = -ik_{2\omega} \sqrt{\frac{\mu_{2\omega}}{\varepsilon_{2\omega}}} \int_V \frac{e^{ik_{2\omega}|\mathbf{x}-\mathbf{x}'|}}{|\mathbf{x}-\mathbf{x}'|} \mathbf{P}^{(2)}(\mathbf{x}') d^3\mathbf{x}', \quad k_{2\omega} = \sqrt{\varepsilon_{2\omega}\mu_{2\omega}} 2\omega / c, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{2\omega}$, $\mu_{2\omega}$ – электрическая и магнитная проницаемости на частоте 2ω . В приближении дальней зоны получим

$$\mathbf{A}(\mathbf{x}) = -ik_{2\omega} \sqrt{\frac{\mu_{2\omega}}{\varepsilon_{2\omega}}} \frac{e^{ik_{2\omega}r}}{r} \int_V \exp(-i\mathbf{k}^{(2\omega)} \mathbf{x}') \mathbf{P}^{(2)}(\mathbf{x}') d^3\mathbf{x}', \quad (6)$$

где $r = |\mathbf{x}|$, вектор $\mathbf{k}^{(2\omega)} = k_{2\omega} \mathbf{e}_r$, тогда напряженности магнитного и электрического полей имеют вид

$$\mathbf{B}(\mathbf{x}) = \text{rot } \mathbf{A}(\mathbf{x}) \approx k_{2\omega}^2 \sqrt{\frac{\mu_{2\omega}}{\varepsilon_{2\omega}}} \frac{e^{ik_{2\omega}r}}{r} \left[\mathbf{e}_r \times \int_V \exp(-i\mathbf{k}^{(2\omega)} \mathbf{x}') \mathbf{P}^{(2)}(\mathbf{x}') d^3\mathbf{x}' \right], \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{E}(\mathbf{x}) &= \frac{i}{(\varepsilon_{2\omega}\mu_{2\omega} 2\omega/c)} \text{rot } \mathbf{B}(\mathbf{x}) \approx k_{2\omega}^2 \frac{e^{ik_{2\omega}r}}{\varepsilon_{2\omega}r} (1 - \mathbf{e}_r \otimes \mathbf{e}_r) \times \\ &\times \int_V \exp(-i\mathbf{k}^{(2\omega)} \mathbf{x}') \mathbf{P}^{(2)}(\mathbf{x}') d^3\mathbf{x}', \end{aligned} \quad (8)$$

где \otimes – тензорное произведение векторов.

Начало сферической системы координат совместим с центром частицы, покрытой тонким слоем толщины $d_0 \ll a$, где a – радиус частицы. Векторы напряженности падающих волн задаются уравнениями (3). Тогда, подставляя напряженности в (2), а результат в (8), получаем

$$\begin{aligned} E_i^{(2\omega)}(\mathbf{x}) &= \mu_{2\omega} \frac{(2\omega)^2}{c^2} \frac{\exp(ik_{2\omega}r)}{r} (\delta_{im} - e_{r,i} e_{r,m}) \times \\ &\times \sum_{\alpha=1}^2 \sum_{\beta=1}^2 E_\alpha E_\beta e_j^{(\alpha)} e_k^{(\beta)} \int_{4\pi} d\Omega_{\mathbf{x}'} \int_a^{a+d_0} \exp(i\mathbf{q}^{(\alpha\beta)} \mathbf{x}') \chi_{mjk}^{(2)}(\mathbf{x}') r'^2 dr', \end{aligned} \quad (9)$$

где $\mathbf{q}^{(\alpha\beta)}$ – вектора рассеяния, вычисляемые по формуле

$$\mathbf{q}^{(\alpha\beta)} = \mathbf{k}^{(\alpha)} + \mathbf{k}^{(\beta)} - \mathbf{k}^{(2\omega)}. \quad (10)$$

После интегрирования по радиусу остается интеграл по телесному углу:

$$E_i^{(2\omega)}(\mathbf{x}) = \mu_{2\omega} \frac{(2\omega)^2}{c^2} \frac{\exp(ik_{2\omega}r)}{r} d_0 a^2 (\delta_{im} - e_{r,i} e_{r,m}) \times \\ \times \sum_{\alpha=1}^2 \sum_{\beta=1}^2 E_\alpha E_\beta e_j^{(\alpha)} e_k^{(\beta)} \int_{4\pi} \exp(i\mathbf{q}^{(\alpha\beta)} \cdot \mathbf{x}') \chi_{mjk}^{(2)}(\mathbf{x}') d\Omega_{\mathbf{x}'}, \quad (11)$$

Тензор $\chi_{mjk}^{(2)}$ в выражении (11) в самом общем виде содержит 27 компонент. Выполнение свойств симметрии при поворотах и инверсии, а также перестановочная симметрия для двух последних индексов приводят к тому, что только 4 из них остаются независимыми (частный случай тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости для генерации суммарной частоты при одинаковых частотах падающего излучения [3]). Тогда тензор нелинейной диэлектрической восприимчивости второго порядка для поверхности можно представить в виде [4]

$$\chi_{ijk}^{(2)} = \chi_1^{(2)} n_i n_j n_k + \chi_2^{(2)} n_i \delta_{jk} + \chi_3^{(2)} (n_j \delta_{ki} + n_k \delta_{ij}) + \chi_4^{(2)} n_m (n_k \varepsilon_{ijm} - n_j \varepsilon_{imk}). \quad (12)$$

Здесь n_i – компоненты вектора нормали \mathbf{n} к поверхности, δ_{ij} – дельта-символ Кронекера, ε_{ijk} – символ Леви–Чивита, $\chi_{1-4}^{(2)}$ – значения независимых компонент тензора диэлектрической восприимчивости. Последний коэффициент $\chi_4^{(2)}$ в (12) называют киральным.

Подставляя выражение (12) в (11) и проводя интегрирование получаем поле второй гармоники в виде

$$\mathbf{E}^{(2\omega)}(\mathbf{x}) = 4\pi\mu_{2\omega} \frac{(2\omega)^2}{c^2} \frac{\exp(ik_{2\omega}r)}{r} d_0 a^2 (1 - \mathbf{e}_r \otimes \mathbf{e}_r) \sum_{\alpha=1}^2 \sum_{\beta=1}^2 E_\alpha E_\beta \mathbf{f}^{(\alpha\beta)}, \quad (13)$$

где вектора $\mathbf{f}^{(\alpha\beta)}$ имеют вид

$$\begin{aligned}
\mathbf{f}^{(\alpha\beta)} = & i\chi_1^{(2)} \left(\begin{aligned} & -j_3(z) \mathbf{v}^{(\alpha\beta)} (\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} \mathbf{e}^{(\alpha)}) (\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} \mathbf{e}^{(\beta)}) + \frac{1}{5} (j_1(z) + j_3(z)) \times \\ & \times (\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} (\mathbf{e}^{(\alpha)} \mathbf{e}^{(\beta)}) + \mathbf{e}^{(\beta)} (\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} \mathbf{e}^{(\alpha)}) + \mathbf{e}^{(\alpha)} (\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} \mathbf{e}^{(\beta)})) \end{aligned} \right) + \\
& + i j_1(z) \left(\chi_2^{(2)} \mathbf{v}^{(\alpha\beta)} (\mathbf{e}^{(\alpha)} \mathbf{e}^{(\beta)}) + \chi_3^{(2)} \mathbf{e}^{(\beta)} (\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} \mathbf{e}^{(\alpha)}) + \chi_3^{(2)} \mathbf{e}^{(\alpha)} (\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} \mathbf{e}^{(\beta)}) \right) - \\
& - \chi_4^{(2)} j_2(z) \left([\mathbf{e}^{(\alpha)} \times \mathbf{v}^{(\alpha\beta)}] (\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} \mathbf{e}^{(\beta)}) - [\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} \times \mathbf{e}^{(\beta)}] (\mathbf{v}^{(\alpha\beta)} \mathbf{e}^{(\alpha)}) \right), \quad (14)
\end{aligned}$$

где $\mathbf{v}^{(\alpha\beta)}$ – единичный вектор вдоль $\mathbf{q}^{(\alpha\beta)}$, $j_m(z)$ – сферические функции Бесселя порядка m , $z = |\mathbf{q}^{(\alpha\beta)}|a$.

Полученное аналитическое решение (13) позволяет рассчитать остальные компоненты результирующего электромагнитного поля второй гармоники, в том числе и его характеристики (вектор Умова-Пойтинга, эллиптичность, диаграммы направленности), что является предметом следующих статей.

Литература

1. Wang H., Yan E.C.Y., Borguet E., Eienthal K.B. // Chem. Phys. Lett. 1996. V. 259. № 1–2. P. 15. doi 10.1016/0009-2614(96)00707-5.
2. Viarbitskaya S., Kapshai V., P. van der Meulen, Hansson T. // Phys. Rev. A. 2010. V. 81. № 5. P. 053850. doi 10.1103/PhysRevA.81.053850.
3. Shamyna A.A., Kapshai V.N. // Optics and Spectroscopy. 2018. V. 124. № 1. P. 103. doi 10.1134/S0030400X18010198; Шамына А.А., Капшай В.Н. // Оптика и спектроскопия. 2018. Т. 124. № 1. С. 105–121. doi 10.21883/OS.2018.01.45366.176-17.
4. Kapshai V.N., Shamyna A.A. // Optics and Spectroscopy. 2017. V. 123. № 3. P. 440. doi 10.1134/S0030400X17090144; Капшай В.Н., Шамына А.А. // Оптика и спектроскопия. 2017. Т. 123. № 3. С. 416–429. doi 10.7868/S003040341709015X.

М.В. Федоренко (МГПУ имени И.П. Шамякина, Мозырь)
 Науч. рук. **В.В. Шепелевич**, д-р физ.-мат. наук, профессор

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАУССОВЫХ ПУЧКОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА FDTD

Для моделирования взаимодействия гауссовых пучков в нелинейной среде с разной разностью фаз и напряженностью электрического поля

волны использовался метод конечных разностей во временной области (FDTD – Finite Difference Time Domain) [1], основанный на прямом решении уравнений Максвелла.

Рассмотрим пример взаимодействия гауссовых пучков сначала в линейной среде с показателем преломления равным 1 и с разностью фаз между ними равным нулю (см. рисунок 1,а) и π (см. рисунок 1,б).

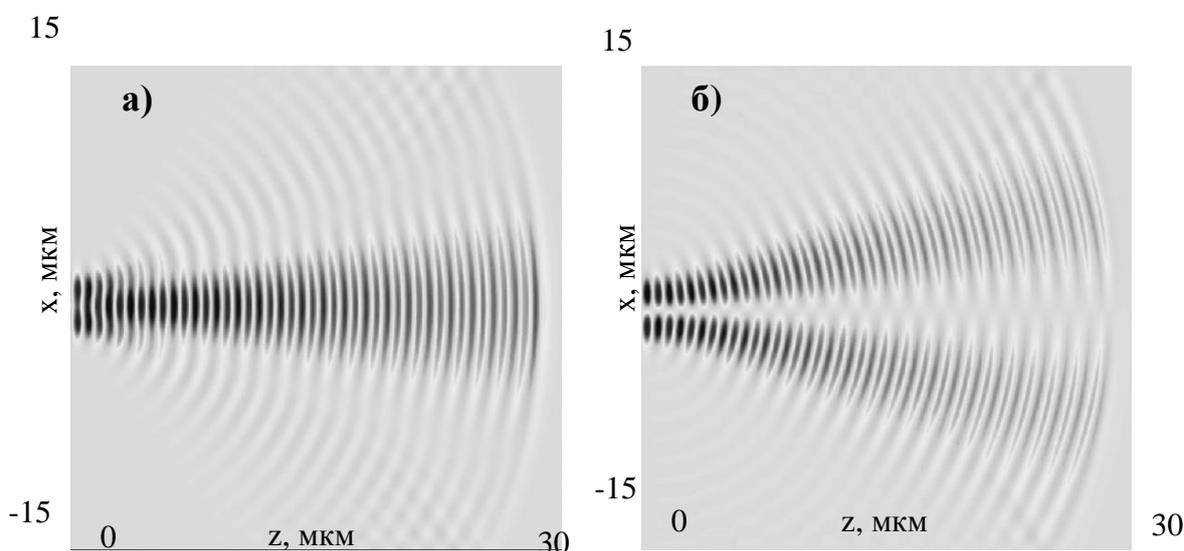


Рисунок 1 – Взаимодействие гауссовых пучков в линейной среде с показателем преломления равным 1 и с разностью фаз между ними: а) $\Delta = 0$; б) $\Delta = \pi$

Из рисунка 1,а видно, что взаимодействие гауссовых пучков с разностью фаз равной нулю приводит к образованию одного пучка с увеличенной максимальной интенсивностью. Для образованного пучка при линейном взаимодействии гауссовых пучков напряженность внешнего электрического поля является недостаточной, чтобы компенсировать дифракционную расходимость, и пучок начинает расплываться. После прохождения некоторого расстояния ширина пучка увеличивается. Интерференция, изображенная на рисунке 1,б, является деструктивной и в области наложения пучков образуется участок с почти нулевой интенсивностью, который постоянно растет благодаря дифракционному расплыванию пучков. Это приводит к деформации фронта гауссовых пучков и объясняет их взаимное «отталкивание» в процессе распространения.

Теперь рассмотрим взаимодействие гауссовых пучков в нелинейной среде с разной напряженностью электрического поля взаимодействующих волн и разностью фаз между ними равными 0 (см. рисунок 2) и π (см. рисунок 3).

Под нелинейной средой обычно понимают среду, показатель преломления которой n_E связан с электрическим полем электромагнитной волны $E = E_0 \cdot \cos(\omega t)$ следующим образом [2]:

$$n_E = n + n_2 \cdot E^2, \quad (1)$$

где n_2 – коэффициент нелинейности. Если величину показателя преломления n_E из (1) усреднить по времени, получим

$$n_{эфф} = n + 1/2 \cdot n_2 \cdot E_0^2. \quad (2)$$

Для численного моделирования взаимодействия гауссовых пучков в нелинейной среде с разной разностью фаз между ними и напряженностью электрического поля взаимодействующих волн использовались следующие параметры: линейный показатель преломления среды $n = 2,46$, коэффициент нелинейности n_2 равен $1,25 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2/\text{В}^2$, длина волны $\lambda = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, полуширина входных гауссовых пучков равна $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

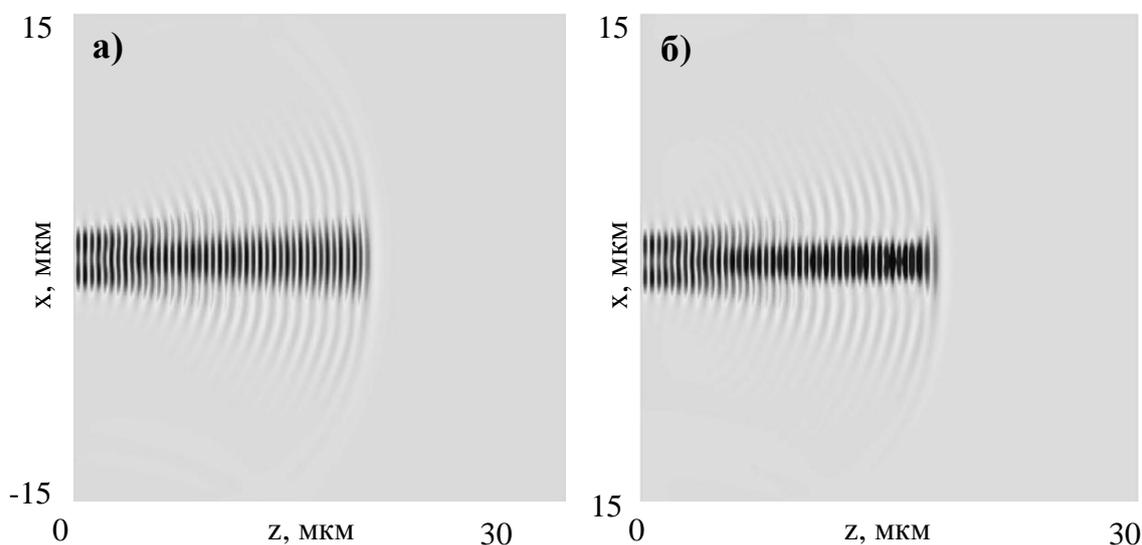


Рисунок 2 – Взаимодействие гауссовых световых пучков при разности фаз между ними равной нулю и различной начальной напряженности электрического поля волн в двух случаях:
а) $E_0 = 5 \cdot 10^8 \text{ В/м}$; б) $E_0 = 7 \cdot 10^8 \text{ В/м}$

Рассматривая рисунок 2 можно говорить о том, что взаимодействие гауссовых пучков в нелинейной среде похоже на интерференцию, изображенную на рисунке 1,а. Вид дифракционной картины, изображенной на рисунке 2, изменяется в основном за счёт уменьшения скорости световой волны и её длины в нелинейной среде. Только в случае, который изображен на рисунке 2,б, видно, что образованный пучок распространяется при такой напряжённости светового поля, когда в центре волны показатель преломления становится больше, чем по краям. При этом происходит частичная самофокусировка пучка, который вблизи центра становится квазисолитонным и его напряжённость может даже возрасти.

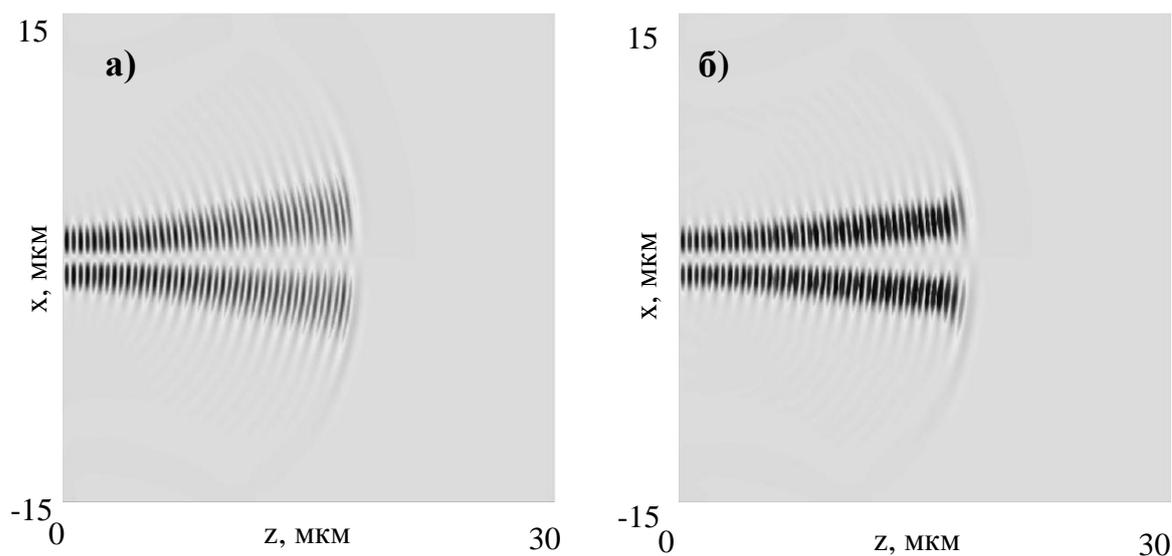


Рисунок 3 – Взаимодействие гауссовых световых пучков при разности фаз между ними равной π и различной начальной напряженности электрического поля волн в двух случаях:
 а) $E_0 = 5,4 \cdot 10^8$ В/м; б) $E_0 = 5,4 \cdot 10^9$ В/м

Рассматривая рисунок 3, можно говорить о схожести результатов, изображенных на этом рисунке, с результатами, приведенными на рисунке 1,б. Вид дифракционной картины, изображенной на рисунке 3, изменяется в основном за счёт уменьшения скорости световой волны и её длины в нелинейной среде. В случаях, изображенных на рисунках 3,а и 1,б, при взаимодействии гауссовых пучков в нелинейной среде с небольшой напряженностью электрического поля взаимодействующих волн и в линейной среде соответственно можно видеть, что пучки со временем начинают расплываться. На рисунке 3,б при распространении гауссовых пучков с большей напряженностью электрического поля взаимодействующих волн нелинейные свойства среды способствуют возрастанию показателя преломления в областях максимальной интенсивности светового поля. В этих областях наблюдается частичная самофокусировка пучков, препятствующая их расплыванию.

Литература

1. Yee, K.S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media / K.S. Yee // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1966. – Vol. AP-14. – P. 302-307.
2. Пекара, А. Новый облик оптики / А. Пекара. – М. : Сов. радио, 1973. – 264 с.

$$x_1(t_0 + h) \approx x_1(t_0) + h \frac{dx_1(t_0)}{dt},$$

.....

$$x_n(t_0 + h) \approx x_n(t_0) + h \frac{dx_n(t_0)}{dt}.$$

Далее мы можем определить значения переменных при $t = t_0 + 2h$, $t_0 + 3h$ и т. д. Таким образом, уравнения (1) позволяют определить состояние цепи в любой момент времени при известных начальных значениях переменных. Если известны значения переменных состояния, то легко могут быть найдены и остальные токи и напряжения.

Переходные процессы в колебательных контурах описываются дифференциальными уравнениями 2-ого порядка.

$$i'' + \frac{R}{L} i' + \frac{1}{LC} i = \frac{1}{L} E'(t) \quad (2)$$

Рассмотрим решение уравнения (2) через интеграл Дюамеля.

Для использования интеграла Дюамеля нужны нулевые начальные условия, а также необходимо предварительно вычислить переходную функцию системы $x_1(t)$, которая является откликом системы на единичный входной сигнал.

Если нач. условия не нулевые, то сделаем замену:

$$\begin{aligned} x(t) &= i(t) - i(0), \\ i(t) &= x(t) + i(0). \end{aligned} \quad (3)$$

Подставим $i(t)$ из неравенства(4) в уравнение (3).

В левой части оставляем всё, что с $x(t)$, остальное переносим в правую часть.

Для удобства обозначений сделаем замену:

$$\frac{R}{L} = a, \quad \frac{1}{LC} = b.$$

Вычислим переходную функцию системы $x_1(t)$, которая является откликом системы на единичный входной сигнал:

$$x_1''(t) + ax_1'(t) + bx_1(t) = 1 \quad (4)$$

Найдем изображение уравнения:

$$p^2 X_1(p) + apX_1(p) + bX_1(p) = \frac{1}{p}$$

Выразим $X_1(p)$:

$$X_1(p) \frac{1}{p \cdot (p^2 + ap + b)}$$

Далее находим оригинал $x_1(t)$ от изображения.

$$\begin{aligned} p^2 + ap + b &= 0, \\ D &= a^2 - 4b. \end{aligned}$$

Тут есть 3 случая: $D > 0, D = 0, D < 0$.

Когда мы нашли $x_1(t)$, нам нужно найти производную $x_1'(t)$. После этого находим $x(t)$, вычислив интеграл:

$$x(t) = \int_0^t F(t - \tau)x_1'(\tau) d\tau$$

Далее подставим $x(t)$ в эту формулу (3) и получим $i(t)$.

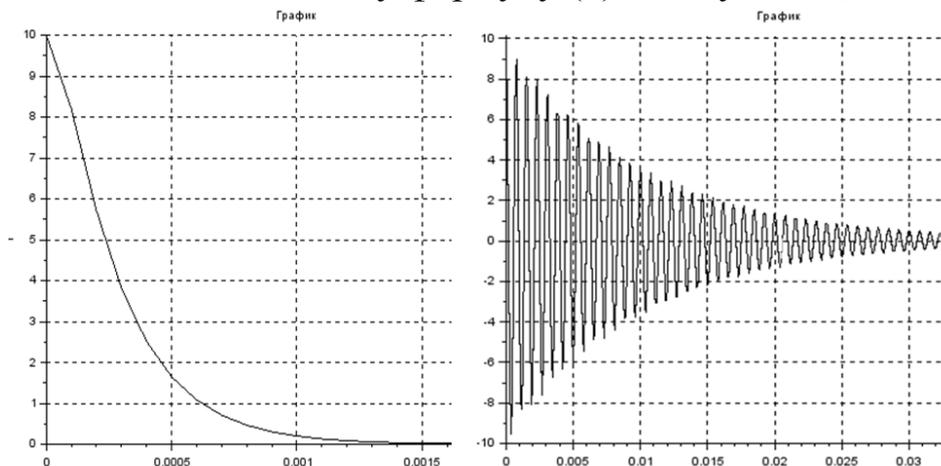


Рисунок 1 – $i(t)$ при $D \geq 0$ (слева), при $D < 0$ (справа)

Исследование зависимости от сопротивления и собственной частоты контура

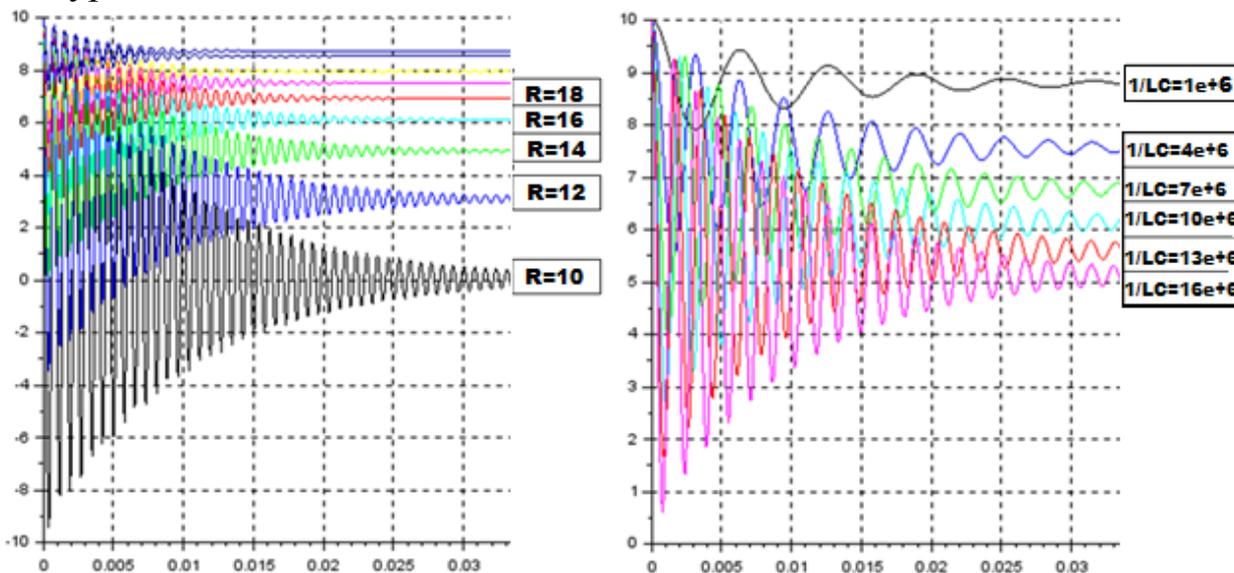


Рисунок 2 – Зависимость от сопротивления(слева), зависимость от собственной частоты контура(справа)

При увеличении сопротивления в контуре, скорость затухания колебаний увеличилась.

При увеличении собственной частоты контура $\frac{1}{LC}$, частота и амплитуда колебаний возрастает, скорость затухания колебаний увеличивается.

Содержание

Для перехода к тексту материалов перейдите по гиперссылке на соответствующем докладе

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

<u>Lukoviak A., Streck W., Ignatenko O., Karpinsky D., Gaishun V., Kovalenko D., Semchenko A. TRANSFERR: The way to the superferroic materials.....</u>	7
<u>Сидский В.В., Семченко А.В., Морозовская А.Н., Морозовский Н.В., Петлицкий А.Н., Солодуха В.А. Применение золь-гель метода для синтеза сегнетоэлектриков.....</u>	11
<u>Русыкин А.С. Оптические и структурные характеристики золь-гель TiO₂ и SiO₂ покрытий, легированных редкоземельными элементами.....</u>	13
<u>Москвичёв М.И. Золь-гель метод формирования нанодисперсных порошков на основе соединений кремния и переходных элементов.....</u>	15

Секция 1. Новые материалы и технологии

<u>Аль-Камали М.Ф.С.Х. Изменение функциональных характеристик золь-гель материалов путем их структурирующей термообработки в контролируемых газовых средах.....</u>	18
<u>Астрейко А.В. Влияние параметров волоочильного инструмента на толщину формируемого покрытия.....</u>	20
<u>Аутко Ю. В. Реализация технологии диффузионного насыщения полимерных матриц наночастицами металлов.....</u>	23
<u>Береснева А. В. Структура композиционных материалов на основе смесей термопластичных компонентов.....</u>	26
<u>Бобкова М.В. Формирование световых пучков с заданной поляризационной структурой на основе фазового преобразования в пространственно структурированных анизотропных элементах.....</u>	28

<u>Бобров А.И. Разработка на основе нейросетевых технологий программного продукта для определения уровня заполненности парковок.....</u>	31
<u>Бубешко П.Р. Водоэмульсионные смазки для изготовления песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке.....</u>	33
<u>Бурматов Я.О. Электронно-лучевая обработка поливинилхлорида.....</u>	36
<u>Бычков Е.С. Использование отсканированного почерка для генерации псевдорукописного текста.....</u>	39
<u>Василевич В.Г. Релаксации упругих напряжений в твердых растворах SiGe.....</u>	40
<u>Виноградов Е.В. Термическая дегидратация кристаллов ди – и триоктаэдрических слоистых силикатов.....</u>	42
<u>Воробьев Г.А. Исследование триботехнических характеристик фрикционных композиционных материалов.....</u>	45
<u>Вороно Д.С. Кальций-стронциевая смесь для обработки алюминиевых сплавов.....</u>	47
<u>Галабурда Е.Б. Смеситель кормосмеси для малого сельскохозяйственного предприятия.....</u>	50
<u>Гармилин Е.В. Синтез золь-гель методом полупроводниковых слоев на основе оксида цинка и исследование их свойств.....</u>	53
<u>Гвоздь П.Д. Пористое анодирование алюминия в присутствии поверхностно-активных добавок.....</u>	55
<u>Гиль Г.С., Дуксин М.В., Филимонов Н.С., Юшкевич С.А. Ионно-лучевой синтез пленок SiOC.....</u>	57
<u>Гоцко С.О. Проектирование и реализация консультативной системы взаимодействия с потребителями</u>	60
<u>Григорьев Ф.А. Окислительная стабильность смазочных материалов на основе растительного сырья.....</u>	61
<u>Guji A.A. Investigation of the fractional composition of the polymer powder after cryogenic grinding.....</u>	64
<u>Дзагнидзе Д.М. Легирование поверхностного слоя конструкционной стали атомами молибдена и хрома под воздействием компрессионных плазменных потоков.....</u>	67
<u>Емельянович М.А. Исследование влияния ультразвуковой обработки на ресурс работы деревообрабатывающего инструмента.....</u>	72
<u>Ермоленко М.П. Разработка конструкции приспособления для сборки карданных валов.....</u>	75
<u>Ерш Д.С., Протасеня А.И. Радиационная деградация кремниевых детекторов излучения при облучении нейтронами.....</u>	78

<u>Железовская М.А. Смазки для литья под давлением алюминиевых сплавов.....</u>	80
<u>Желудкевич Д.В. Исследование кристаллической структуры и пьезоэлектрических свойств составов $Bi_{1-x}Sm_xFeO_3$ при изменении температуры вблизи фазовой границы ромбоэдр – орторомб.....</u>	83
<u>Жук Е.Л., Сакович Е.С. Исследование неоднородности химического состава сплава ЛЦ40Сд.....</u>	86
<u>Жуков А.П. Разработка методик контроля деградации тока стока МОП-транзисторов под влиянием «горячих» носителей... ..</u>	89
<u>Зеленко А.В. Разработка новых составов полистиролбетона, армированного фиброй.....</u>	90
<u>Зеленко А.В. Получение пенобетона на основе магнезиального вяжущего.....</u>	93
<u>Зинкевич Д.А. Повышение коррозионной стойкости металлического распорного элемента для дюбеля термоизолирующего... ..</u>	96
<u>Коваленко М.А. Термостимулированные токи в полимерных пленках, обработанных лазерным излучением.....</u>	99
<u>Кравченко А.В. Исследование дацита в качестве сырья для получения геополимеров.....</u>	101
<u>Кравченко А.В. Применение золь-гель технологии для создания полупроводниковой структуры фотоэлектрического преобразователя энергии.....</u>	104
<u>Кушик А.Л. Рафинирующе-модифицирующий препарат для обработки расплавов на основе алюминия.....</u>	109
<u>Липницкий О.А. Анализ условий повышения качества капролактама на стадии ректификации и дистилляции.....</u>	111
<u>Лысенко И.А. Влияние вида термической обработки на механические характеристики поковок крестовин карданного вала.....</u>	114
<u>Лях О.А. Особенности исследований поперечных сечений субмикронных ИМС методов растровой электронной микроскопии.....</u>	117
<u>Маевский А.А. Изучение процесса разработки элементной базы микросхем на примере разработки элементной базы 0,8 мкм би-КМОП процесса, в состав которого входит биполярный NPN транзистор.....</u>	119
<u>Макаревич К.О. Метод Монте-Карло для решения задач дозиметрии медицинского диагностического рентгеновского излучения.....</u>	122

<u>Македон А.В. Исследование условий применения порошковых функциональных покрытий при производстве тормозных камер грузовых автомобилей.....</u>	125
<u>Медведев Н.А. Получение золь-гель методом фото- и электролюминофоров.....</u>	128
<u>Миленкевич Е.В. Композиционные материалы для уплотнений запорной и регулирующей арматуры.....</u>	130
<u>Минчуков А.М. Формирование золь-гель методом столбчатых наноструктур для использования в электронике.....</u>	133
<u>Михалевич Е.А., Савицкая М.Г. Исследование диаграммы направленности антенны типа «Плоская логарифмическая спиральная».....</u>	135
<u>Навныко К.Н. Определение содержания пигментов листьев спектрально-люминесцентными методами.....</u>	139
<u>Пархоменко В.А. Влияние температурной и ультразвуковой обработки на состав и свойства детонационных наноалмазов....</u>	140
<u>Пекаревич В.В. Преобразование поляризационной структуры светового пучка осесимметричными ЖК элементами.....</u>	143
<u>Повидайко Ю.В. Коррозия металлических элементов транспортных средств в слабокислой среде.....</u>	145
<u>Романчук А.Т. Экологическое решение для аккумуляции электроэнергии энергонезависимого загородного дома.....</u>	148
<u>Рудько О.С. Проектирование программно-технологического комплекса интеграционного взаимодействия распределенных систем.....</u>	150
<u>Семенчук Е.О. Воздействие лазерного излучения на образец при различном давлении окружающего мишень воздуха.....</u>	151
<u>Сергей А.И. Исследование технологических свойств моторных масел.....</u>	154
<u>Слепенков Д.В. Проектирование и изготовление металл-полимерных метаматериалов с использованием вакуумно-плазменных технологий.....</u>	156
<u>Снетков Д.А. Разработка новых флуоресцентных зондов для определения содержания амилоидных фибрилл на основе производных тиофлавина.....</u>	158
<u>Сорока Н.А. Исследование механических свойств отливок из латуни марки ЛЦ40Сд, изготавливаемых методом литья под давлением.....</u>	161
<u>Суслин Е.В. Синтез гидрофобных покрытий золь-гель методом и исследование их свойств.....</u>	164

<u>Третьяк Е.В. Решение прямой задачи спектральной эллипсо-</u> <u>метрии для пленок оксида цинка на стеклянных подложках.....</u>	166
<u>Трофимчик И.А., Бубешко П.Р. Исследование адгезионной</u> <u>способности грунтовочного слоя лакокрасочного покрытия для</u> <u>защиты металлических конструкций транспортных средств.....</u>	169
<u>Федоренко М.В. Оптимизация конструкции крышки ПК-50 для</u> <u>пожарного крана с применением полимерных материалов.....</u>	172
<u>Халупа И.И. Структура нанокпозиционных материалов с</u> <u>использованием двухслойных слоистых силикатов.....</u>	175
<u>Черчук В.А. Оптико-механические свойства золь-гель покры-</u> <u>тий на основе диоксида титана, содержащих оксиды металлов и</u> <u>редкоземельные элементы.....</u>	177
<u>Шах А.Н. Разработка системы интеграции и анализа информа-</u> <u>ции о сотрудниках компании.....</u>	180
<u>Шваба Р.Э. Реализация бесперебойной работы насоса</u> <u>СТН-GN 40-250 для транспортировки жидкой серы.....</u>	181
<u>Шкаль А.А. Терморезистивные чувствительные элементы для</u> <u>датчика расхода газа и исследование процессов их получения...</u>	184
<u>Шматко С. Ч. Композиционные материалы для крепежных</u> <u>элементов с повышенными параметрами эксплуатационных ха-</u> <u>рактеристик.....</u>	186
<u>Шупан П.И. Формирование ультрадисперсных структур при</u> <u>импульсной лазерной абляции магнетита в этаноле.....</u>	188
<u>Щуплова Е.В. Система генерации и учета VPN ключей пользо-</u> <u>вателей на основе технологии OPENVPN.....</u>	191
<u>Юсенко А.А. Активные зарядовые центры на поверхности</u> <u>нанокристаллических модификаторов полимерных композитов</u>	192
<u>Яночкин П.С. Разработка методики получения золь-гель по-</u> <u>крытий на основе SiO₂, TiO₂ и переходных элементов.....</u>	195
<u>Янушкевич Э.А. Методы автоматизированного анализа при</u> <u>динамическом тестировании работы ВЕБ-приложений.....</u>	197
<u>Ярошевич Е.Ю. Изделия для машиностроения на основе SMC</u> <u>и BMC композиционных материалов.....</u>	198

Секция 2 «Моделирование физических процессов»

<u>Авласевич Н.Т. Раздельная визуализация макродефектов</u> <u>элементарных решеток составного дифракционного</u> <u>оптического элемента.....</u>	202
--	-----

<u>Астрейко А.В. Расчет физико-технических параметров механизма методом инверсии.....</u>	205
<u>Берёза Е.А. Ранние стадии развития плазменного факела при лазерном воздействии на металл.....</u>	207
<u>Бужан А.В. Теорема Гаусса и заряды на цилиндрической поверхности.....</u>	210
<u>Газенко А.К., Ларькин А.В. Термодинамические циклы и тепловые схемы ядерных энергетических установок (цикл модельных лабораторных работ).....</u>	214
<u>Головин Е.Д. Мультипольные моменты зарядов, расположенных на прямой.....</u>	217
<u>Голод И.А. Периодические возмущения скорости и кривизны фазовой границы кристаллизации переохлажденного расплава..</u>	219
<u>Голубева Е.А., Аль-Абси Р.А. Методика расчета напряженно-деформированного состояния труб из неоднородных материалов с учетом явлений ползучести и релаксации.....</u>	222
<u>Зенкевич А.В. Лазерная обработка образцов, находящихся в жидкости.....</u>	224
<u>Зуев И.А. Способы повышения качественных показателей проката мелкосортно-проволочного стана 150 ОАО «БМЗ – УКХ «БМК».....</u>	227
<u>Казимов А.Р. Задача о колебании струны.....</u>	230
<u>Караханов В.П. Моделирование движение заряда в постоянном электромагнитном поле.....</u>	232
<u>Качан М.Д. Суперячейка обратной решетки кристаллов.....</u>	235
<u>Кравченко А.Ю. Моделирование поляризационно-селективных электромагнитных свойств головы человека в СВЧ и миллиметровом диапазонах.....</u>	238
<u>Курбацкий В.О. Распределение тепла в однородном стержне...</u>	241
<u>Лисовский В.А. Интернет-практикум «Программирование символьных вычислений».....</u>	244
<u>Михалко И.С. Взаимодействие квазистационарных и высокочастотных токов в двойной ДНК-подобной спирали.....</u>	247
<u>Некрашевич А.А. Использование САД/САМ/САЕ-технологий при концептуализации инженерных и дизайнерских решений корпусной мебели.....</u>	251
<u>Нельп И.С. Об аналогах формулы Майера.....</u>	253
<u>Павленко А.В. Оператор Лапласа в криволинейных координатах.....</u>	256

<u>Парахневич А.С. Данные о характеристиках ядра цезия, полученные с помощью реляционных баз ядерных данных НИИЯФ МГУ.....</u>	258
<u>Пилько В.И. Модернизация технологии сборки шлицевого соединения карданного вала грузового автомобиля с применением CAD/CAM/CAE систем.....</u>	262
<u>Поляков К.Д. Вычисление петелевых интегралов в d-измерениях.....</u>	265
<u>Ревенок М.А. ВЕБ-ресурс «Модели атомных ядер».....</u>	268
<u>Рытикова М.Н. О твёрдых экзопланетах в зоне обитаемости по критерию блеска материнской звезды.....</u>	272
<u>Седро П.Д. Волны маятника.....</u>	275
<u>Скромблевич Д. П. Реализация аддитивных технологий при быстром прототипировании элементов индикаторной пломбы... </u>	277
<u>Старовойтов Н.А., Дубровник А.А. Модели контактной теплопроводности.....</u>	280
<u>Сулковская И.В. Температурная точка Бойля в различных моделях неидеального газа.....</u>	283
<u>Толкачёв А.И. Генерация второй гармоники от тонкого сферического слоя при наличии двух источников.....</u>	287
<u>Федоренко М.В. Моделирование взаимодействия гауссовых пучков в нелинейной среде с использованием метода FDTD.....</u>	290
<u>Ярошенко А.К. Математическое моделирование электрических колебаний.....</u>	294

Научное электронное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

Материалы VII Республиканской
научной конференции
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 25 апреля 2018 г.)

В 3 частях

Часть 1

Подписано к использованию 18.04.2018 г.

Объем издания 9,54 Мб.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.

<http://www.gsu.by>